



Chemipedia

BUKU • JILID 1 • BAB 1-14

Chemipedia

Kimia Itu Asyik!

Buku kimia interaktif untuk anak Indonesia: SD, SMP, SMA, IGCSE, IB, sampai olimpiade.



dr. Rachmat Hidayat, M.Sc, PhD

Editor: Abdullah Hanif Hidayat

Didukung oleh Aurumgen Academy

Edisi 1 • 2026 • Versi interaktif: aurumgen.my.id/chemipedia

Tentang buku ini

Ini adalah Jilid 1 dari versi cetak Chemipedia. Bagian yang di layar dapat digeser dan dimainkan (Rumus Hidup, Grafik Hidup, Lab Mini, animasi langkah) ditampilkan sebagai gambar, sedangkan latihan lengkap ada di PDF Bank Soal dan LKPD.

Chemipedia • Kimia Itu Asyik! Edisi 1 (2026).

Penulis: **dr. Rachmat Hidayat, M.Sc, PhD**

Editor: **Abdullah Hanif Hidayat**

Didukung oleh Aurumgen Academy.

© 2026 dr. Rachmat Hidayat, M.Sc, PhD. Hak cipta dilindungi undang-undang. Dokumen ini boleh dicetak dan diperbanyak untuk keperluan pembelajaran nonkomersial dengan tetap mencantumkan sumber.

Semua soal dan LKPD adalah karya asli. Label "gaya IGCSE", "gaya IB", dan "gaya olimpiade" menunjukkan tingkat dan format, bukan salinan soal resmi. Disusun selaras dengan Capaian Pembelajaran 2025 (Keputusan Kepala BSKAP No. 046/H/KR/2025) dan pendekatan Pembelajaran Mendalam.

Versi interaktif dengan komik bergerak, Rumus Hidup, Grafik Hidup, Lab Mini, Adu Cepat, dan latihan berskor:
aurumgen.my.id/chemipedia

Daftar isi

Cara belajar dengan Chemipedia	4
--------------------------------------	---

BAGIAN A • DUNIA KIMIA

1 Kimia Ada di Mana-mana	9
2 Materi, Wujud & Perubahannya	37
3 Campuran & Teknik Pemisahan	70
4 Pengukuran dalam Kimia	101

BAGIAN B • ATOM & TABEL PERIODIK

5 Perjalanan Model Atom	133
6 Partikel Atom, Isotop & Massa Atom	169
7 Konfigurasi Elektron & Bilangan Kuantum	197
8 Tabel Periodik & Sifat Keperiodikan	224
9 Kimia Unsur di Nusantara	259

BAGIAN C • IKATAN & WUJUD ZAT

10 Ikatan Ion	297
11 Ikatan Kovalen & Struktur Lewis	326
12 Bentuk Molekul: VSEPR & Hibridisasi	357
13 Gaya Antarmolekul & Ikatan Logam	388
14 Wujud Gas & Hukum-Hukum Gas	422

Cara Belajar dengan Chemipedia

Kenalan dulu, yuk!

Bima



Anak SMP dari Malang yang selalu ingin mencoba. Kacamata pelindung tidak pernah lepas dari dahinya. Tebakannya cepat, kadang meleset, tetapi ia tidak pernah kapok bertanya "kenapa?".

Laras



Sahabat Bima dari Makassar. Teliti, rapi, dan selalu mencatat data di buku lab-nya. Kalimat andalannya: "Datanya mana? Kita ukur dulu."

Kak Tirta



Kakak mentor yang bekerja di laboratorium. Humoris, gemar analogi dari dapur dan pasar, dan sangat cerewet soal keselamatan kerja: "Kacamata dulu, baru bereksperimen!"

Kimo si Komodo



Maskot cerdas dari Pulau Komodo. Ia suka fakta unik, jembatan keledai, dan trik cepat yang tetap bisa dijelaskan. Lidahnya bercabang, tetapi penjelasannya selalu lurus.

Klub Unsur



Atom-atom yang punya kepribadian: **Natrium** yang royal memberi elektron, **Klorin** yang rakus menerima, **Oksigen** yang populer, **Karbon** bertangan empat yang suka bergandengan, **Hidrogen** si mungil, dan **Neon** si bangsawan yang cuek.

Lima janji Chemipedia



Lihat partikelnya dulu

Setiap konsep dimulai dari "apa yang dilakukan atom dan molekul". Rumus datang belakangan, sebagai cara menghitung cerita itu.



Boleh diutak-atik

Putar molekul, setarakan reaksi, tuang larutan, panaskan gas. Kimia paling mudah dipahami saat kamu "bereksperimen" sendiri.



Dekat dengan hidupmu

Tempe, kunyit, cabai, garam Madura, belerang Ijen, nikel Sulawesi, air PDAM. Kimia Nusantara ada di sekitarmu.



Aman dan bertanggung jawab

Setiap percobaan rumah memakai bahan dapur yang aman, lengkap dengan pictogram bahaya dan aturan keselamatan.



Tangga sampai puncak

Dari soal Pemula untuk SD sampai soal gaya IGCSE, IB, dan Olimpiade Kimia, semuanya dengan pembahasan.

Cara belajar di Chemipedia

Setiap bab mengikuti alur yang sama. Kamu akan **memahami**, **mengaplikasikan**, lalu **merefleksikan**, sesuai semangat Pembelajaran Mendalam yang berkesadaran, bermakna, dan menggembirakan.

1. Komik pembuka

Peristiwa nyata dari dapur, pasar, atau alam.

2. Tebak Dulu!

Pilih prediksi kamu sebelum belajar. Salah tebak itu bagus!

3. Dunia partikel

Konsep dibuat tampak lewat animasi atom dan molekul.

4. Molekul 3D

Putar, ukur sudut, lihat pasangan elektron bebas.

5. Rumus Hidup

Geser nilainya, lihat hasilnya, kumpulkan kartunya.

6. Lab Mini

Laboratorium virtual yang aman dan bisa diulang.

7. Contoh bertingkat

Contoh → kerjakan bersama → coba sendiri.

8. Awas Jebakan!

Miskonsepsi yang paling sering terjadi.

9. Kimia di Sekitarmu

Dari jamu sampai baterai kendaraan listrik.

10. Tangga Latihan

Soal dari Pemula sampai Olimpiade.



TIGA MODE BACAAN

Di kanan atas ada tombol **Dasar • SMA • Lanjut**. Mode **Dasar** memakai bahasa paling sederhana untuk SD-SMP. Mode **SMA** adalah standar kelas X-XII. Mode **Lanjut** membuka kotak 🚀 berisi pendalaman IGCSE, IB, dan olimpiade. Tombol 🔄 mengubah buku menjadi **Lab Malam**.



MENULIS JAWABAN

Di kotak isian angka kamu boleh menulis **desimal** (0,75), **pecahan** (3/4), **notasi ilmiah** ($6,02 \times 10^{23}$ atau $6,02 \times 10^{23}$), atau **pangkat**. Di kotak isian rumus, tulis angka indeks biasa: H_2SO_4 , $\text{Ca}(\text{OH})_2$, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, Fe^{3+} .



KESELAMATAN DULU

Semua "Tantangan Rumah" memakai bahan dapur yang aman. Tetap lakukan bersama orang dewasa, jangan pernah mencicipi atau mencampur bahan kimia rumah tangga (misalnya pemutih dengan pembersih lantai), dan pakai kacamata atau pelindung bila ada.

Pilih jalur belajarmu

SD – SMP

Bacaan **Dasar**. Mulai dari Bab 1–5, 8, 10, 16, 17, 23, 26, dan 36.

Lv 1

Lv 2

SMA • TKA • UTBK

Bacaan **SMA**. Ikuti urutan bab. Fokus pada Molekul 3D, Penyetara Reaksi, Rumus Hidup, dan contoh bertingkat.

Lv 2

Lv 3

IGCSE • IB

Bacaan **Lanjut**. Perhatikan kotak , soal berstruktur, analisis data, dan spektroskopi (Bab 39).

Lv 4

Lv 5

Olimpiade (OSN Kimia)

Bacaan **Lanjut**. Kuasai Bab 12, 18, 22, 27, 30, 34, dan 39, lalu taklukkan Tantangan Olimpiade di Bank Soal.

Lv 5

Lv 6

Tangga 6 level soal

Level	Untuk siapa	Ciri soal
Lv 1 • Pemula	SD – awal SMP	Mengenali konsep, contoh sehari-hari, gambar partikel.
Lv 2 • Penjelajah	SMP (Fase D)	Satu atau dua langkah, membaca tabel, grafik, dan rumus kimia sederhana.
Lv 3 • Pejuang	SMA • TKA • UTBK	Beberapa langkah, konteks nyata, perhitungan kimia, penalaran.
Lv 4 • IGCSE	Gaya Cambridge IGCSE Chemistry	Soal berstruktur dengan kata perintah (<i>hitung, jelaskan, sarankan</i>), data percobaan, uji ion.
Lv 5 • IB DP	Gaya IB Chemistry DP	Analisis data, ketidakpastian, mekanisme, energetika, soal berbagian.

Peta isi buku

Bagian A • Dunia Kimia

- 1 Kimia Ada di Mana-mana
- 2 Materi, Wujud & Perubahannya
- 3 Campuran & Teknik Pemisahan
- 4 Pengukuran dalam Kimia

Bagian B • Atom & Tabel Periodik

- 5 Perjalanan Model Atom
- 6 Partikel Atom, Isotop & Massa Atom
- 7 Konfigurasi Elektron & Bilangan Kuantum
- 8 Tabel Periodik & Sifat Keperiodikan
- 9 Kimia Unsur di Nusantara

Bagian C • Ikatan & Wujud Zat

- 10 Ikatan Ion
- 11 Ikatan Kovalen & Struktur Lewis
- 12 Bentuk Molekul: VSEPR & Hibridisasi
- 13 Gaya Antarmolekul & Ikatan Logam
- 14 Wujud Gas & Hukum-Hukum Gas

Bagian D • Stoikiometri

- 15 Bahasa Kimia: Rumus & Tata Nama
- 16 Persamaan Reaksi & Hukum Dasar Kimia
- 17 Konsep Mol
- 18 Stoikiometri Reaksi

Bagian E • Energi, Laju & Kestimbangan

- 19 Termokimia
- 20 Entropi & Energi Bebas Gibbs
- 21 Laju Reaksi
- 22 Kestimbangan Kimia

Bagian F • Larutan & Asam-Basa

- 23 Larutan & Konsentrasi
- 24 Sifat Koligatif Larutan
- 25 Sistem Koloid
- 26 Asam & Basa
- 27 Titrasi, Penyangga & Hidrolisis
- 28 Kelarutan & Hasil Kali Kelarutan

Bagian G • Redoks & Elektrokimia

- 29 Reaksi Redoks
- 30 Sel Volta & Baterai
- 31 Elektrolisis & Korosi

Bagian H • Kimia Karbon & Kehidupan

- 32 Hidrokarbon & Minyak Bumi
- 33 Gugus Fungsi
- 34 Reaksi & Mekanisme Organik
- 35 Polimer & Material
- 36 Biokimia: Molekul Kehidupan

Bagian I • Inti, Lingkungan & Analisis

- 37 Kimia Inti & Radioaktivitas
- 38 Kimia Lingkungan & Kimia Hijau
- 39 Detektif Molekul: Analisis & Spektroskopi

Selaras dengan kurikulum

Kurikulum	Bab yang paling relevan
IPA SMP (Fase D)	1–5 · 8 (pengantar) · 10–11 (pengantar) · 16 · 17 (pengantar) · 23 · 26 · 36 (bacaan Dasar)
Kimia kelas X (Fase E)	1 · 4 · 5–8 · 15–18 · 38 (kimia hijau)
Kimia XI–XII (Fase F)	7 · 9–14 · 19–37 · 39
Cambridge IGCSE Chemistry 0620	2–4 · 5–6 · 8–11 · 13–19 · 21–23 · 26 · 29–33 · 35 · 38–39
IB Chemistry DP	Structure 1: 2, 5–7, 14, 17 · Structure 2: 10–13, 35 · Structure 3: 8, 32–33, 39 · Reactivity 1: 19–20 · Reactivity 2: 18, 21–22 · Reactivity 3: 26–31, 34
OSN Kimia / IChO	Semua bab. Inti: stoikiometri (17–18), struktur (7, 11–12), termodinamika & kinetika (19–22), larutan (26–28), elektrokimia (29–31), organik (32–34), spektroskopi (39).

Rujukan: Capaian Pembelajaran 2025 (Keputusan Kepala BSKAP No. 046/H/KR/2025). Label "gaya IGCSE/IB/olimpiade" menunjukkan tingkat dan format soal, bukan soal resmi.

01

Kimia Ada di Mana-mana: Dapurmu Adalah Laboratorium

Sebelum sarapan pagi ini, kamu sudah menyalakan puluhan reaksi kimia: di kompor, di wajan, bahkan di dalam perutmu. Bab ini mengajakmu memakai "kacamata kimia" untuk melihat dunia, dari semangkuk mi sampai sehelai batik, dari jamu sampai baterai mobil listrik.

Setelah bab ini, kamu bisa

- menjelaskan **kimia** sebagai ilmu tentang materi dan perubahannya, lalu menemukan contohnya di dapur dan tubuhmu;
- membedakan **perubahan fisika** dan **perubahan kimia** pada tingkat makroskopik, partikel, dan simbol;
- menyebutkan **cabang-cabang kimia** dan profesi yang memakainya di Indonesia;
- merancang **percobaan yang adil** dengan metode ilmiah: hipotesis, variabel bebas, terikat, dan kontrol;
- mengenal **alat laboratorium**, aturan keselamatan, dan **sembilan pictogram bahaya GHS**, serta menghitung massa jenis dan persentase massa.

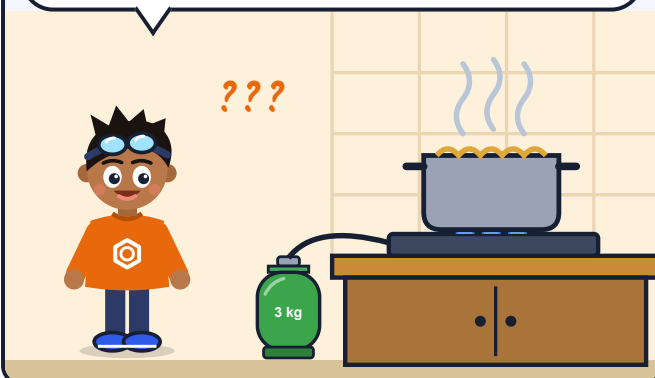
DI MANA KIMIANYA?

KOMIK • 4 PANEL

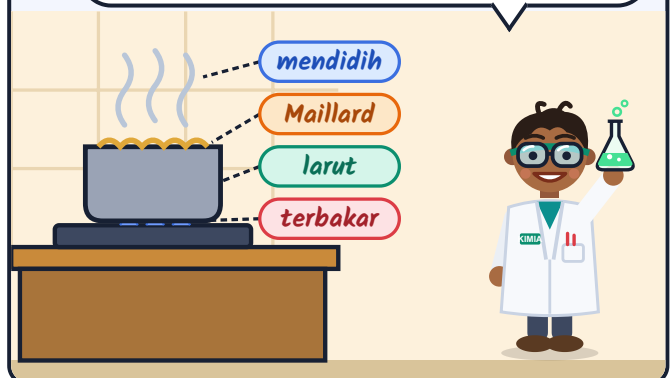
Sabtu malam, dapur rumah Bima

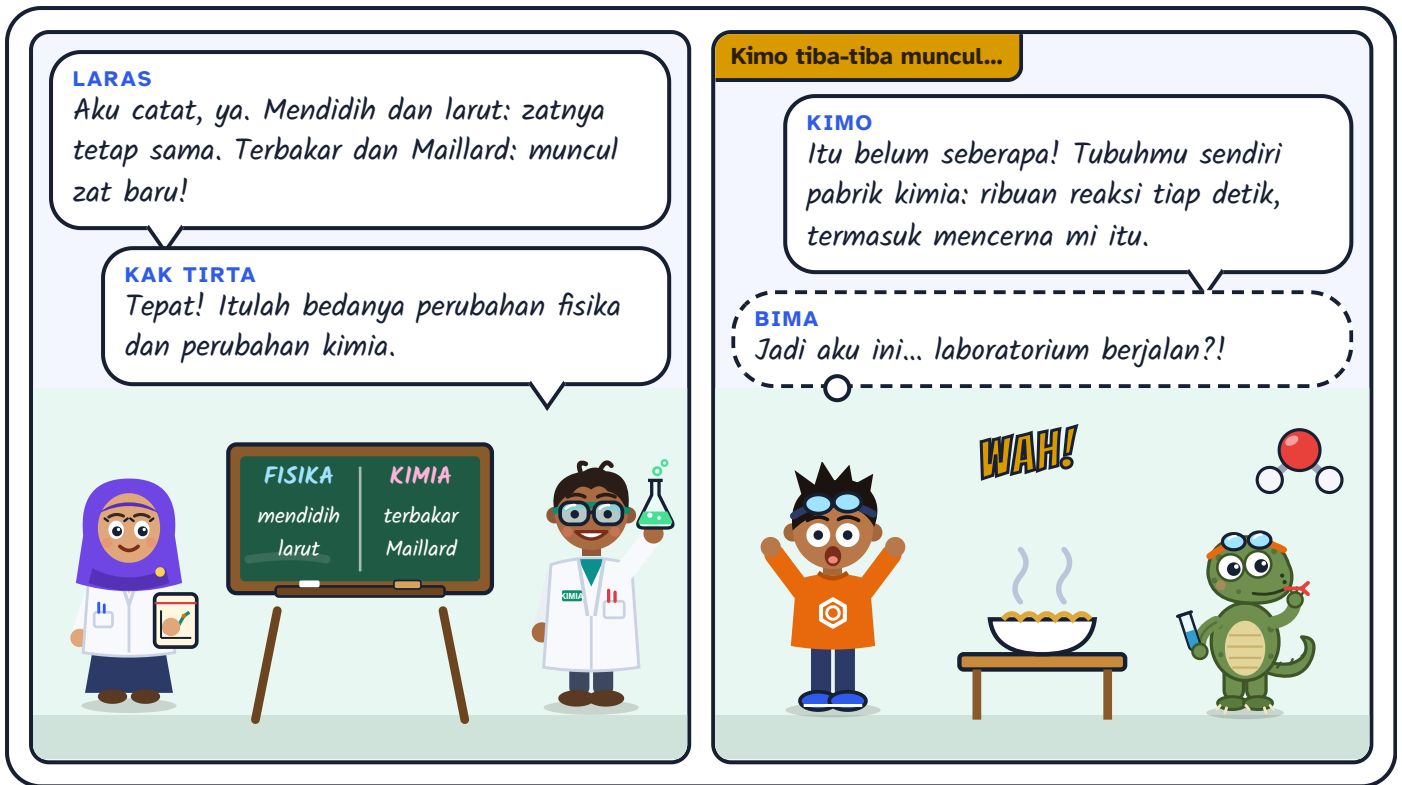
BIMA

Kak, aku cuma masak mi instan. Di mana kimianya? Di sini kan nggak ada tabung reaksi!

**KAK TIRTA**

Banyak! Gas LPG terbakar, air mendidih, garam bumbu larut, dan warna keemasan mi itu hasil reaksi Maillard waktu digoreng di pabrik.





Tebak Dulu!

Bima melihat tulisan "**BEBAS BAHAN KIMIA**" pada sebotol air minum kemasan. Bagaimana pendapatmu?

Benar. Air minum memang tidak mengandung bahan kimia.

Benar, karena airnya diambil dari mata air pegunungan yang alami.

Keliru. Air itu sendiri adalah zat kimia, ditambah mineral yang terlarut di dalamnya.

Keliru, tetapi hanya karena botol plastiknya terbuat dari bahan kimia.

Jawabannya: keliru! Segala sesuatu yang punya massa dan menempati ruang tersusun atas zat kimia. Air adalah H_2O , dan "mineral" di dalamnya adalah ion seperti Ca^{2+} , Mg^{2+} , dan HCO_3^- . Tulisan "bebas bahan kimia" hanyalah gaya iklan. Pertanyaan yang lebih cerdas adalah: **zat apa**, dan **berapa banyak**?

1.1 Kimia: ilmu tentang materi dan perubahannya

Coba lihat sekelilingmu: meja, udara, air di gelas, bahkan kulitmu sendiri. Semuanya adalah **materi**. Kimia bertanya tiga hal tentang materi: **terbuat dari apa**, **bagaimana sifatnya**, dan **bagaimana ia bisa berubah** menjadi zat lain.

Bahasa sederhana • Bayangkan kimia sebagai ilmu memasak alam semesta. Bahan-bahannya adalah atom, resepnya adalah reaksi, dan dapurnya ada di mana-mana: di kompor, di dalam tanah, di daun, dan di perutmu. Waktu kamu menggoreng tempe, menyalakan kompor, atau melihat besi berkarat, kamu sedang menyaksikan kimia bekerja.



DEFINISI • KIMIA DAN MATERI

Kimia adalah ilmu yang mempelajari materi: susunannya (terbuat dari apa), strukturnya (bagaimana partikelnya tersusun), sifat-sifatnya, perubahan yang dialaminya, dan energi yang menyertai perubahan itu. **Materi** adalah segala sesuatu yang memiliki massa dan menempati ruang.

Semua materi tersusun atas partikel yang sangat kecil: atom, molekul, dan ion. Air tersusun atas atom **H** dan **O**; garam dapur tersusun atas ion **Na** dan **Cl**; gas LPG tersusun atas atom **C** dan H. Ketuk lambangnya untuk berkenalan. Mari kita pakai "kacamata kimia" untuk melihat apa yang sebenarnya terjadi di panci mi Bima.



Dunia makro

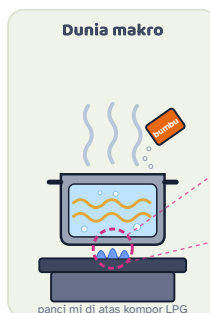
Dunia partikel (diperbesar ± 100 juta kali)



Apa yang terjadi
pada partikelnya?

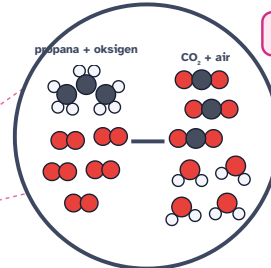
Satu panci, banyak peristiwa...

Langkah 1. Ini dunia makroskopik: yang bisa kamu lihat, cium, dan rasakan. Api biru, air bergolak, uap mengepul, bumbu ditaburkan. Ketuk **Lanjut** untuk memperbesar kira-kira 100 juta kali!



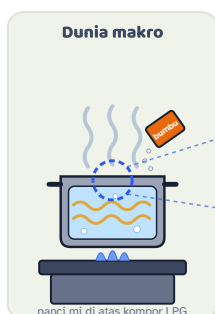
Dunia makro

Dunia partikel (diperbesar ± 100 juta kali)



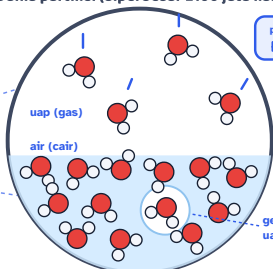
perubahan
KIMIA

Langkah 2. Api: molekul propana dari LPG bertumbukan dengan oksigen. Ikatannya putus, lalu atom-atomnya bergabung ulang menjadi karbon dioksida dan air. Muncul zat baru, jadi ini **perubahan kimia** (reaksi kimia): $\text{C}_3\text{H}_8 + 5\text{O}_2 \rightarrow 3\text{CO}_2 + 4\text{H}_2\text{O}$. Hitung atomnya: kiri dan kanan sama banyak!



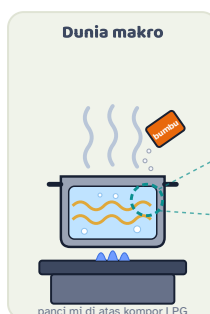
Dunia makro

Dunia partikel (diperbesar ± 100 juta kali)



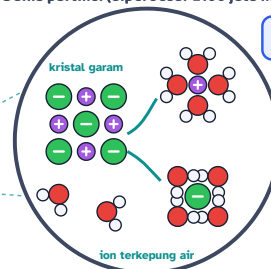
perubahan
FISIKA

Langkah 3. Mendidih: molekul air bergerak makin cepat sampai lepas dari tetangganya menjadi gas. Gelembung di air mendidih berisi **uap air**, bukan udara. Molekulnya tetap H_2O , jadi ini **perubahan fisika**.



Dunia makro

Dunia partikel (diperbesar ± 100 juta kali)



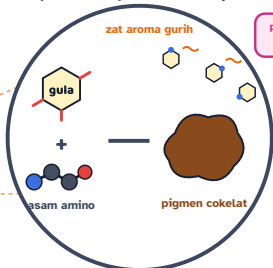
perubahan
FISIKA

Langkah 4. Larut: molekul air menarik ion Na^+ dan Cl^- keluar dari kristal garam lalu mengepunginya. Perhatikan: sisi oksigen menghadap Na^+ , sisi hidrogen menghadap Cl^- . Ionnya tidak berubah; bila airnya diuapkan, garam kembali. Ini juga **perubahan fisika**.



Dunia makro

Dunia partikel (diperbesar ± 100 juta kali)



perubahan
KIMIA

Langkah 5. Keemasan: saat mi digoreng di pabrik ($\pm 150^\circ\text{C}$), gula dan asam amino di permukaan adonan bereaksi (**reaksi Maillard**). Terbentuk pigmen coklat-keemasan dan ratusan zat aroma baru. Reaksi yang sama membuat tempe goreng, roti panggang, dan kopi sangrai harum. Ini **perubahan kimia**.



Dunia makro

1 • MAKROSKOPIK

yang terlihat, tercium, terasa:
api biru, uap mengepul, mi keemasan

2 • SUBMIKROSKOPIK

dunia partikel: atom, molekul, ion
yang bergerak, berpisah, bergabung ulang

3 • SIMBOLIK

bahasa singkat kimiawan:
 $\text{C}_3\text{H}_8 + 5\text{O}_2 \rightarrow 3\text{CO}_2 + 4\text{H}_2\text{O}$

Langkah 6. Tiga cara melihat satu peristiwa: **makroskopik** (yang terlihat), **submikroskopik** (partikel), dan **simbolik** (rumus). Kimiawan yang hebat lincah berpindah di antara ketiganya, dan buku ini akan melatihmu!



ATURAN • PERUBAHAN FISIKA ATAU PERUBAHAN KIMIA?

Tanyakan satu hal: **apakah terbentuk zat baru?**

- **Perubahan fisika**: wujud, bentuk, atau ukuran berubah, tetapi zatnya tetap sama. Contoh: es mencair, air mendidih, gula larut, kayu dipotong.
- **Perubahan kimia** (reaksi kimia): atom-atom bergabung ulang membentuk zat baru dengan sifat baru. Contoh: gas terbakar, besi berkarat, nasi basi, tempe digoreng menjadi cokelat.

Tanda-tanda reaksi kimia: timbul gas, terbentuk endapan, warna berubah, suhu berubah, muncul cahaya, atau bau baru.



AWAS JEBAKAN

Tanda-tanda reaksi hanyalah petunjuk, bukan bukti. Air mendidih juga bergelembung dan es mencair juga menyerap panas, padahal keduanya hanya perubahan fisika. Selalu kembali ke pertanyaan inti: apakah partikelnya berubah menjadi zat lain?

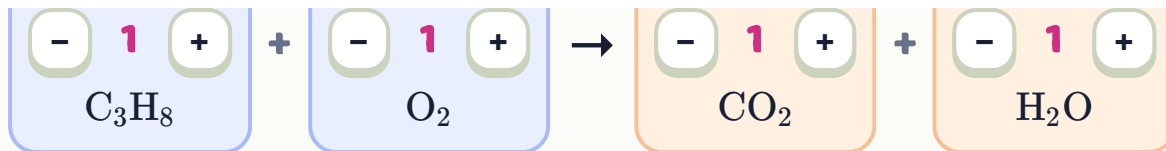
Peristiwa di sepiring mi	Apa yang terjadi pada partikelnya?	Jenis perubahan
LPG menyala di kompor	propana dan butana bereaksi dengan oksigen menjadi CO_2 dan H_2O	kimia
Air mendidih	molekul H_2O lepas dari cairan menjadi gas	fisika
Garam dan bumbu larut	ion dan molekul bumbu menyebar di antara molekul air	fisika
Minyak bumbu mencair di kuah panas	molekul lemak bergerak lebih bebas	fisika
Mi berwarna keemasan (digoreng di pabrik)	gula + asam amino menjadi pigmen dan zat aroma (Maillard)	kimia
Kamu mengunyah mi	enzim amilase di ludah memotong pati menjadi gula sederhana	kimia

Persamaan reaksi pada langkah 2 tadi adalah bahasa simbolik kimia. Jumlah setiap jenis atom di kiri dan kanan panah harus sama, karena atom tidak bisa muncul atau lenyap begitu saja. Kamu akan belajar menuliskannya di Bab 16, tetapi tidak ada salahnya mengintip sekarang:

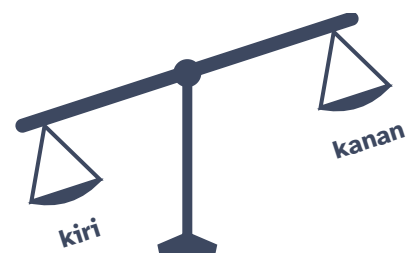


PENYETARA REAKSI

Intip Bab 16: setarakan reaksi di dapur dan tubuhmu



Unsur	Kiri	Kanan	
C	3 ●●●	1 ●	×
H	8 ○○○○○○○○	2 ○○	×
O	2 ●●	3 ●●●	×



Ubah koefisien sampai jumlah setiap atom di kiri = di kanan. Ingat: yang boleh diubah hanya koefisien, bukan indeks!

Petunjuk

Ulang

Persamaan berikutnya ▶

Persamaan 1 dari 4 null

Tekan – dan + untuk mengubah koefisien sampai timbangan datar. Reaksi pertama adalah LPG (propana) terbakar, kedua butana dari LPG, ketiga pernapasan sel di tubuhmu, dan keempat peragian tapai (glukosa menjadi alkohol dan gas karbon dioksida). Buntu? Pakai tombol .

MITOS

"Bahan kimia itu pasti berbahaya dan buatan pabrik."

MITOS

"Yang alami pasti aman."

FAKTA

Semua materi adalah bahan kimia: air, oksigen, vitamin C di jeruk, kurkumin di kunyit. Bahaya ditentukan oleh **jenis zat dan dosisnya**, bukan oleh asalnya.

FAKTA

Singkong pahit mengandung zat yang dapat melepaskan sianida, dan banyak jamur liar beracun. Keduanya 100% alami! Itulah sebabnya singkong pahit harus direndam dan dimasak dengan benar.

MITOS

"Kimia itu hanya hafalan rumus."

MITOS

"Produk berlabel 'tanpa bahan kimia' lebih sehat."

FAKTA

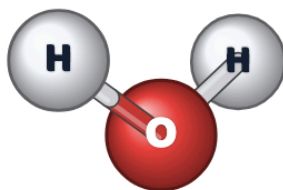
Kimia adalah cara berpikir: mengamati, menduga, lalu menguji. Rumus hanyalah bahasa singkat untuk menceritakan apa yang dilakukan partikel. Pahami ceritanya, rumusnya ikut teringat.

FAKTA

Produk tanpa bahan kimia itu mustahil, karena produknya sendiri tersusun atas zat kimia. Baca daftar komposisinya: zat apa dan berapa banyak.

MOLEKUL 3D

Semuanya zat kimia, semuanya alami



Seret untuk memutar · ketuk atom untuk mengukur

Air H2O

Mr ≈ 18,02

[PubChem ↗](#)

Molekul bengkok dengan sudut $\pm 104,5^\circ$. Dua pasang elektron bebas pada O membuatnya polar dan mampu berikatan hidrogen.

Air, vitamin C dari jeruk, kurkumin dari kunyit, kapsaisin dari cabai, eugenol dari cengkeh, gingerol dari jahe, kafein dari kopi, dan zat wangi pandan. Semuanya "bahan kimia alami". Putar setiap molekul dan hitung atom karbonnya (bola abu-abu gelap). Molekul mana yang paling besar?

CONTOH Fisika atau kimia?

Golongkan peristiwa berikut menjadi perubahan fisika atau perubahan kimia: (a) es batu mencair di es teh, (b) nasi basi berbau asam, (c) gula dilarutkan dalam teh, (d) kembang api menyala berwarna-warni.

- 1 Tanyakan untuk setiap peristiwa: apakah terbentuk zat baru?
- 2 (a) Es dan air sama-sama H_2O ; hanya wujudnya berubah → **fisika**.
- 3 (b) Bakteri mengubah zat dalam nasi menjadi asam dan zat berbau → zat baru → **kimia**.
- 4 (c) Gula masih gula, bisa didapatkan kembali dengan menguapkan airnya → **fisika**.
- 5 (d) Bahan kembang api terbakar menghasilkan gas, asap, cahaya, dan panas → **kimia**.

Fisika: (a) dan (c). Kimia: (b) dan (d). Kuncinya bukan seberapa "heboh" perubahannya, tetapi apakah zat baru terbentuk.

1.2 Cabang kimia dan profesi kimiawan

Kimia sangat luas, sehingga para ilmuwan membaginya menjadi beberapa cabang. Setiap cabang punya "pertanyaan favorit" sendiri. Dalam praktik, cabang-cabang ini saling meminjam alat dan ide.

Cabang	Pertanyaan favoritnya	Contoh di sekitarmu
Kimia organik	Bagaimana senyawa karbon tersusun dan bereaksi?	kapsaisin cabai, obat, plastik, bensin
Kimia anorganik	Bagaimana sifat logam, mineral, dan garam?	nikel untuk baterai, semen, garam Madura
Kimia fisik	Mengapa dan seberapa cepat reaksi terjadi? Berapa energinya?	kecepatan gula larut, baterai, kompres dingin
Kimia analitik	Zat apa yang ada di sini, dan berapa banyak?	uji formalin pada tahu, kadar gula darah
Biokimia	Reaksi apa yang terjadi di dalam makhluk hidup?	pencernaan, fermentasi tempe dan tape

Ada juga cabang yang lebih muda, seperti **kimia lingkungan** (kabut asap, sampah plastik, kualitas air sungai), **kimia material** (baterai, semikonduktor, bioplastik), dan **kimia inti** (radioaktivitas untuk kedokteran dan

pembangkit listrik).

Siapa saja yang bekerja dengan kimia?

Profesi	Contoh pekerjaannya
Apoteker	meracik dan memeriksa obat, menjelaskan dosis dan efek sampingnya
Analisis pangan dan obat (misalnya di BPOM)	menguji jajanan dari pewarna terlarang Rhodamin B, formalin, dan boraks
Insinyur kimia	menjalankan kilang minyak di Balikpapan dan Cilacap, pabrik pupuk, semen, dan kelapa sawit
Ahli forensik	memeriksa racun, noda, dan serat sebagai barang bukti
Peneliti di BRIN dan kampus	mencari obat dari tumbuhan hutan, bahan bakar nabati, dan bahan baterai
Ahli material dan metalurgi	mengolah bijih nikel Sulawesi menjadi bahan baterai
Peracik aroma dan rasa	meracik parfum dari minyak nilam Aceh dan cita rasa dari rempah
Ahli lingkungan	memantau kualitas air sungai, udara, dan limbah pabrik
Guru kimia	menularkan rasa ingin tahu (dan menjaga semua orang tetap selamat di lab)!



KIMIA NUSANTARA • PENJAGA DI BALIK LAYAR

Setiap kali kamu membeli jajanan berlabel izin edar, ada kimiawan yang bekerja di baliknya. **BPOM** (Badan Pengawas Obat dan Makanan) menguji obat, kosmetik, dan pangan dari zat berbahaya. **BRIN** (Badan Riset dan Inovasi Nasional) meneliti mulai dari obat herbal sampai baterai. Pabrik pupuk di Gresik, Bontang, dan Palembang memberi makan sawah-sawah kita. Semuanya membutuhkan orang yang paham kimia, mungkin suatu hari kamu!



TAMU DARI MASA LALU

Kata *kimia* sampai kepada kita lewat bahasa Arab *al-kīmiyā*; asal-usul yang lebih tua masih diperdebatkan. Para alkimiawan di dunia Islam abad ke-8 sampai ke-10, seperti tokoh-tokoh yang dikenal sebagai **Jabir ibn Hayyan** dan **Abu Bakar ar-Razi**, menyempurnakan teknik distilasi, kristalisasi, dan penyaringan; ar-Razi bahkan menggolongkan zat menjadi mineral, tumbuhan, dan hewan. Seribu tahun kemudian, pada 1789, **Antoine Lavoisier** di Prancis menerbitkan buku teks kimia modern. Dibantu istrinya, **Marie-Anne Paulze Lavoisier**, yang menggambar alat-alat dan menerjemahkan karya ilmiah, ia menunjukkan bahwa massa tidak hilang dalam reaksi kimia dan menata cara menamai zat. Sayang, Lavoisier dihukum mati pada 1794 di masa Revolusi Prancis.

1.3 Metode ilmiah: berpikir seperti detektif

Kimiawan tidak menebak lalu berhenti. Mereka bekerja seperti detektif: mengumpulkan petunjuk, menduga, lalu menguji dugaan itu dengan percobaan. Rangkaian langkah ini disebut **metode ilmiah**. Ikuti kisah Laras dan segelas es teh.

Bahasa sederhana • Metode ilmiah itu sederhana: lihat baik-baik, ajukan pertanyaan, tebak jawabannya, lalu buktikan dengan percobaan. Kalau tebakanmu salah, tidak apa-apa. Itu justru membuatmu belajar sesuatu yang baru!

Amati

Laras mengamati...

Gula di es teh lama mengendap di dasar gelas, sedangkan di teh panas cepat menghilang.

Langkah 1. Mengamati dengan pancaindra dan alat ukur. Pengamatan yang baik itu teliti dan dicatat, bukan sekadar "kayaknya".

Amati

...lalu bertanya

Apakah suhu air memengaruhi kecepatan gula larut?

Tanya

Langkah 2. Bertanya: ubah rasa penasaran menjadi pertanyaan yang bisa diuji dengan percobaan.

Amati

Hipotesis (dugaan terukur)

"Jika air makin panas, gula makin cepat larut, karena partikel air bergerak lebih cepat."

Tanya

Hipotesis

Langkah 3. Hipotesis: jawaban sementara yang bisa diuji, sebaiknya dengan alasannya. Pola "jika ..., maka ..., karena ..." sangat membantu.

Amati

Percobaan yang adil

Tiga gelas: 10, 30, dan 50 °C. Dibuat sama: 100 mL air, 1 sendok teh gula pasir, cara mengaduk sama.

Tanya

Hipotesis

Eksperimen

Langkah 4. Eksperimen: ubah satu hal saja (suhu), ukur hasilnya (waktu larut), dan jaga hal lain tetap sama.

Amati

Data dan analisis

Waktu larut: 90 s, 52 s, 30 s. Makin panas, makin singkat. Diulang 3 kali, dirata-rata, lalu dibuat grafiknya.

Tanya

Hipotesis

Analisis

Eksperimen

Langkah 5. Analisis data: susun tabel, hitung rata-rata, buat grafik, lalu cari polanya.

Amati

Simpulan

Data mendukung hipotesis. Laras menulis laporan dan membagikannya ke kelas agar bisa diuji ulang orang lain.

Tanya

Hipotesis

Eksperimen

Langkah 6. Simpulkan dan bagikan: apakah data mendukung hipotesis? Laporkan dengan jujur, termasuk bila hasilnya tidak sesuai harapan.

Amati

Simpulan

Siklus berputar lagi!

Pertanyaan baru muncul: bagaimana dengan ukuran butir gula atau pengadukan? Sains tidak pernah selesai.

Tanya

Hipotesis

Analisis

Eksperimen

Langkah 7. Setiap jawaban memunculkan pertanyaan baru. Itulah sebabnya sains terus berkembang!



DEFINISI • TIGA JENIS VARIABEL

- **Variabel bebas:** hal yang **sengaja diubah** oleh peneliti (misalnya suhu air).
- **Variabel terikat:** hal yang **diukur** sebagai hasil, karena nilainya bergantung pada variabel bebas (misalnya waktu sampai gula larut).
- **Variabel kontrol:** semua hal yang **dijaga tetap sama** agar perbandingannya adil (volume air, jenis dan massa gula, cara mengaduk, ukuran gelas).



TRIK KAK TIRTA • UBAH-UKUR-JAGA

Bebas = yang aku **UBAH**. Terikat = yang aku **UKUR**. Kontrol = yang aku **JAGA**. Kalau kamu bingung, tulis kalimat: "Aku mengubah ___ untuk melihat pengaruhnya pada ___, sambil menjaga ___ tetap sama."



ATURAN • PERCOBAAN YANG ADIL (*FAIR TEST*)

Dalam satu percobaan, ubah **hanya satu** variabel bebas. Bila dua hal diubah sekaligus dan hasilnya berbeda, kita tidak bisa tahu mana penyebabnya. Ulangi setiap perlakuan beberapa kali agar hasilnya bisa dipercaya.



Tebak Dulu!

Laras ingin tahu apakah suhu air memengaruhi kecepatan gula larut. Rancangan mana yang adil?

Gelas A: air panas dan diaduk. Gelas B: air dingin dan tidak diaduk.

Gelas A: air panas dengan gula halus. Gelas B: air dingin dengan gula batu.

Gelas A dan B sama-sama berisi 100 mL air dan 1 sendok teh gula pasir, diaduk dengan cara sama; hanya suhu airnya yang berbeda.

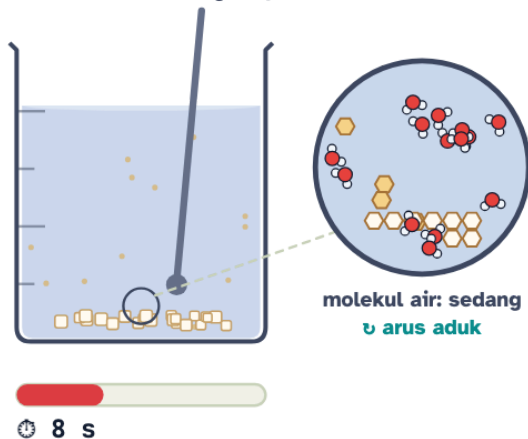
Cukup satu gelas air panas, lalu catat waktunya dengan teliti.

Jawabannya: rancangan ketiga. Pada pilihan pertama dan kedua, dua hal berubah sekaligus, sehingga kita tidak tahu mana yang membuat gula cepat larut. Pilihan keempat tidak punya pembanding sama sekali. Coba sendiri di Lab Mini berikut, termasuk membuat rancangan yang "curang"!

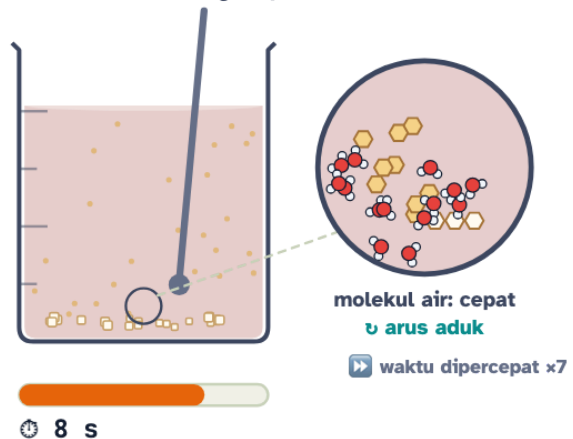
Misi 1 • Apakah suhu air memengaruhi kecepatan gula larut?

✓ Uji adil: hanya suhu air yang berbeda. Tekan ► Jalankan!

Gelas A 25 °C • gula pasir • diaduk



Gelas B 60 °C • gula pasir • diaduk



Gerak partikel di lensa diperlambat dan dibesar-besarkan agar terlihat.

Waktu larut A

8 s

Waktu larut B

8 s

Pemeriksa

adil ✓

Misi selesai

☐ suhu • ☐ butir • ☐ aduk

Pilih misi, lalu atur gelas A dan B. Pemeriksa di atas akan menilai: apakah hanya **satu** variabel yang berbeda, dan apakah itu variabel misimu? Tekan ► Jalankan dan amati lensa: molekul air bergerak lebih cepat di air panas, sedangkan pengadukan membawa air "segar" ke permukaan kristal. Selesaikan ketiga misi! Coba juga 🎲 rancangan acak, lalu perbaiki sampai adil.

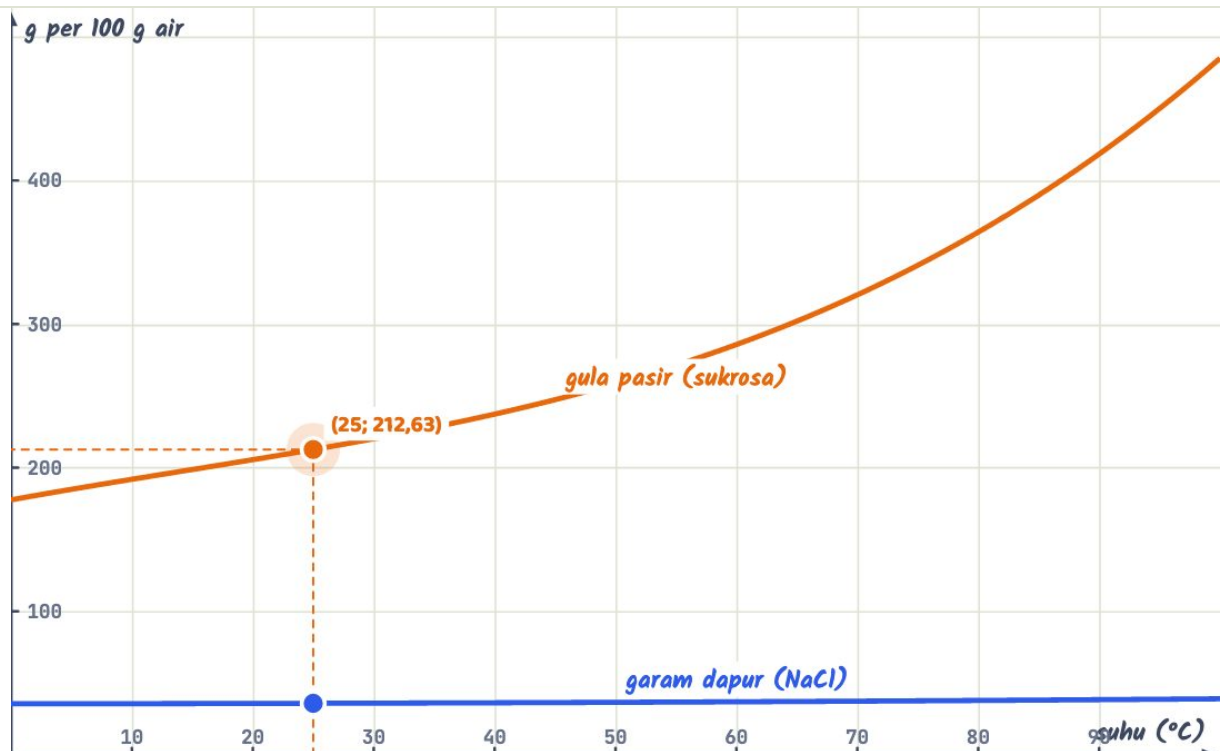
**AWAS JEBAKAN**

Cepat larut tidak sama dengan banyak larut. Mengaduk dan menghaluskan gula hanya mempercepat gula larut; jumlah gula maksimum yang bisa larut (**kelarutan**) tidak berubah. Suhu berbeda: ia mempercepat *dan* menaikkan kelarutan gula.

Data percobaan biasanya disajikan dalam grafik. Grafik di bawah ini berasal dari data kelarutan nyata: berapa gram zat paling banyak yang dapat larut dalam 100 g air pada setiap suhu.

$$S = f(T)$$

$T = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$: $S_{\text{gula}} = 212,63\text{ g}$, $S_{\text{NaCl}} = 35,98\text{ g per } 100\text{ g air}$



gula maksimum

213 g/100 g air

garam maksimum

36 g/100 g air

gula : garam

5,9 kali

Seret titik oranye. Kenaikan suhu dari $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ke $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ hampir melipatgandakan kelarutan gula, tetapi kelarutan garam hanya naik $\pm 10\%$. Itulah sebabnya petani garam di Madura memakai penguapan oleh panas matahari, bukan pendinginan, untuk mendapatkan kristal garam.

Bima ingin membuktikan bahwa mengaduk membuat gula lebih cepat larut. Tentukan variabel bebas, terikat, dan kontrolnya, lalu rancang percobaannya.

- 1 Yang diubah (bebas): **pengadukan**, yaitu diaduk atau tidak diaduk.
- 2 Yang diukur (terikat): **waktu sampai gula larut sempurna**, dalam detik.
- 3 Yang dijaga (kontrol): suhu air, volume air (100 mL), jenis dan massa gula (5 g gula pasir), ukuran gelas, cara menentukan "larut sempurna".
- 4 Rancangan: dua gelas identik; gelas A diaduk 1 putaran per detik, gelas B dibiarkan. Mulai stopwatch bersamaan. Ulangi 3 kali dan hitung rata-ratanya.

Bila gelas A selalu lebih cepat dalam ketiga ulangan, Bima punya bukti yang adil bahwa pengadukan mempercepat gula larut.



LANJUT • IB & OLIMPIADE

SEBERAPA YAKIN KITA? ULANGAN, RATA-RATA, DAN KETIDAKPASTIAN

Tiga ulangan waktu larut gula: 52 s, 49 s, dan 55 s. Rata-ratanya $(52 + 49 + 55)/3 = 52$ s.

Ketidakpastian dapat ditaksir dari setengah rentang: $(55 - 49)/2 = 3$ s, sehingga hasilnya ditulis 52 ± 3 s, atau ketidakpastian relatif $3/52 \times 100\% \approx 6\%$.

- **Galat acak** (misalnya waktu reaksi jari menekan stopwatch) membuat data berserakan di sekitar nilai benar. Dapat dikurangi dengan menambah ulangan.
- **Galat sistematis** (misalnya termometer yang selalu terbaca 2°C terlalu tinggi) menggeser semua data ke satu arah. Menambah ulangan tidak menolong; alatnya harus dikalibrasi.
- Data yang **presisi** saling berdekatan; data yang **akurat** dekat dengan nilai benar. Data bisa presisi tetapi tidak akurat!

1.4 Alat laboratorium dan dua hitungan pertama

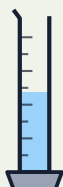
Dapurmu punya panci, gelas takar, dan timbangan. Laboratorium punya "saudara-saudaranya" yang dibuat dari kaca tahan panas dan diberi skala yang jauh lebih teliti. Kenali wajah-wajah mereka:



Gelas kimia



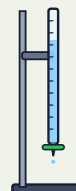
Erlenmeyer



Gelas ukur



Pipet tetes



Buret



Tabung reaksi



Pembakar spiritus



Labu alas bulat



Neraca digital



Corong



Botol pereaksi



Kacamata pelindung

Dua belas alat dasar laboratorium kimia sekolah. Buret biasanya dijepit pada statif; kacamata pelindung wajib dipakai selama praktikum.

Alat	Fungsi utama	"Saudaranya" di dapur	Ketelitian
Gelas kimia	menampung, mencampur, memanaskan larutan	mangkuk, panci kecil	kasar (skala $\pm 5\%$)
Labu Erlenmeyer	mengocok larutan tanpa tumpah; wadah titrasi	botol bermulut sempit	kasar
Gelas ukur	menakar volume cairan	gelas takar	sedang ($\pm 1\%$)
Pipet tetes	meneteskan cairan sedikit demi sedikit	sedotan yang ujungnya ditutup jari	tidak untuk mengukur
Buret dan pipet volume	mengukur volume sangat teliti, misalnya saat titrasi	tidak ada!	teliti (buret dibaca sampai 0,05 mL)
Tabung reaksi	mereaksikan zat dalam jumlah sedikit	gelas sloki	tidak untuk mengukur
Pembakar spiritus/Bunsen	memanaskan	kompur	–
Labu alas bulat	memanaskan larutan secara merata, distilasi	ketel	–

Neraca digital	menimbang massa	timbangan dapur	0,01 g (timbangan dapur: 1 g)
Corong	memindahkan cairan; menyaring dengan kertas saring	corong minyak	–



TRIK KAK TIRTA • MEMBACA MENISKUS

Permukaan air di gelas ukur melengkung seperti senyum. Lengkungan ini disebut **meniskus**. Baca skala pada **bagian terbawah lengkungan**, dengan mata **sejajar** permukaan cairan. Membaca dari atas atau bawah membuat angkanya meleset (galat paralaks). Ingat: "gelas kimia menampung, gelas ukur menarik, buret menghitung tetes demi tetes."

Hitungan pertama: massa jenis

Neraca mengukur massa, gelas ukur mengukur volume. Gabungkan keduanya dan kamu mendapat besaran baru yang bisa mengenali zat: **massa jenis** (ρ , dibaca "rho"), yaitu massa setiap satu satuan volume. Benda yang massa jenisnya lebih kecil daripada air (1 g/cm^3) mengapung; yang lebih besar tenggelam.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad 1 \text{ mL} = 1 \text{ cm}^3$$

Zat	Massa jenis (g/cm^3 , $\pm 25^\circ\text{C}$)	Di air...
Styrofoam	$\pm 0,03$	mengapung tinggi
Etanol (alkohol)	0,79	bercampur
Minyak goreng, es	$\pm 0,92$	mengapung
Air murni	1,00	–
Air laut	$\pm 1,03$	tenggelam di air tawar, lalu bercampur
Madu	$\pm 1,4$	tenggelam
Aluminium • besi • emas	2,70 • 7,87 • 19,3	tenggelam

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Massa jenis adalah seberapa banyak massa yang dijejalkan ke dalam setiap sentimeter kubik.

m Massa benda g

V Volume benda cm^3

ρ Massa jenis g/cm^3

MASSA JENIS

0,92
 g/cm^3



mengapung di air

$\approx$ minyak goreng

Air sebanyak **100** cm^3 bermassa **100** g, sedangkan bendamu **92** g. Bendamu **0,92** kali lebih berat daripada air bervolume sama.

Cek satuan: $\text{g} \div \text{cm}^3 = \text{g/cm}^3$ ✓ (sama dengan g/mL)

RUMUS HIDUP: GESER NILAINYA DAN KUMPULKAN KARTUNYA DI [AURUMGEN.MY.ID/CHEMIPEDIA#RM-MASSA-JENIS-APUNG](https://aurumgen.my.id/chemipedia#RM-MASSA-JENIS-APUNG)

Sebuah gelang "emas" bermassa **38,6 g** dimasukkan ke gelas ukur berisi **20,0 mL** air. Permukaan air naik menjadi **22,5 mL**. Apakah gelang itu emas murni ($\rho = 19,3 \text{ g/cm}^3$)?

- 1 Volume gelang = kenaikan air: $V = 22,5 - 20,0 = 2,5 \text{ mL} = 2,5 \text{ cm}^3$.
- 2 Massa jenis: $\rho = \frac{m}{V} = \frac{38,6 \text{ g}}{2,5 \text{ cm}^3} = 15,4 \text{ g/cm}^3$.
- 3 Bandingkan: $15,4 < 19,3$. Gelang itu lebih "ringan" daripada emas murni bervolume sama.

Bukan emas murni. Massa jenis $\pm 15,4 \text{ g/cm}^3$ cocok dengan paduan emas (misalnya emas 18 karat yang dicampur perak dan tembaga). Cara ini mirip kisah Archimedes dan mahkota raja!

ADU CEPAT Massa jenis kilat

ADU CEPAT • MAINKAN DI AURUMGEN.MY.ID/CHEMIPEDIA#BAB-1

Latihan kilat 60 detik dengan soal acak dan rekor pribadi.

$\rho = m \div V$. Contoh: $27 \text{ g} \div 10 \text{ cm}^3 = 2,7 \text{ g/cm}^3$ (aluminium).

Hitungan kedua: persentase massa

Label produk sering menulis kadar dalam persen: "pemutih mengandung natrium hipoklorit 5%", "susu berlemak 3,5%". Artinya, dalam setiap 100 g campuran ada 5 g atau 3,5 g zat itu. Inilah **persentase massa**.

RUMUS HIDUP Persentase massa: seberapa manis es tehmu?

$$\% \text{ gula} = \frac{m_{\text{gula}}}{m_{\text{gula}} + m_{\text{air}}} \times 100\%$$

Bagian massa gula dari seluruh massa minuman, dinyatakan per seratus.

m_{gula}

Massa gula g

m_{air}

Massa air teh g

$\% \text{ gula}$

Kadar gula %

KADAR GULA

9,1

%

25 g gula dalam 275 g minuman, kira-kira 2 sendok makan. Itu 50% dari batas gula harian anjuran Kementerian Kesehatan (50 g).

Cek satuan: $\text{g} \div \text{g} \times 100\% = \% \checkmark$

RUMUS HIDUP: GESER NILAINYA DAN KUMPULKAN KARTUNYA DI AURUMGEN.MY.ID/CHEMIPEDIA#RM-KADAR-GULA-ESTEH

Penjual es teh membuat seteko minuman dari 2.000 g air teh dan 240 g gula. (a) Berapa persen massa gula? (b) Satu gelas berisi 280 g minuman. Berapa gram gula yang kamu minum? (c) Berapa persen dari batas gula harian 50 g? (d) Bila 70 g es batu ditambahkan ke gelas itu dan mencair, berapa persen gulanya sekarang?

1 (a) Massa total = $2.000 + 240 = 2.240$ g. Kadar = $\frac{240}{2.240} \times 100\% = 10,7\%$.

2 (b) Gula dalam segelas = $10,7\% \times 280 \text{ g} = \frac{240}{2.240} \times 280 = 30 \text{ g}$.

3 (c) $\frac{30}{50} \times 100\% = 60\%$ dari batas harian, hanya dari satu gelas!

4 (d) Es menambah massa air, bukan gula: $\frac{30}{280 + 70} \times 100\% = \frac{30}{350} \times 100\% = 8,6\%$.

(a) 10,7% · (b) 30 g · (c) 60% · (d) 8,6%. Es batu membuat minuman terasa kurang manis, tetapi jumlah gula yang kamu minum tetap 30 g.

1.5 Keselamatan kerja dan pictogram bahaya

Kimiawan yang hebat bukan yang paling berani, tetapi yang paling teliti menjaga keselamatan. Hampir semua kecelakaan di laboratorium sekolah bisa dicegah dengan kebiasaan sederhana.

Bahasa sederhana · Di laboratorium, ada aturan seperti di jalan raya. Kita memakai kacamata pelindung seperti pengendara memakai helm. Kita tidak makan dan minum di lab, tidak mencicipi apa pun, dan selalu bertanya kepada guru kalau ragu.



KESELAMATAN

Keselamatan dulu, percobaan kemudian: tidak ada hasil percobaan yang lebih berharga daripada mata dan kulitmu.

1. Pakai jas lab, **kacamata pelindung**, dan sepatu tertutup. Ikat rambut panjang; selipkan ujung kerudung ke dalam jas lab.
2. Jangan makan, minum, atau mencicipi apa pun di lab.
3. Mencium bau dengan mengibaskan uapnya ke arah hidung, bukan menghirup langsung dari mulut wadah.
4. Saat memanaskan tabung reaksi, arahkan mulut tabung menjauhi dirimu dan temanmu.
5. Baca label dua kali sebelum memakai. Jangan mengembalikan sisa bahan ke botol asal.
6. Buang limbah sesuai petunjuk guru, bukan sembarangan ke wastafel.
7. Ketahui letak keran air, pencuci mata, dan alat pemadam api. Laporkan setiap kecelakaan sekecil apa pun.
8. Bila bahan kimia mengenai kulit atau mata, segera bilas dengan air mengalir selama ± 15 menit, lalu lapor ke guru.



TRIK KAK TIRTA • ASAM MASUK KE AIR

Bila suatu hari gurumu mengencerkan asam pekat, urutannya selalu: **air dulu, asam dituang perlahan ke dalam air**, bukan sebaliknya. Bila air dituang ke asam pekat, panas yang timbul bisa membuat cairan mendidih tiba-tiba dan memercik. Jembatan keledainya: "Asam ikut berenang ke kolam, bukan kolam ditumpahkan ke asam."

Bagaimana kita tahu sebuah bahan berbahaya? Lihat labelnya! Dunia memakai satu sistem lambang bahaya, yaitu **GHS** (*Globally Harmonized System*) buatan Perserikatan Bangsa-Bangsa, yang juga diterapkan di Indonesia. Setiap pictogram berbentuk belah ketupat berbingkai merah. Label juga memuat kata sinyal "**Bahaya**" (lebih serius) atau "**Peringatan**".



Mudah menyala
bensin, spiritus,
LPG



Oksidator
memperhebat api



Eksplorisif
kembang api,
mesiu



Gas bertekanan
tabung gas



Korosif
air aki, soda api



Toksik akut
beracun walau
sedikit



Iritan (tanda seru)
perih di kulit/mata



Bahaya kesehatan
merusak organ
jangka panjang



Bahaya lingkungan
meracuni ikan

Seret pictogram dari kotak bawah ke produk di rak. Ketuk pictogram untuk membaca artinya.



Kotak pictogram • seret ke produk, atau ketuk untuk membaca artinya



Kotak bergaris putus-putus = pictogram wajib yang belum terpasang.

Pictogram wajib terpasang

0 / 8

Tempelan keliru

0

Status

masih ada yang kurang

Seret pictogram dari kotak bawah ke produk yang cocok. Satu produk bisa punya lebih dari satu bahaya; kotak bergaris putus-putus menunjukkan berapa yang masih kurang. Ketuk pictogram untuk membaca artinya, ketuk produk untuk membaca petunjuknya. Selesaikan kedua rak!

Di rumah pun ada banyak produk berlabel bahaya: pemutih pakaian, pembersih lantai dan porselen, obat nyamuk, spiritus, tiner, pupuk, dan pestisida. Simpan di wadah aslinya, jauh dari jangkauan adik kecil, jauh dari kompor, dan **jangan pernah** memindahkannya ke botol bekas minuman.



AWAS JEBAKAN

Mencampur dua pembersih tidak membuatnya dua kali lebih ampuh. Pemutih yang tercampur pembersih porselen (yang bersifat asam) atau pembersih beramonia melepaskan gas beracun. Pakai satu produk saja, bilas, dan pastikan ruangan berventilasi.



TAMU DARI MASA LALU

Marie Curie, peraih Nobel Fisika (1903) dan Nobel Kimia (1911), meneliti unsur radioaktif radium dan polonium tanpa pelindung, karena bahayanya belum dipahami. Ia meninggal pada 1934 karena penyakit darah yang diduga akibat radiasi. Buku-buku catatannya masih radioaktif hingga kini dan disimpan dalam kotak berlapis timbal di Prancis. Ilmu keselamatan lahir dari pengalaman pahit para perintis seperti dia.



Tantangan Rumah: detektif label bahaya

Bahan: HP untuk memotret, buku catatan, dan produk rumah tangga yang ada (pemutih, pembersih lantai, sabun cuci piring, obat nyamuk, spiritus, pupuk tanaman).

1. Bersama orang dewasa, kumpulkan produk-produk itu di satu tempat yang terang. Jangan membuka tutupnya.
2. Potret labelnya. Catat nama produk, pictogram GHS yang tercetak, kata sinyal ("Bahaya" atau "Peringatan"), dan petunjuk pertolongan pertamanya.
3. Periksa tempat penyimpanannya: jauh dari anak kecil? jauh dari kompor? masih di wadah asli?
4. Buat "peta bahaya rumahku" dan tempelkan di dekat tempat penyimpanan.

Keselamatan: kerjakan bersama orang dewasa; jangan membuka, mencium, mencicipi, atau mencampur isi produk; cuci tangan setelah selesai; kembalikan semua produk ke tempat yang aman.

Pertanyaan: Pictogram apa yang paling sering kamu temukan? Adakah produk yang tidak berlabel pictogram? Adakah produk yang disimpan di tempat berbahaya, dan bagaimana kamu memperbaikinya?

1.6 Kimia untuk Indonesia

Jauh sebelum ada laboratorium modern, nenek moyang kita sudah menjadi kimiawan yang ulung. Mereka belum mengenal rumus, tetapi mereka menguasai peragian, pewarnaan, dan ekstraksi zat dari tumbuhan.



KIMIA NUSANTARA · JAMU, LABORATORIUM DALAM BOTOL

Kunyit asam, beras kencur, dan temulawak adalah ekstrak zat aktif tumbuhan dalam air. Warna kuning kunyit berasal dari **kurkumin**; rasa hangat jahe dari **gingerol**. Kurkumin juga indikator alami: kunyit yang tercampur kapur sirih (bersifat basa) berubah menjadi merah-cokelat. Pada 2023, budaya sehat jamu diakui UNESCO sebagai Warisan Budaya Takbenda dari Indonesia.



KIMIA NUSANTARA · BATIK, KIMIA DI ATAS KAIN

Malam (lilin batik) adalah campuran parafin, gondorukem (getah pinus), dan lilin lebah. Malam menolak zat warna, sehingga bagian kain yang tertutup tetap terang. Pewarna biru alami **indigo** berasal dari daun tarum. Indigo tidak larut dalam air, jadi di bak celup ia diubah dulu menjadi bentuk larut yang berwarna kuning kehijauan. Begitu kain diangkat ke udara, oksigen mengubahnya kembali menjadi biru indigo, tepat di depan matamu! Pembatik juga "mengunci" warna dengan tawas, kapur, atau tunjung, yang masing-masing memberi corak berbeda.

Tempe adalah karya bioteknologi Indonesia: jamur *Rhizopus* menghasilkan enzim yang memecah protein dan lemak kedelai menjadi molekul lebih kecil yang lebih mudah dicerna. Hari ini, kimia membantu Indonesia di bidang yang lebih besar lagi:

- **Pangan.** Pabrik pupuk mengubah nitrogen udara menjadi amonia, lalu amonia dan karbon dioksida menjadi urea, pupuk **nitrogen** untuk sawah: $2\text{NH}_3 + \text{CO}_2 \longrightarrow \text{CO}(\text{NH}_2)_2 + \text{H}_2\text{O}$.
- **Energi.** Indonesia memiliki cadangan **nikel** terbesar di dunia, terutama di Sulawesi dan Maluku Utara. Nikel, bersama **litium** dan **kobalt**, adalah bahan baterai kendaraan listrik. Biodiesel dari minyak sawit sudah dicampurkan ke solar.
- **Kesehatan.** Obat dari tumbuhan hutan tropis, vaksin, dan pengawasan mutu pangan semuanya membutuhkan kimiawan.

Namun industri juga bisa mencemari sungai dan udara. Karena itu, kimiawan masa kini memegang prinsip **kimia hijau**: merancang proses yang sejak awal mencegah limbah, memakai bahan terbarukan, menghemat energi, dan menghasilkan produk yang aman. Lebih baik mencegah limbah daripada membersihkannya!



LANJUT · IB & OLIMPIADE

MENGUKUR "KEHIJAUAN" REAKSI: EKONOMI ATOM DAN FAKTOR E

Ekonomi atom membandingkan massa produk yang diinginkan dengan massa semua pereaksi:

$$\text{ekonomi atom} = \frac{M_r \text{ produk yang diinginkan}}{\sum M_r \text{ semua pereaksi}} \times 100\%$$

Untuk urea, $2\text{NH}_3 + \text{CO}_2 \longrightarrow \text{CO}(\text{NH}_2)_2 + \text{H}_2\text{O}$: $\frac{60}{2(17) + 44} \times 100\% = \frac{60}{78} \times 100\% = 76,9\%$.

Sisanya menjadi air, hasil samping yang tidak berbahaya.

Faktor E (diperkenalkan Roger Sheldon) adalah massa limbah dibagi massa produk. Industri kimia curah biasanya punya faktor E di bawah 5, sedangkan industri obat bisa puluhan sampai lebih dari seratus: untuk 1 kg obat, bisa terbuang lebih dari 100 kg pelarut dan bahan lain. Di sinilah kimiawan hijau berlomba berinovasi.

Kimia di sekitarmu



Jeruk nipis dan bau amis

Bau amis ikan berasal dari senyawa amina yang mudah menguap. Asam sitrat jeruk nipis mengubahnya menjadi garam yang tidak menguap, sehingga baunya hilang.



Sabun

Molekul sabun berkepala "suka air" dan berekor "suka minyak". Ekornya menangkap minyak, kepalanya menarik minyak itu larut bersama air bilasan.



Pasta gigi berfluorida

Ion fluorida mengubah sebagian mineral email gigi menjadi fluorapatit yang lebih tahan terhadap asam dari sisa makanan.



Air PDAM

Tawas menggumpalkan lumpur halus agar mengendap, lalu klorin membunuh kuman. Itulah sebabnya air ledeng kadang berbau "kolam renang".



Baterai HP dan motor listrik

Ion litium bolak-balik di antara dua elektrode saat diisi dan dipakai. Bahan elektrodanya bisa memakai nikel dari Sulawesi.



Roti dan kue mengembang

Ragi dan soda kue menghasilkan gas karbon dioksida. Gelembung gas inilah yang membuat adonan mengembang dan berpori.

Cek Cepat

Manakah yang merupakan perubahan kimia?

Es batu mencair

Gula larut dalam teh

Kayu bakar menjadi abu dan asap

Air menguap dari jemuran

Laras menguji pengaruh pengadukan terhadap kecepatan gula larut. Apa yang harus sama di kedua gelas?

Hanya suhu airnya

Suhu air, volume air, jenis dan massa gula

Tidak ada, asal pengukurannya cepat

Cara mengaduknya

Piktogram GHS bergambar nyala api di atas lingkaran berarti ...

mudah menyala

eksplosif

korosif

oksidator yang dapat memperhebat kebakaran

Kunci Cek Cepat: 1. C • 2. B • 3. D

Tantangan Rumah: balapan gula panas vs dingin

Bahan: dua gelas bening yang sama, gula pasir, sendok teh, gelas takar, air dingin dari kulkas, air hangat dari termos atau dispenser (bukan air mendidih), termometer dapur bila ada, dan stopwatch HP.

1. Tulis hipotesismu: gelas mana yang gulanya lebih cepat larut, dan mengapa?
2. Minta orang dewasa menuang 100 mL air dingin ke gelas A dan 100 mL air hangat ke gelas B. Ukur suhunya bila ada termometer.
3. Masukkan satu sendok teh peres gula pasir ke setiap gelas pada saat yang sama, lalu aduk keduanya dengan cara sama (1 putaran per detik).
4. Catat waktu sampai tidak ada butir gula yang terlihat. Ulangi 3 kali dengan air baru dan hitung rata-ratanya.
5. Ulangi, tetapi kali ini ubah variabel lain (misalnya diaduk vs tidak diaduk) dan jaga suhunya sama.

Keselamatan: air hangat cukup ± 50 °C dan dituang oleh orang dewasa; letakkan gelas di permukaan datar yang stabil; lap tumpahan segera; jangan mencicipi selama percobaan.

Pertanyaan: Apa variabel bebas, terikat, dan kontrol di percobaanmu? Apakah hipotesismu terbukti? Jelaskan hasilnya dengan gerak partikel air.

RINGKASAN KILAT Bab 1 dalam 3 menit

Kamu sekarang bisa...

- menjelaskan **kimia** sebagai ilmu tentang materi dan perubahannya, lalu menemukan contohnya di dapur dan tubuhmu
- membedakan **perubahan fisika** dan **perubahan kimia** pada tingkat makroskopik, partikel, dan simbol
- menyebutkan **cabang-cabang kimia** dan profesi yang memakainya di Indonesia
- merancang **percobaan yang adil** dengan metode ilmiah: hipotesis, variabel bebas, terikat, dan kontrol
- mengenal **alat laboratorium**, aturan keselamatan, dan **sembilan pictogram bahaya GHS**, serta menghitung massa jenis dan persentase massa

Istilah kunci

materi

Kimia

Materi

Perubahan fisika

Perubahan kimia

metode ilmiah

Variabel bebas

Variabel terikat

Variabel kontrol

kelarutan

meniskus

massa jenis

persentase massa

GHS

kimia hijau

Rumus penting

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Massa jenis: tenggelam atau mengapung?

Massa jenis adalah seberapa banyak massa yang dijejalkan ke dalam setiap sentimeter kubik.

$$\% \text{ gula} = \frac{m_{\text{gula}}}{m_{\text{gula}} + m_{\text{air}}} \times 100\%$$

Persentase massa: seberapa manis es tehmu?

Bagian massa gula dari seluruh massa minuman, dinyatakan per seratus.

⚠ Jangan sampai terjebak

- Tanda-tanda reaksi hanyalah petunjuk, bukan bukti.
- Cepat larut tidak sama dengan banyak larut.
- Keselamatan dulu, percobaan kemudian: tidak ada hasil percobaan yang lebih berharga daripada mata dan kulitmu.

 **Tangga Latihan:** 24 soal bab ini (Lv 1 Pemula sampai Lv 6 Olimpiade) ada di PDF Bank Soal dan di aurumgen.my.id/chemipedia#soal?bab=1

Teka-teki untuk Bab 2

Es batu, air, dan uap: satu zat, tiga wajah. Molekulnya sama-sama H_2O . Tetapi mengapa uap air bersuhu 100°C jauh lebih "galak" membakar kulit daripada air mendidih yang suhunya juga 100°C ?

▼ Intip petunjuk

Saat uap menyentuh kulit, ia mengembun menjadi air dan melepaskan kalor penguapan yang besar, sekitar 2.260 joule untuk setiap gram, baru kemudian mendingin seperti air panas biasa. Totalnya hampir sepuluh kali kalor dari air mendidih bermassa sama. Di Bab 2 kamu akan menghitungnya dengan $Q = mL$.

02 Materi, Wujud & Perubahannya: Pesta Dansa Partikel

Es di gelas es tehmu mencair, kapur barus di lemari menghilang tanpa jejak, dan aroma rendang Ibu sampai ke kamarmu. Semua itu ulah partikel-partikel super mungil yang tidak pernah diam. Yuk, intip pesta dansa mereka!

Setelah bab ini, kamu bisa

- menjelaskan wujud **padat, cair, dan gas** dengan teori partikel: susunan, jarak, dan gerak partikelnya;
- menamai enam **perubahan wujud**, membaca **kurva pemanasan**, dan menghitung kalor dengan $Q = mc\Delta T$ dan $Q = mL$;
- menjelaskan **difusi** dan **gerak Brown** sebagai bukti bahwa partikel selalu bergerak;
- menggolongkan materi menjadi **unsur, senyawa, campuran homogen, dan campuran heterogen**;
- membedakan **perubahan fisika** dan **perubahan kimia** dari tanda-tandanya, lalu (Lanjut) membaca **diagram fasa**.

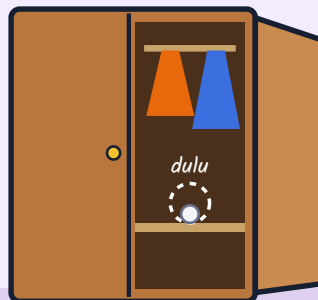
MISTERI KAPUR BARUS YANG MENYUSUT

KOMIK • 4 PANEL

Sabtu sore, di kamar Laras

LARAS

Lho? Kapur barus di lemariiku tinggal sebesar kacang. Bulan lalu masih sebesar kelereng, tapi tidak ada bekas basahinya sama sekali!

**BIMA**

Pasti dimakan tikus! Atau digotong semut ramai-ramai!

LARAS

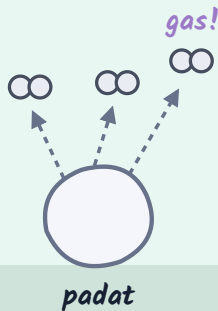
Tikus malah kabur mencium baunya, Bim. Semut juga tidak doyan.



KAK TIRTA

Bukan tikus, Bim. Kapur barusnya
menyublim: partikelnya lepas langsung dari padat menjadi gas, tanpa mencair dulu!

WUSS!



Kimo nongol dari balik lemari...

KIMO

Hidungmu buktinya! Bau kapur barus adalah partikel gas naftalena yang menyebar sampai ke hidungmu.

BIMA

Jadi bau itu... partikel yang kabur pelan-pelan?



Tebak Dulu!

Saat air di panci mendidih, gelembung-gelembung besar muncul dari dasar panci. Gelembung itu berisi apa?

Udara yang tadinya larut di dalam air.

Gas oksigen dan hidrogen hasil penguraian air oleh panas.

Uap air, yaitu air yang sudah berubah menjadi gas.

Ruang hampa tanpa isi apa pun.

Jawabannya: uap air. Gelembung kecil yang muncul saat air baru hangat memang udara terlarut yang keluar. Namun gelembung besar saat mendidih berisi molekul H_2O yang sudah menjadi gas. Molekulnya tetap H_2O dan tidak terurai, sebab memecah air menjadi hidrogen dan oksigen butuh listrik (elektrolisis) atau suhu ribuan derajat. Mendidih adalah perubahan fisika!

2.1 Materi tersusun atas partikel yang tak pernah diam

Lihat sekelilingmu: sepiring nasi, segelas es teh, udara yang kamu hirup, bahkan tubuhmu sendiri. Semuanya adalah **materi**, yaitu segala sesuatu yang mempunyai massa dan menempati ruang. Udara juga materi: balon mengembang karena terisi udara, dan balon yang ditiup sedikit lebih berat daripada balon kempis.

Bagaimana dengan cahaya, bunyi, panas, dan rasa senang? Semuanya **bukan** materi karena tidak bermassa dan tidak menempati ruang. Cahaya dan kalor adalah bentuk **energi**.

Bahasa sederhana • Bayangkan kamu bisa mengecilkan diri sampai sejuta kali lebih kecil daripada seekor semut. Kamu akan melihat bahwa air, garam, dan udara tersusun atas butiran super mungil yang terus bergoyang dan berlarian. Butiran itu disebut **partikel**. Partikel air di es batu, air minum, dan uap air sama persis. Yang berbeda hanya cara mereka berbaris dan bergerak.



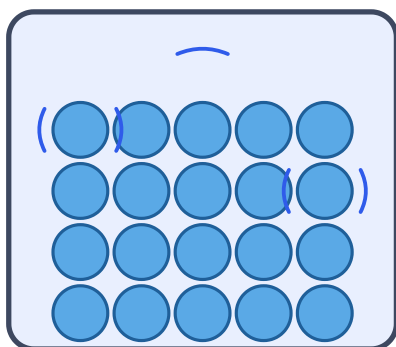
DEFINISI • MATERI

Materi adalah segala sesuatu yang mempunyai massa dan menempati ruang. Materi tersusun atas partikel yang sangat kecil, yaitu atom, molekul, atau ion. Materi dapat berwujud **padat**, **cair**, atau **gas**.



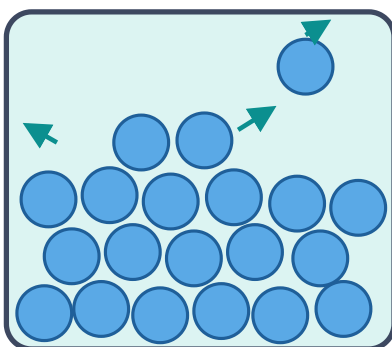
TEORI PARTIKEL MATERI (TEORI KINETIK)

1. Semua materi tersusun atas partikel yang sangat kecil.
2. Partikel selalu bergerak: bergetar, meluncur, atau melesat.
3. Makin tinggi suhu, makin cepat gerak rata-rata partikel (energi kinetiknya makin besar).
4. Di antara partikel ada ruang kosong. Partikel yang berdekatan saling tarik-menarik.



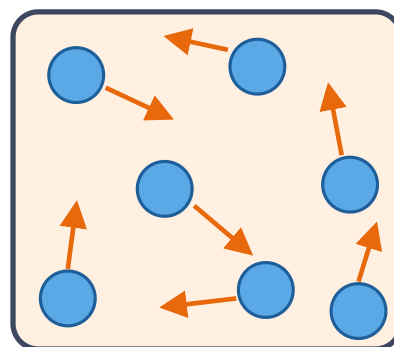
PADAT

rapat • teratur • bergetar



CAIR

rapat • acak • meluncur



GAS

berjauhan • melesat bebas

Partikel yang sama dalam tiga wujud. Pada gas, partikelnya rata-rata ± 10 kali lebih berjauhan daripada pada cairan, jadi kotak gas ini sebenarnya hanya memperlihatkan sebagian kecil saja.

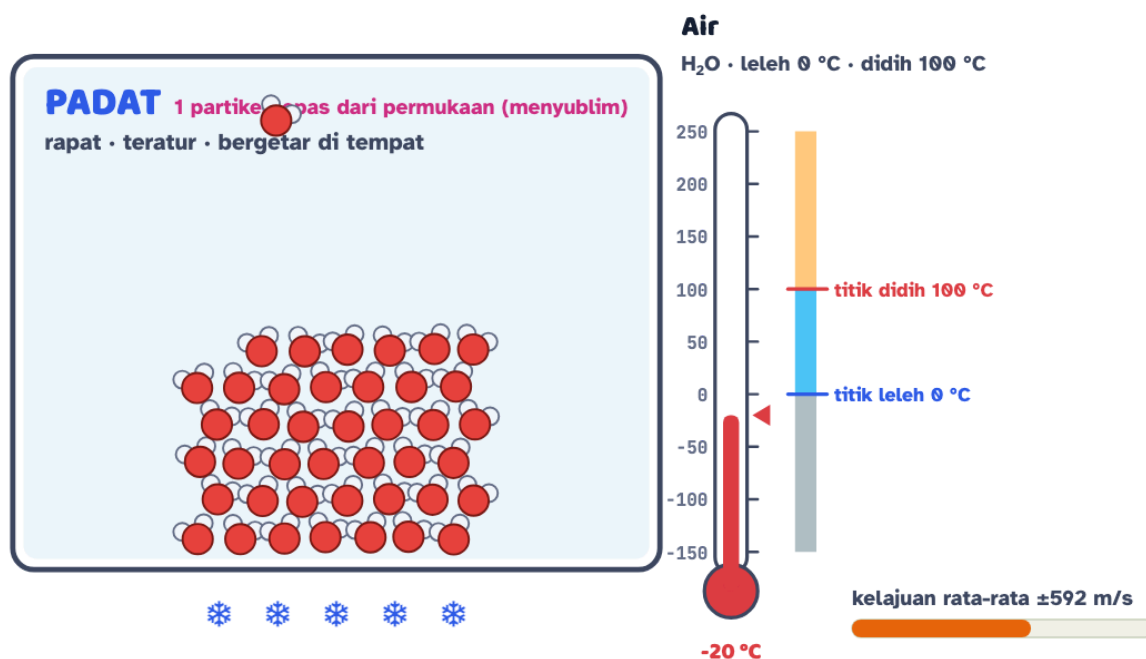
Kak Tirta suka membandingkannya dengan **upacara bendera hari Senin**. Saat upacara, siswa berbaris rapi dan hanya bergoyang di tempat: itulah **padat**. Saat bubar, siswa berjalan berdesakan menuju kelas, tetap berdekatan tetapi bisa berpindah tempat: itulah **cair**. Saat jam istirahat, siswa berlarian ke seluruh halaman: itulah **gas**.

Ciri	Padat	Cair	Gas
Susunan partikel	teratur, rapat	tidak teratur, rapat	acak, sangat berjauhan

Gerak partikel	bergetar di tempat	meluncur, berpindah tempat	melesat cepat ke segala arah
Gaya tarik antarpartikel	sangat kuat	kuat	sangat lemah
Bentuk	tetap	mengikuti wadah	memenuhi seluruh wadah
Volume	tetap	tetap	mengikuti wadah
Dapat dimampatkan?	hampir tidak	hampir tidak	mudah (gas dalam tabung LPG)
Contoh	es batu, garam, timah Bangka	air kelapa, minyak goreng, kecap	udara, uap air, isi balon

LAB MINI Kotak Partikel: geser suhunya!

LAB MINI INTERAKTIF • COBA SENDIRI DI AURUMGEN.MY.ID/CHEMIPEDIA#BAB-2



Wujud
padat

Suhu mutlak
253 K

Kelajuan rata-rata partikel
592 m/s

Partikel berwujud gas
1

Pilih zat, lalu geser suhu perlahan dari dingin ke panas. Kapan partikel mulai meluncur? Kapan mereka melesat? Nyalakan **gaya tarik** untuk melihat partikel yang saling berpegangan. Coba juga es kering: adakah wujud cairnya pada tekanan udara biasa? (Jumlah partikel uap di bawah titik didih hanyalah ilustrasi.)

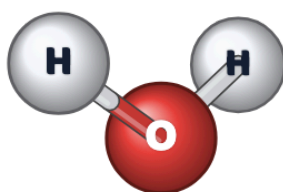


AWAS JEBAKAN

Sifat zat bukan sifat satu partikelnya. Saat rel kereta memuai karena panas, atom besinya tidak membesar; yang bertambah adalah jarak antaratom. Partikel es juga tidak "dingin" atau "keras". Partikel air yang sama hanya bergerak lebih lambat dan tersusun teratur.

MOLEKUL 3D

Kenalan dengan partikel-partikelnya



Seret untuk memutar · ketuk atom untuk mengukur

Air H_2O

Mr $\approx 18,02$

[PubChem](#) >

Molekul bengkok dengan sudut $\pm 104,5^\circ$. Dua pasang elektron bebas pada O membuatnya polar dan mampu berikatan hidrogen.

Putar molekul air (H_2O), karbon dioksida (CO_2 , es kering), naftalena (C_{10}H_8 , kapur barus), dan etanol. Hitung atom C dan H pada naftalena. Bandingkan ukurannya: menurutmu, molekul mana yang bergerak paling lambat pada suhu yang sama?

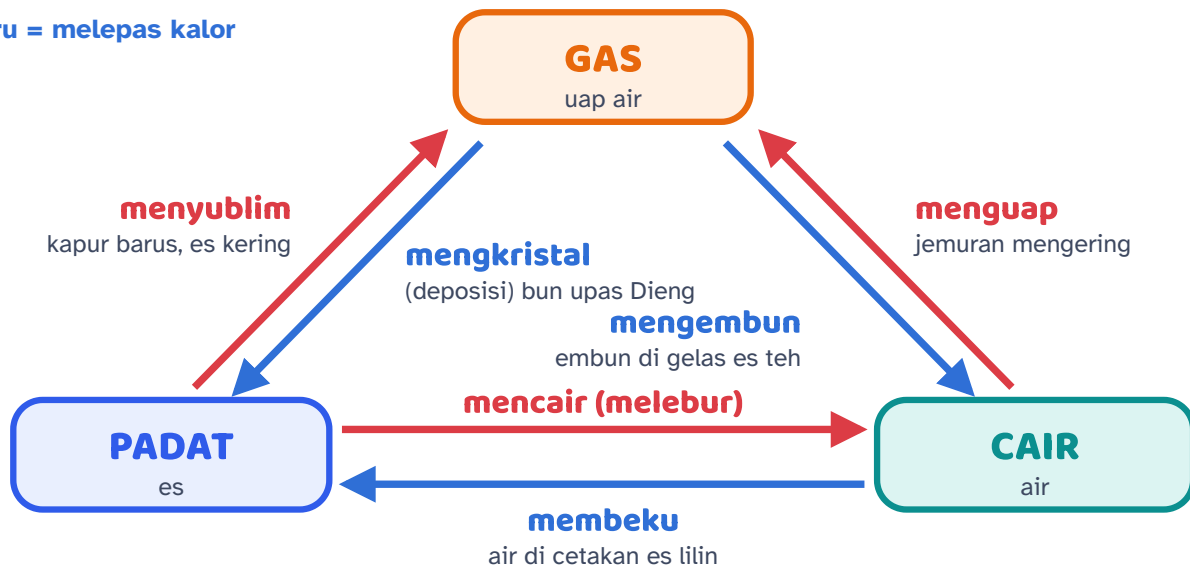
2.2

Perubahan wujud dan kurva pemanasan

Satu zat bisa tampil dengan tiga wajah. Air muncul sebagai es (padat), air (cair), dan uap air (gas). Perubahan dari satu wujud ke wujud lain disebut **perubahan wujud**. Perubahan ini terjadi bila zat **menyerap** atau **melepas** kalor. Zatnya tetap sama: es, air, dan uap sama-sama tersusun atas molekul H_2O .

merah = menyerap kalor

biru = melepas kalor



Segitiga perubahan wujud. Setiap perubahan punya pasangan kebalikannya.



TRIK KAK TIRTA

Bayangkan rumah tiga lantai: padat di lantai dasar, cair di lantai satu, gas di lantai paling atas. **Naik** tangga (mencair, menguap, menyublim) butuh tenaga, jadi zat **menyerap** kalor. **Turun** tangga (membeku, mengembun, mengkrystal) melepaskan tenaga, jadi zat **melepas** kalor. Itu sebabnya keringat yang menguap membuat kulitmu sejuk: penguapannya mengambil kalor dari tubuhmu.



KIMIA NUSANTARA • KAPUR DARI BARUS

Nama **kapur barus** berasal dari Barus, kota pelabuhan kuno di pantai barat Sumatra Utara. Selama berabad-abad, pedagang dari India, Arab, dan Tiongkok datang ke sana untuk membeli kristal harum dari pohon kapur (*Dryobalanops aromatica*). Kristal alami itu juga menyublim! Kapur barus di toko sekarang umumnya buatan pabrik, misalnya **naftalena**, $C_{10}H_8$.



KESELAMATAN • KAPUR BARUS

Naftalena berbahaya bila tertelan dan uapnya tidak baik dihirup terus-menerus. Simpan kapur barus di dalam kantong berlubang, jauh dari jangkauan anak kecil, dan jangan pernah dijilat. Label kemasannya biasanya memuat pictogram berikut.



Padatan mudah menyala



Berbahaya bila tertelan



Bahaya kesehatan jangka panjang



Berbahaya bagi biota air



KIMIA NUSANTARA • BUN UPAS DI DIENG

Pada puncak kemarau (sekitar Juli–Agustus), suhu dini hari di Dataran Tinggi Dieng bisa turun di bawah 0°C . Uap air di udara langsung berubah menjadi kristal es di daun dan rumput: **mengkristal** (deposisi). Warga menyebutnya *bun upas*, "embun racun", karena kristal es ini bisa merusak tanaman kentang. Wisatawan justru datang untuk melihat rumput yang tampak bersalju.

Suhu yang "macet" saat berubah wujud



Tebak Dulu!

Semangkuk es batu bersuhu 0°C dipanaskan di atas kompor dengan api kecil yang tetap. Selama es masih mencair (masih ada es dan air), bagaimana suhunya?

Naik sedikit demi sedikit karena api terus memberi panas.

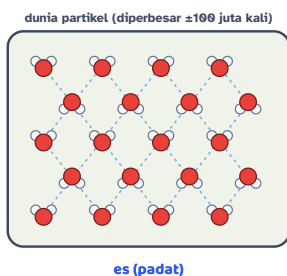
Tetap 0°C sampai semua es mencair.

Turun, karena es menyerap panas.

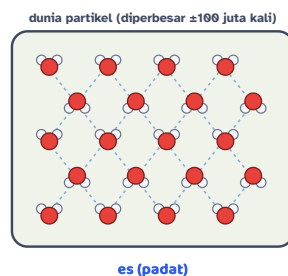
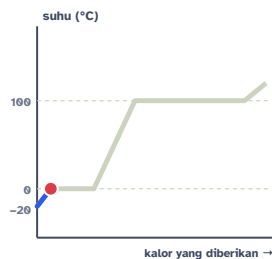
Langsung melompat ke 100°C .

Jawabannya: tetap 0°C . Kalor dari api tidak hilang. Kalor itu dipakai untuk memutus tarikan antarmolekul air di dalam kisi es, bukan untuk mempercepat gerak molekul. Setelah es habis, barulah suhunya naik lagi. Asal es terus diaduk supaya suhunya merata, ya!

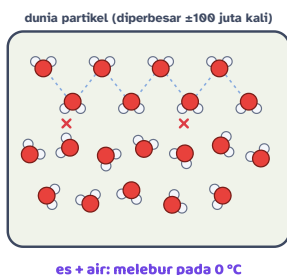
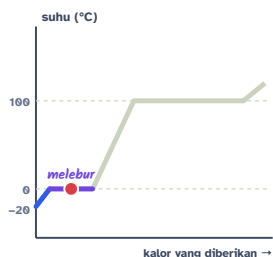
Suhu ketika padatan mencair disebut **titik leleh**; untuk zat murni nilainya sama dengan **titik beku**. Suhu ketika cairan mendidih disebut **titik didih**. Pada tekanan 1 atm, titik leleh es 0°C dan titik didih air 100°C . Ikuti apa yang terjadi pada partikel air ketika sebangkah es dipanaskan terus-menerus:



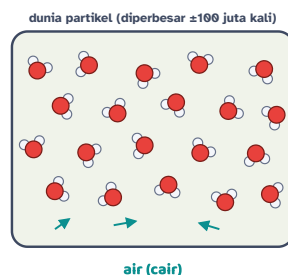
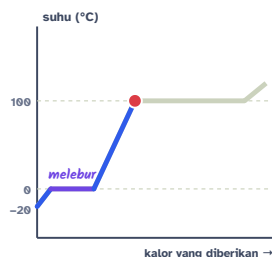
Langkah 1. Es pada -20°C . Molekul H_2O tersusun teratur dalam kisi yang longgar (garis putus-putus = tarikan antarmolekul) dan hanya **bergetar** di tempat.



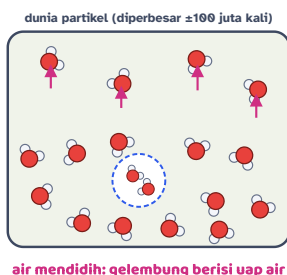
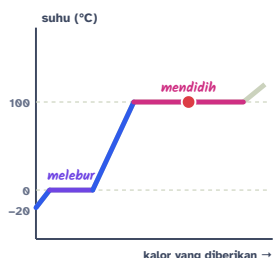
Langkah 2. Es dipanaskan. Getarannya makin kuat, energi kinetik molekul naik, dan **suhu naik** sampai 0°C .



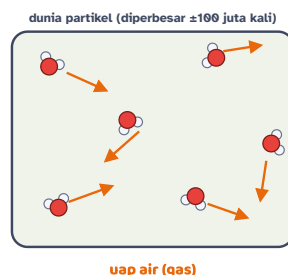
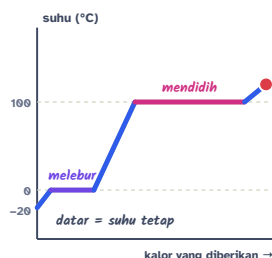
Langkah 3. Pada 0°C es **melebur**. Kalar dipakai memutus sebagian tarikan sehingga kisi runtuh. Suhu **tetap** 0°C sampai semua es mencair.



Langkah 4. Air dipanaskan dari 0°C ke 100°C . Molekul berdesakan tanpa susunan tetap, saling meluncur, dan bergerak makin cepat: suhu naik lagi.



Langkah 5. Pada 100°C air **mendidih**. Gelembung uap terbentuk di dalam cairan dan molekul lepas sepenuhnya. Dataran ini panjang: butuh kalar $\pm 6,8$ kali kalar lebur!

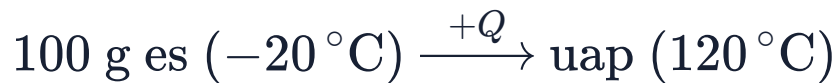


Langkah 6. Uap air di atas 100°C : molekul berjauhan dan melesat bebas. Ringkasnya, bagian **naik** mempercepat gerak partikel (suhu naik), bagian **datar** menjauhkan partikel (wujud berubah).

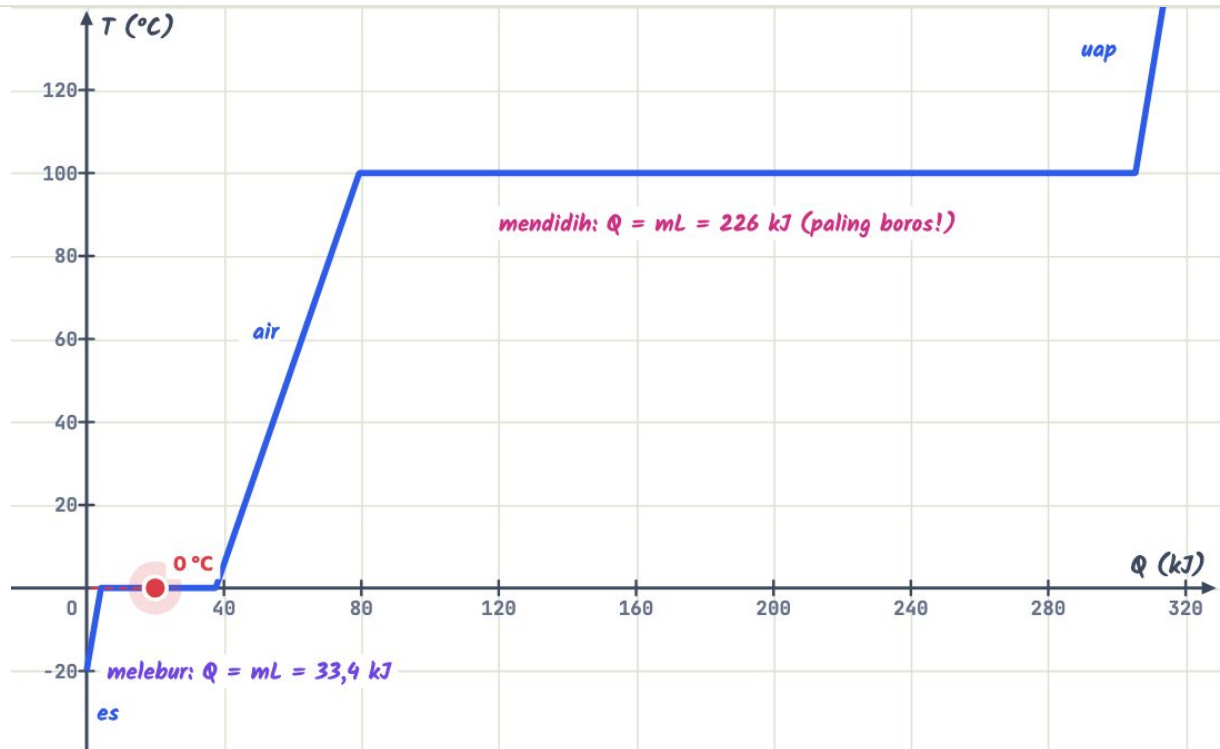


ATURAN • SUHU TETAP SAAT ZAT MURNI BERUBAH WUJUD

Selama zat murni berubah wujud pada tekanan tetap, suhunya **tidak berubah**. Kalar yang diserap atau dilepas pada saat itu disebut **kalar laten**: **kalar lebur** untuk mencair dan **kalar uap** untuk menguap. Kalar itu dipakai untuk mengubah jarak dan susunan partikel, bukan untuk mempercepat geraknya.



$$Q = 20\text{ kJ} \Rightarrow T = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$$



🧊 → 💧 Suhu tetap $0\text{ }^{\circ}\text{C}$: kalor dipakai meruntuhkan kisi es

suhu
 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$

wujud
es + air: melebur

kalor untuk berubah wujud
15,8 kJ

Tekan ► atau seret titik merah. Kurvanya punya dua dataran. Bandingkan panjang dataran mendidih dengan panjang bagian "air dipanaskan dari 0 ke $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ". Mana yang menelan kalor lebih banyak?

Ada dua jenis hitungan kalor. Pada bagian yang **naik**, suhu berubah dan kalornya bergantung pada **kalor jenis** (c), yaitu kalor untuk menaikkan suhu 1 g zat sebesar $1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Pada bagian yang **datar**, suhu tetap dan kalornya bergantung pada kalor laten (L).

$$Q = m \times c \times \Delta T$$

Kalor = massa × kalor jenis × kenaikan suhu. Zat dengan kalor jenis besar, seperti air, 'malas' menjadi panas.

m

Massa zat g

c

Kalor jenis J/(g·°C)

 ΔT

Kenaikan suhu °C

Q

Kalor J

KALOR

78.375

J



ini air

Memanaskan **250** g zat sebanyak **75** °C butuh **78.375** J = **78,375** kJ, setara **±18,732** kkal (kalori makanan).

Satuan Nusantara: $\approx 19 \times 1$ kkal (kalori makanan) · $\approx 3\%$ dari sepiring nasi goreng (± 600 kkal) · $\approx 2\%$ dari 1 kWh token listrik

Cek satuan: $\text{g} \times \text{J}/(\text{g} \cdot ^\circ\text{C}) \times ^\circ\text{C} = \text{J}$ ✓

RUMUS HIDUP: GESER NILAINYA DAN KUMPULKAN KARTUNYA DI [AURUMGEN.MY.ID/CHEMIPEDIA#RM-KALOR-PEMANASAN-ZAT](https://aurumgen.my.id/chemipedia#rm-kalor-panasan-zat)

$$Q = m \times L$$

Saat berubah wujud suhunya tetap. Kalor yang dibutuhkan = massa × kalor laten.

m Massa zat g L Kalor laten J/g Q Kalor J

KALOR

33.400

J

es mencair pada 0 °C

100 g zat dengan $L = 334 \text{ J/g}$ menyerap **33.400 J = 33,4 kJ** tanpa naik suhunya sedikit pun!

Satuan Nusantara: $\approx 8 \times 1 \text{ kkal}$ (kalori makanan)

Cek satuan: $\text{g} \times \text{J/g} = \text{J}$ ✓

RUMUS HIDUP: GESER NILAINYA DAN KUMPULKAN KARTUNYA DI AURUMGEN.MY.ID/CHEMIPEDIA#RM-KALOR-LATEN-WUJUD

Zat	Titik leleh (°C)	Titik didih (°C)	Kalor lebur (J/g)	Kalor uap (J/g)
Air, H ₂ O	0	100	334	2.260
Etanol (alkohol)	-114	78	±107	±840
Naftalena (kapur barus)	80	218	±148	±337
Raksa, Hg	-39	357	±11	±295
Besi, Fe	1.538	2.862	±247	±6.090
Karbon dioksida (es kering)	menyublim pada -78,5		kalor sublimasi ±570	

Semua data di atas diukur pada tekanan 1 atm. Untuk setiap zat, kalor uap jauh lebih besar daripada kalor lebur: saat mencair partikel masih berdekatan, tetapi saat menguap partikel harus dipisahkan sepenuhnya.



TAMU DARI MASA LALU

Sekitar tahun 1761, **Joseph Black**, kimiawan Skotlandia, heran: mengapa salju di musim semi tidak langsung mencair semuanya begitu udara menghangat? Ia mengukur dengan cermat dan menemukan bahwa es menyerap banyak kalor tanpa naik suhunya. Ia menamai kalor itu **kalor laten** (bahasa Latin *latens* = tersembunyi). Prinsip pertukaran kalor saat zat panas dan dingin dicampur dikenal di buku sekolah kita sebagai **Asas Black**.

CONTOH Melebur es batu

Berapa kalor yang dibutuhkan untuk meleburkan 50 g es bersuhu 0 °C menjadi air 0 °C? (Kalor lebur es = 334 J/g)

- 1 Suhu tidak berubah (0 °C → 0 °C), jadi yang dipakai adalah rumus kalor laten $Q = mL$.
- 2 $Q = 50 \text{ g} \times 334 \text{ J/g} = 16.700 \text{ J}$.

$Q = 16.700 \text{ J} = 16,7 \text{ kJ}$. Kalor sebanyak itu cukup untuk memanaskan 50 g air dari 0 °C sampai ±80 °C!

KERJAKAN BERSAMA Mengapa uap lebih galak?

Teka-teki Bab 1: mengapa uap air 100 °C lebih parah melukai kulit daripada air mendidih 100 °C? Bandingkan kalor yang diberikan ke kulit oleh 10 g air 100 °C dan oleh 10 g uap 100 °C, bila keduanya akhirnya menjadi air 37 °C. ($c_{\text{air}} = 4,18 \text{ J/(g} \cdot \text{°C)}$; kalor uap = 2.260 J/g)

- 1 Air 100 °C → 37 °C: $Q = mc\Delta T = 10 \times 4,18 \times 63 = 2.633 \text{ J}$.
- 2 Uap mula-mula **mengembun** di kulit dan melepas kalor uap: $Q = mL = 10 \times 2.260 = 22.600 \text{ J}$.
- 3 Air hasil pengembunan lalu turun dari 100 °C ke 37 °C: 2.633 J lagi. Total $22.600 + 2.633 = 25.233 \text{ J}$.

Uap melepaskan ±25,2 kJ, hampir 10 kali lebih banyak daripada air mendidih (2,6 kJ). Karena itu, jauhkan wajah dan tangan dari uap panci dan ketel!

COBA SENDIRI Berapa es untuk segelas es teh?

Kamu menyeduh 200 g teh bersuhu 80 °C dan ingin mendinginkannya menjadi 10 °C hanya dengan es batu bersuhu 0 °C. Berapa gram es yang dibutuhkan? Anggap teh = air ($c = 4,18 \text{ J/(g}\cdot\text{°C)}$), kalor lebur es 334 J/g, dan tidak ada kalor yang hilang ke gelas atau udara.

- 1 Kalor yang dilepas teh (80 → 10 °C): $Q = 200 \times 4,18 \times 70 = 58.520 \text{ J}$.
- 2 Setiap gram es menyerap kalor dua kali: melebur (334 J) lalu air esnya naik dari 0 ke 10 °C ($4,18 \times 10 = 41,8 \text{ J}$). Totalnya 375,8 J per gram.
- 3 Asas Black: kalor dilepas = kalor diserap, jadi $m \times 375,8 = 58.520$.
- 4 $m = 58.520/375,8 = 155,7 \text{ g}$.

Dibutuhkan ±156 g es, kira-kira 11 es batu kecil. Hasil akhirnya ±356 g es teh 10 °C.
Perhatikan: 89% kerja pendinginan dilakukan oleh peleburan es!

ADU CEPAT Kalor berubah wujud ($Q = mL$)

ADU CEPAT • MAINKAN DI AURUMGEN.MY.ID/CHEMIPEDIA#BAB-2

Latihan kilat 60 detik dengan soal acak dan rekor pribadi.

$Q = m \times L$, lalu bagi 1.000 supaya menjadi kJ. $L = 334 \text{ J/g}$ untuk melebur, 2.260 J/g untuk menguap.



AWAS JEBAKAN

Menguap tidak sama dengan mendidih. Menguap terjadi di **permukaan** cairan pada suhu berapa pun, misalnya jemuran yang kering pada 30 °C. Mendidih terjadi di **seluruh bagian** cairan, hanya pada titik didih, dengan gelembung uap yang terbentuk dari dalam.



INFO • TITIK DIDIH BERGANTUNG PADA TEKANAN

Air mendidih ketika tekanan uapnya menyamai tekanan udara di atasnya. Di Dieng (±2.000 m) tekanan udara lebih rendah sehingga air mendidih pada ±93 °C, dan di puncak Semeru (3.676 m) sekitar 88 °C. Sebaliknya, di dalam panci presto tekanannya tinggi sehingga air baru mendidih pada ±120 °C.

MITOS

"Awan putih yang keluar dari mulut ketel adalah uap air."

MITOS

"Gula yang larut dalam teh berarti gula itu mencair."

FAKTA

Uap air tidak berwarna dan tidak terlihat. Awan putih itu titik-titik air hasil

pengembunan

uap yang mendingin. Perhatikan celah bening tepat di mulut ketel: di situlah uap air yang sebenarnya.

FAKTA

Melarut berbeda dengan mencair. Gula baru meleleh pada $\pm 186^\circ\text{C}$ (lalu menjadi karamel). Saat melarut, partikel gula menyebar di antara partikel air pada suhu biasa.

MITOS

"Air yang menguap lenyap, jadi massanya hilang."

FAKTA

Partikel air hanya pindah ke udara sebagai uap. Di dalam wadah tertutup, massanya tetap. Uap itu kelak mengembun menjadi awan dan turun lagi sebagai hujan.

2.3 Difusi dan gerak Brown: bukti partikel tak pernah diam

Ibu memasak rendang di dapur. Beberapa menit kemudian aromanya tercium sampai ruang tamu, padahal tidak ada yang mengipasinya. Partikel aroma dari wajan menyebar dengan sendirinya karena partikel gas selalu bergerak acak dan saling bertumbukan dengan partikel udara.

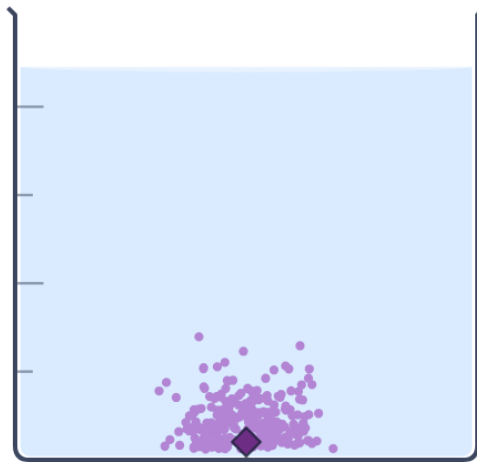


DEFINISI • DIFUSI

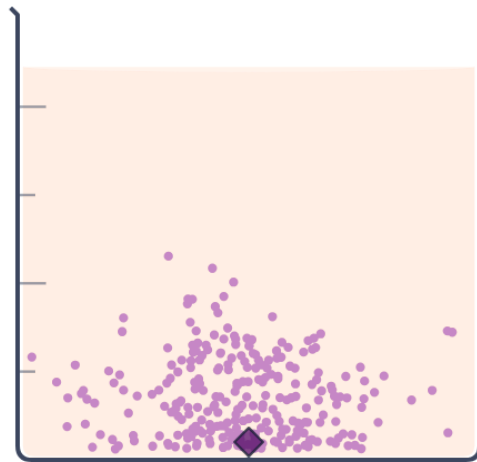
Difusi adalah penyebaran partikel suatu zat dari daerah yang **konsentrasinya tinggi** ke daerah yang **konsentrasinya rendah** akibat gerak acak partikel itu sendiri, tanpa diaduk atau ditiup. Difusi berlangsung terus sampai zat tersebar merata.

Di dalam air, difusi lebih lambat karena partikelnya berdesakan. Di laboratorium, guru sering menjatuhkan sebutir kristal ungu **kalium permanganat**, KMnO_4 , ke dasar segelas air. Tanpa diaduk, warna ungunya perlahan menjalar ke seluruh gelas. Di dalam padatan, difusi sangat lambat sehingga hampir tidak teramati.

Siapa yang lebih dulu ungu merata?



air 10 °C



air 70 °C

Kiri

10 °C • sebaran 0,8 cm

Kanan

70 °C • sebaran 1,7 cm

Laju kanan ÷ laju kiri

3,9 ×

Waktu

1,2 s

Mode pertama: sebutir kristal pewarna di dasar dua gelas air bersuhu berbeda. Gelas mana yang lebih dulu ungu merata? Atur suhunya sama: apakah hasilnya seri? Mode kedua: intip butir serbuk sari di bawah mikroskop dan perhatikan jejak zig-zagnya. Hitungan laju memakai kekentalan air sungguhan.

Laju difusi dipengaruhi oleh:

- **Suhu:** makin panas, partikel makin cepat sehingga difusi makin cepat. Air panas juga lebih encer.
- **Massa partikel:** pada suhu yang sama, partikel yang lebih ringan bergerak lebih cepat.
- **Wujud mediumnya:** difusi di gas paling cepat, di cairan lebih lambat, di padatan sangat lambat.
- **Selisih konsentrasi:** makin besar selisihnya, makin cepat penyebaran awalnya.

Bagaimana kita tahu bahwa partikel air bergerak, padahal molekulnya terlalu kecil untuk dilihat? Amati butir serbuk sari atau partikel debu yang melayang di air dengan mikroskop: butir itu bergoyang zig-zag tanpa henti. Itulah **gerak Brown**. Butir itu ditabrak molekul air dari segala arah, dan tabrakannya tidak pernah seimbang sempurna.



TAMU DARI MASA LALU

Pada 1827, ahli botani Skotlandia **Robert Brown** mengamati partikel-partikel kecil dari serbuk sari yang terus bergoyang di dalam air. Mula-mula ia mengira gerak itu tanda kehidupan, tetapi butir debu mati pun bergoyang dengan cara yang sama! Pada 1905, **Albert Einstein** menjelaskan gerak itu sebagai akibat tabrakan molekul air, dan **Jean Perrin** membuktikannya dengan percobaan teliti. Banyak ilmuwan baru benar-benar yakin bahwa atom dan molekul itu nyata setelah percobaan Perrin.

**HUKUM GRAHAM DAN KELAJUAN MOLEKUL**

Pada suhu yang sama, energi kinetik rata-rata semua partikel gas sama besar: $\bar{E}_k = \frac{3}{2}k_B T$. Karena $\frac{1}{2}mv^2$ sama, partikel yang lebih ringan pasti lebih cepat. Dari sini lahir **hukum Graham**:

$$\frac{\text{laju difusi A}}{\text{laju difusi B}} = \sqrt{\frac{M_{r,B}}{M_{r,A}}}$$

Percobaan klasik: kapas berisi amonia pekat dan kapas berisi asam klorida pekat dipasang di dua ujung tabung kaca panjang. Kedua gas berdifusi, lalu bertemu dan membentuk cincin putih amonium klorida: $\text{NH}_3(\text{g}) + \text{HCl}(\text{g}) \longrightarrow \text{NH}_4\text{Cl}(\text{s})$. Cincin itu muncul **lebih dekat ke ujung HCl**, karena NH_3 (Mr 17) lebih ringan dan lebih cepat daripada HCl (Mr 36,5). Percobaan ini hanya dilakukan guru di lemari asam karena kedua larutannya korosif dan uapnya menyesakkan.

$$v_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$$

Makin panas, makin cepat; makin berat partikelnya, makin lambat.

T Suhu mutlak K

M Massa molar g/mol

v_{rms} Kelajuan rata-rata m/s

KELAJUAN RATA-RATA

515

m/s



molekul N₂ di kamarmu: ±515 m/s



lebih cepat daripada bunyi

Pada **298 K**, partikel bermassa molar **28 g/mol** melaju **±515 m/s** ≈ **1.854,801 km/jam**, yaitu **1,502** kali kecepatan bunyi!

Satuan Nusantara: ≈ 1,5 × bunyi di udara · ≈ 5,3 × kereta cepat Whoosh (350 km/jam) · ≈ 7% dari satelit orbit rendah

Cek satuan: $\sqrt{(\text{J}/(\text{mol} \cdot \text{K}) \times \text{K} \div \text{kg}/\text{mol})} = \sqrt{(\text{m}^2/\text{s}^2)} = \text{m/s}$ ✓ (M diubah ke kg/mol)

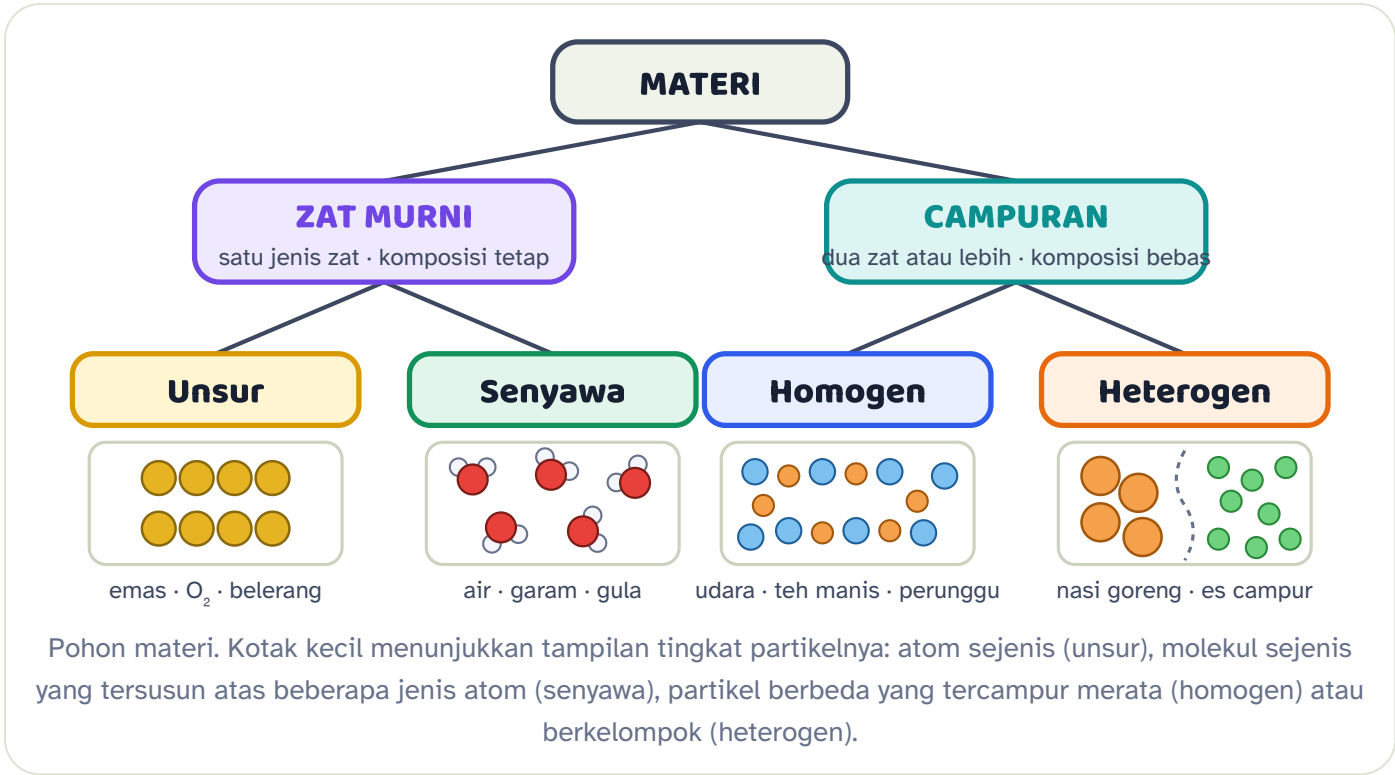
RUMUS HIDUP: GESER NILAINYA DAN KUMPULKAN KARTUNYA DI [AURUMGEN.MY.ID/CHEMIPEDIA#RM-KELAJUAN-PARTIKEL-GAS](https://aurumgen.my.id/chemipedia#RM-KELAJUAN-PARTIKEL-GAS)

Kalau molekul udara melaju lebih cepat daripada bunyi, mengapa bau rendang butuh beberapa menit untuk sampai ke ruang tamu? Karena setiap molekul aroma bertumbukan miliaran kali per detik dengan molekul udara, sehingga jalurnya zig-zag seperti orang yang berjalan di pasar yang sangat ramai.

2.4 Unsur, senyawa, dan campuran

Kalau semua materi tersusun atas partikel, apakah partikelnya selalu sama? Tentu tidak. Berdasarkan jenis partikelnya, materi dibagi menjadi **zat murni** (unsur dan senyawa) dan **campuran**.

Bahasa sederhana • Bayangkan tiga kotak manik-manik. Kotak pertama berisi manik merah saja: seperti **unsur**. Kotak kedua berisi gantungan kunci yang semuanya dirangkai dari dua manik merah dan satu manik biru: seperti **senyawa**. Kotak ketiga berisi manik merah, manik biru, dan gantungan kunci yang campur aduk: seperti **campuran**.



DEFINISI · UNSUR, SENYAWA, CAMPURAN

Unsur adalah zat tunggal yang tidak dapat diuraikan lagi menjadi zat lain yang lebih sederhana dengan reaksi kimia biasa. Unsur tersusun atas satu jenis atom saja, misalnya emas (**Au**), besi (**Fe**), oksigen (O_2), dan belerang (**S**). Sampai sekarang dikenal 118 unsur.

Senyawa adalah zat tunggal yang tersusun atas dua jenis atom atau lebih yang **terikat secara kimia** dengan perbandingan tetap, misalnya air (H_2O), garam dapur ($NaCl$), dan gula pasir ($C_{12}H_{22}O_{11}$).

Campuran adalah gabungan dua zat atau lebih yang **tidak terikat secara kimia**, sehingga perbandingannya bebas dan setiap komponen masih membawa sifatnya sendiri. Campuran **homogen** (larutan) tampak seragam di setiap bagian; campuran **heterogen** bagian-bagiannya masih bisa dibedakan.

Ciri	Unsur	Senyawa	Campuran
Tersusun atas	satu jenis atom	dua jenis atom atau lebih yang terikat	dua zat atau lebih yang tidak terikat
Komposisi	tetap	tetap (perbandingan massanya tetap)	bebas
Sifat	sifat unsur itu sendiri	berbeda total dari unsur-unsur penyusunnya	masih menunjukkan sifat komponennya

Cara memisahkan	tidak dapat diuraikan lagi	hanya dengan reaksi kimia	cara fisika: menyaring, menguapkan, menyuling, memakai magnet
Ditulis dengan	lambang: Fe, Au, O ₂ , S ₈	rumus kimia: H ₂ O, NaCl, CO ₂	tidak punya satu rumus

Contoh paling dramatis perbedaan sifat senyawa dan unsurnya: natrium (**Na**) adalah logam lunak yang bereaksi hebat bila terkena air, dan klorin (**Cl**) adalah gas kuning kehijauan yang beracun. Namun keduanya bergabung membentuk garam dapur, $2\text{Na} + \text{Cl}_2 \longrightarrow 2\text{NaCl}$, yang kita taburkan di atas nasi setiap hari.

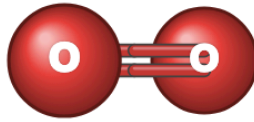
CONTOH Detektif materi di dapur

Golongkan zat-zat berikut: (a) kawat tembaga, (b) gula pasir, (c) kopi tubruk, (d) cuka dapur.

- 1 Kawat tembaga hanya berisi atom **Cu**: **unsur**.
- 2 Gula pasir berisi satu jenis molekul, C₁₂H₂₂O₁₁, dari tiga unsur: **senyawa**.
- 3 Kopi tubruk: ampas kopi tampak melayang lalu mengendap, tidak merata: **campuran heterogen**.
- 4 Cuka dapur: asam asetat larut merata di dalam air dan tampak seragam: **campuran homogen** (larutan).

Unsur, senyawa, campuran heterogen, campuran homogen. Kuncinya: tanyakan jenis partikelnya, bukan hanya penampilannya.

MOLEKUL 3D Unsur atau senyawa? Intip partikelnya



Seret untuk memutar · ketuk atom untuk mengukur

Oksigen O_2

Mr ≈ 32

[PubChem](#)

Molekul diatomik dengan ikatan rangkap dua. Uniknya, O_2 bersifat paramagnetik (tertarik magnet).

Oksigen (O_2) dan ozon (O_3) sama-sama unsur oksigen. Intan dan grafit sama-sama karbon murni, hanya susunannya berbeda. Bandingkan dengan air, garam dapur, dan gula: berapa jenis atom yang kamu temukan di masing-masing?

kartu 1/16



Sambal ulek

seret aku ke kotak di bawah ↓

tingkat partikel



Unsur

Senyawa

Campuran homogen

Campuran heterogen

Seret kartu ke kotak yang tepat, atau ketuk kotaknya. Nyalakan  Intip partikel bila butuh bantuan.

Benar pada percobaan pertama

0

Kartu tersisa

16

Seret setiap kartu ke kotak yang tepat, atau ketuk kotaknya. Bingung? Nyalakan  Intip partikel untuk melihat isi kartu di tingkat partikel. Skor dihitung dari jawaban yang benar pada percobaan pertama.

**TRIK KAK TIRTA**

Hitung huruf kapital yang **berbeda** dalam rumusnya. Satu jenis huruf kapital (Fe, O₂, S₈) berarti **unsur**. Dua jenis atau lebih (H₂O, NaCl, C₁₂H₂₂O₁₁) berarti **senyawa**. Kalau zat itu tidak bisa ditulis dengan satu rumus saja (udara, sambal, bensin), itu **campuran**.

**AWAS JEBAKAN**

Molekul tidak selalu senyawa. O₂, N₂, dan S₈ adalah molekul, tetapi tetap unsur karena atomnya sejenis. Sebaliknya, "air mineral" bukan zat murni: ia campuran homogen air dengan sedikit mineral terlarut. Yang termasuk senyawa murni adalah air suling (akuades).

Unsur mana yang berwujud cair pada suhu kamar? Hanya dua: raksa (**Hg**) dan bromin (**Br**). Namun pada hari yang panas di Jakarta, galium (**Ga**, titik leleh 29,8 °C) dan sesium (**Cs**, 28,5 °C) pun ikut mencair. Galium bahkan bisa meleleh di genggaman tangan!

Wujud pada suhu tertentu ▼

 **Suhu:** 300 K (27 °C)

1 H gas																	5 B padat	6 C padat	7 N gas	8 O gas	9 F gas													
3 Li padat	4 Be padat																	13 Al padat	14 Si padat	15 P padat	16 S padat	17 Cl gas												
11 Na padat	12 Mg padat																	19 K padat	20 Ca padat	21 Sc padat	22 Ti padat	23 V padat	24 Cr padat	25 Mn padat	26 Fe padat	27 Co padat	28 Ni padat	29 Cu padat	30 Zn padat	31 Ga padat	32 Ge padat	33 As padat	34 Se padat	35 Br cair
37 Rb padat	38 Sr padat	39 Y padat	40 Zr padat	41 Nb padat	42 Mo padat	43 Tc padat	44 Ru padat	45 Rh padat	46 Pd padat	47 Ag padat	48 Cd padat	49 In padat	50 Sn padat	51 Sb padat	52 Te padat	53 I padat																		
55 Cs padat	56 Ba padat	71 Lu padat	72 Hf padat	73 Ta padat	74 W padat	75 Re padat	76 Os padat	77 Ir padat	78 Pt padat	79 Au padat	80 Hg cair	81 Tl padat	82 Pb padat	83 Bi padat	84 Po padat	85 At padat																		
87 Fr cair	88 Ra padat	103 Lr padat	104 Rf ?	105 Db ?	106 Sg ?	107 Bh ?	108 Hs ?	109 Mt ?	110 Ds ?	111 Rg ?	112 Cn ?	113 Nh ?	114 Fl ?	115 Mc ?	116 Lv ?	117 Ts ?																		
			57 La padat	58 Ce padat	59 Pr padat	60 Nd padat	61 Pm padat	62 Sm padat	63 Eu padat	64 Gd padat	65 Tb padat	66 Dy padat	67 Ho padat	68 Er padat	69 Tm padat	70 Yb padat																		
			89 Ac padat	90 Th padat	91 Pa padat	92 U padat	93 Np padat	94 Pu padat	95 Am padat	96 Cm padat	97 Bk padat	98 Cf padat	99 Es padat	100 Fm padat	101 Md padat	102 No padat																		

☐ padat ☒ cair ☐ gas ☐ data tidak ada

Geser suhu ke 310 K (37 °C, suhu tubuhmu): unsur mana yang berubah menjadi cair? Turunkan ke 200 K: gas apa saja yang masih bertahan? Naikkan sampai 6.000 K (setara permukaan Matahari): adakah unsur yang masih padat?



KIMIA NUSANTARA • UNSUR BEBAS DAN BIJIH

Indonesia kaya bahan tambang, tetapi unsur jarang ditemukan dalam keadaan bebas. Belerang di Kawah Ijen dan butiran emas termasuk sedikit unsur yang dapat ditemukan murni di alam. Timah Bangka ditambang sebagai senyawa kasiterit, SnO_2 ; aluminium berasal dari bauksit Kalimantan Barat yang berisi Al_2O_3 ; nikel Sulawesi berasal dari bijih laterit. Pabrik pengolahan (smelter) bertugas mengubah senyawa-senyawa itu menjadi logam murni, **Sn**, **Al**, dan **Ni**.

2.5 Perubahan fisika dan perubahan kimia

Setiap zat punya **sifat fisika**, yaitu sifat yang bisa diamati tanpa mengubah zatnya: warna, bau, wujud, titik leleh, titik didih, massa jenis, kelarutan, dan daya hantar listrik. Zat juga punya **sifat kimia**, yaitu kemampuannya berubah menjadi zat lain: mudah terbakar, mudah berkarat, bereaksi dengan asam, atau mudah membusuk.



DEFINISI · PERUBAHAN FISIKA DAN PERUBAHAN KIMIA

Perubahan fisika adalah perubahan yang **tidak menghasilkan zat baru**: hanya wujud, bentuk, ukuran, atau sebaran partikelnya yang berubah. Contohnya es mencair, gula larut, dan kayu dipotong. **Perubahan kimia** (reaksi kimia) adalah perubahan yang **menghasilkan zat baru** dengan sifat berbeda, karena atom-atom berganti pasangan. Contohnya kayu terbakar, besi berkarat, dan singkong menjadi tapai.



Tebak Dulu!

Sebatang lilin menyala di atas meja. Perubahan apa yang sedang terjadi?

Hanya perubahan fisika, karena lilinnya cuma meleleh.

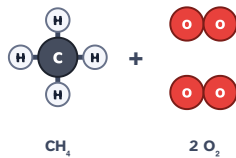
Hanya perubahan kimia, karena lilinnya terbakar.

Keduanya: lilin meleleh (fisika) dan uap lilin terbakar (kimia).

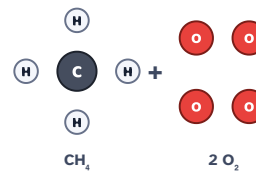
Tidak ada perubahan, karena lilin tetaplah lilin.

Jawabannya: keduanya. Panas nyala melelehkan lilin (fisika). Cairan lilin naik melalui sumbu dan menguap (fisika), lalu uapnya bereaksi dengan oksigen menghasilkan karbon dioksida, uap air, kalor, dan cahaya (kimia). Itulah sebabnya lilin makin pendek: sebagian besar lilin "pindah" ke udara sebagai gas.

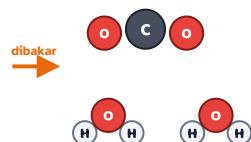
Apa bedanya di tingkat partikel? Saat air mendidih, molekul H_2O tetap utuh; hanya jaraknya yang berubah. Saat gas metana terbakar di kompor biogas, molekul-molekulnya dibongkar lalu dirakit menjadi molekul baru:



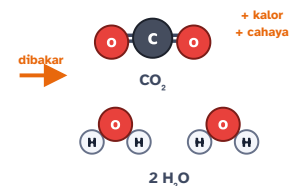
Langkah 1. Sebelum: satu molekul metana, CH_4 (isi gas biogas dan gas alam), dan dua molekul oksigen, O_2 .



Langkah 2. Saat dinyalakan, ikatan-ikatan lama **putus**. Atom-atomnya sendiri tidak rusak dan tidak hilang.

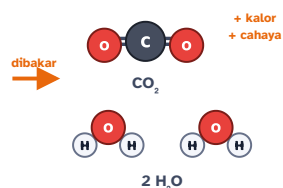


Langkah 3. Atom-atom **berganti pasangan**: atom C bergandengan dengan dua atom O, sedangkan setiap atom O lainnya menggandeng dua atom H.



Langkah 4. Ikatan baru terbentuk. Lahirlah zat baru, CO_2 dan H_2O , sambil melepaskan kalor dan cahaya. Inilah **perubahan kimia**: $\text{CH}_4 + 2 \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O}$.

Hitung atom: C 1 → 1 · H 4 → 4 · O 4 → 4 ✓ massa tetap



Langkah 5. Hitung atomnya: C 1 = 1, H 4 = 4, O 4 = 4. Jenis dan jumlah atom tetap, jadi massa total tetap. Inilah **hukum kekekalan massa**.

Kita tidak bisa melihat atom berganti pasangan. Untungnya, perubahan kimia biasanya meninggalkan **tanda-tanda** yang bisa diamati:

Tanda	Contoh di sekitarmu	Yang terjadi
 Terbentuk gas	cuka dicampur soda kue berbuih	$\text{NaHCO}_3 + \text{CH}_3\text{COOH} \rightarrow \text{CH}_3\text{COONa} + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \uparrow$
 Terbentuk endapan	napas ditiupkan ke air kapur menjadi keruh	$\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 \downarrow + \text{H}_2\text{O}$

 Perubahan warna	irisan apel atau terung menjadi cokelat; paku berkarat	zat dalam buah bereaksi dengan oksigen udara; besi menjadi karat
 Perubahan suhu	kapur tohor (gamping) disiram air menjadi panas	$\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{Ca(OH)}_2$ melepas kalor
 Cahaya dan nyala	gas LPG terbakar di kompor	$\text{C}_3\text{H}_8 + 5 \text{O}_2 \longrightarrow 3 \text{CO}_2 + 4 \text{H}_2\text{O}$
 Bau baru	singkong menjadi tapai; nasi menjadi basi	ragi mengubah gula: $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 \longrightarrow 2 \text{C}_2\text{H}_5\text{OH} + 2 \text{CO}_2$



AWAS JEBAKAN

Tanda-tanda itu petunjuk, bukan bukti mutlak. Air mendidih juga bergelembung, dan sirup yang diencerkan juga berubah warna, padahal keduanya perubahan fisika. Bukti yang pasti hanya satu: **terbentuk zat baru** dengan sifat yang berbeda.



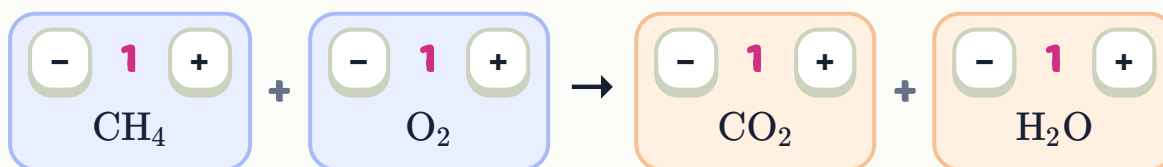
TAMU DARI MASA LALU

Pada abad ke-18, kimiawan Prancis **Antoine Lavoisier** menimbang zat sebelum dan sesudah bereaksi di dalam wadah tertutup. Hasilnya selalu sama: massa total tidak berubah. Ia merumuskan **hukum kekekalan massa** dan pada 1789 menyusun salah satu daftar unsur modern pertama. Uniknya, daftar itu masih memasukkan cahaya dan "kalorik" (zat panas) sebagai unsur. Kini kita tahu keduanya energi, bukan materi.

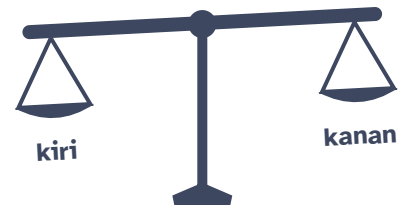


PENYETARA REAKSI

Atom tidak hilang, hanya berganti pasangan



Unsur	Kiri	Kanan	
C	1 ●	1 ●	✓
H	4 ○○○○	2 ○○	✗
O	2 ●●	3 ●●●	✗



Ubah koefisien sampai jumlah setiap atom di kiri = di kanan. Ingat: yang boleh diubah hanya koefisien, bukan indeks!

Petunjuk

Ulang

Persamaan berikutnya ▶

Persamaan 1 dari 4 null

Tekan – dan + untuk mengubah jumlah setiap molekul sampai jumlah atom di kiri dan kanan sama (timbangan seimbang). Reaksinya: biogas terbakar, LPG terbakar, fermentasi tape, dan besi berkarat. Cara resmi menyetarakan reaksi akan kamu pelajari di Bab 16; sekarang cukup bermain-main dulu!

2.6 Lanjut: diagram fasa, titik tripel, dan fluida superkritis

Bahasa sederhana • Bagian ini untuk penjelajah yang berani. Intinya sederhana: wujud air tidak hanya bergantung pada suhu, tetapi juga pada tekanan. Di puncak gunung, air sudah mendidih sebelum 100 °C!

Wujud zat ditentukan oleh **suhu dan tekanan** sekaligus. Peta yang menunjukkan wujud yang stabil pada setiap pasangan suhu-tekanan disebut **diagram fasa**. Di setiap titik pada garis batas, dua wujud dapat hidup berdampingan.

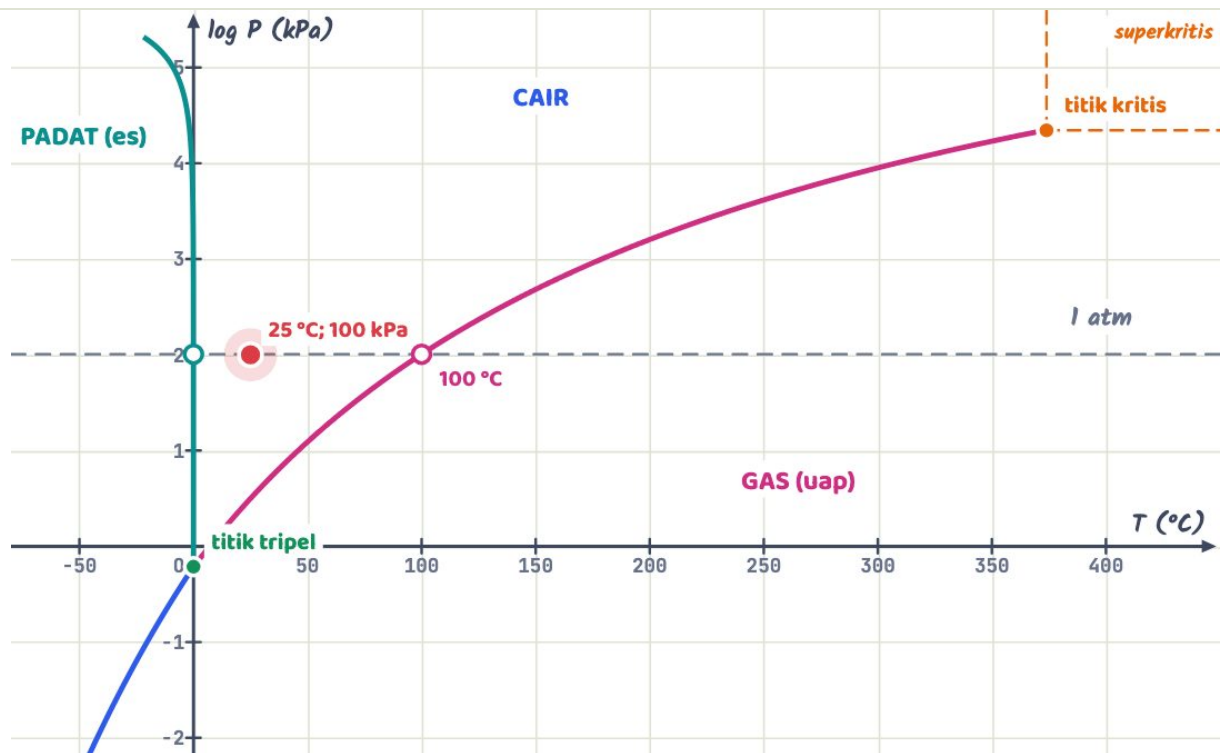


DEFINISI • TITIK TRIPEL DAN TITIK KRITIS

Titik tripel adalah satu-satunya pasangan suhu dan tekanan ketika wujud padat, cair, dan gas suatu zat berada dalam kesetimbangan. Untuk air: 0,01 °C dan 0,611 kPa. **Titik kritis** adalah ujung garis cair-gas. Di atasnya, cairan dan gas tidak dapat dibedakan lagi dan zat menjadi **fluida superkritis**. Untuk air: 374 °C dan 22,1 MPa (±218 atm).

$$\text{wujud} = f(T, P)$$

$$T = 25\text{ }^{\circ}\text{C}, \quad P = 100\text{ kPa}$$



±1 atm: tekanan udara di tepi pantai

suhu

25 °C

tekanan

100 kPa

setara

0,987 atm

wujud air

cair

Sumbu tegak memakai skala logaritma: naik 1 berarti tekanan $\times 10$. Seret titik merah menyusuri garis 1 atm dari kiri ke kanan: es $\rightarrow$ air $\rightarrow$ uap. Lalu turunkan tekanan ke $\pm 0,5$ kPa dan geser suhunya: adakah wujud cair? Garis hijau toska (leleh) sedikit condong ke kiri. Mengapa?

Data

Air, H_2O

Karbon dioksida, CO_2

Titik tripel

0,01 °C; 0,611 kPa (0,006 atm)

-56,6 °C; 518 kPa (5,1 atm)

Titik kritis

374 °C; 22,1 MPa

31,0 °C; 7,38 MPa

Bila padatnya dipanaskan pada 1 atm

mencair pada 0 °C, mendidih pada 100 °C

langsung menyublim pada -78,5 °C

Kemiringan garis leleh

condong ke kiri (es kurang rapat daripada air)

condong ke kanan (seperti kebanyakan zat)

Tabel itu menjawab misteri es kering. Tekanan titik tripel CO_2 adalah 5,1 atm. Pada tekanan udara biasa (1 atm), wujud cair CO_2 tidak pernah stabil, sehingga padatannya langsung menyublim. CO_2 cair baru bisa ada di dalam tabung bertekanan tinggi, misalnya tabung pemadam api jenis CO_2 .

Fluida superkritis bersifat unik: dapat menembus pori seperti gas, tetapi melarutkan zat seperti cairan. Sejak tahun 1970-an, CO_2 superkritis (di atas 31°C dan 73,8 bar) dipakai untuk melarutkan kafein dari biji kopi mentah. Hasilnya kopi **dekafeinasi** tanpa sisa pelarut berbahaya: begitu tekanan diturunkan, CO_2 kembali menjadi gas dan lepas sendiri. Cara serupa dipakai untuk mengekstrak minyak atsiri dan zat aktif dari rempah.



LANJUT • IB & OLIMPIADE

PERSAMAAN CLAPEYRON: MEMBACA KEMIRINGAN GARIS

Kemiringan setiap garis batas pada diagram fasa mengikuti **persamaan Clapeyron**:

$$\frac{dP}{dT} = \frac{\Delta H_m}{T \Delta V_m}$$

Saat es melebur, $\Delta H_m = +6,01 \text{ kJ/mol}$ tetapi volumenya **berkurang**: $\Delta V_m = \frac{18,0}{1,000} - \frac{18,0}{0,917} = -1,63 \text{ cm}^3/\text{mol}$. Akibatnya $dP/dT \approx -1,35 \times 10^7 \text{ Pa/K}$ ($\pm 133 \text{ atm/K}$). Garis lelehnya condong ke kiri, tetapi sangat curam: tekanan 100 atm hanya menurunkan titik leleh es sekitar $0,7^\circ\text{C}$. Licinnya es di gelanggang seluncur ternyata lebih banyak disebabkan lapisan air tipis di permukaan es dan panas gesekan daripada tekanan sepatu.

Untuk garis cair–gas, volume gas jauh lebih besar dan gas dianggap ideal, sehingga persamaan Clapeyron menjadi **persamaan Clausius–Clapeyron**:

$$\ln \frac{P_2}{P_1} = -\frac{\Delta H_{\text{uap}}}{R} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right)$$

Dengan $\Delta H_{\text{uap}} = 40,7 \text{ kJ/mol}$, air yang mendidih pada 100°C di bawah tekanan 101,3 kPa akan mendidih pada $\pm 88^\circ\text{C}$ bila tekanannya $\pm 65 \text{ kPa}$, seperti di puncak Semeru.



KESELAMATAN • ES KERING

Es kering bersuhu $-78,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan dapat melukai kulit seperti luka bakar. Pegang hanya dengan sarung tangan tebal atau penjepit, jangan pernah dimasukkan ke mulut, dan jangan disimpan dalam botol atau wadah yang tertutup rapat: gas CO_2 yang menyublim dapat membuat wadah itu meledak. Gunakan di ruangan yang berventilasi baik.

Kimia di sekitarmu



Garam Madura

Petambak di Madura mengalirkan air laut ke petak-petak tambak. Panas matahari dan angin menguapkan airnya, lalu garam tertinggal sebagai kristal.



Kendi tanah liat

Air merembes ke pori kendi lalu menguap di permukaannya. Penguapan menyerap kalor, sehingga air di dalam kendi tetap sejuk tanpa lemari es.



Bandeng presto

Di dalam panci presto, air baru mendidih pada $\pm 120\text{ }^{\circ}\text{C}$ karena tekanannya tinggi. Duri bandeng khas Semarang pun menjadi lunak.



Es puter

Pedagang es puter menaburkan garam ke es di sekeliling tabung adonan. Campuran es dan garam jauh lebih dingin daripada $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, cukup untuk membekukan adonan santan.



Kaca angkot berembun

Saat hujan, kaca bagian dalam angkot berkabut. Uap air dari napas penumpang mengembun di permukaan kaca yang dingin.



Tapai singkong

Ragi mengubah gula dalam singkong menjadi alkohol dan karbon dioksida. Rasa, aroma, dan teksturnya berubah: tanda perubahan kimia.



Cek Cepat

Perubahan wujud manakah yang melepas kalor?

Mencair

Menguap

Mengembun

Menyublim

Manakah yang termasuk senyawa?

Air suling

Udara bersih

Emas 24 karat

Air laut

Selama es mencair pada 0 °C, kalor yang diserap dipakai untuk ...

menaikkan suhu es

membuat partikel air membesar

mempercepat gerak partikel sehingga suhu naik

mengatasi gaya tarik antarpartikel sehingga kisinya runtuh

Kunci Cek Cepat: 1. C · 2. A · 3. D

Tantangan Rumah: lacak suhu es batu yang dipanaskan

Bahan: ± 200 g es batu yang dihancurkan, panci kecil, kompor, termometer dapur digital berujung tusuk, sendok kayu, stopwatch HP, kertas berpetak.

1. Bersama orang dewasa, masukkan es hancur ke dalam panci. Tusukkan ujung termometer ke tengah es, jangan sampai menyentuh dasar panci.
2. Catat suhu awal, lalu nyalakan kompor dengan api kecil. Jangan ubah besar apinya sampai selesai.
3. Aduk pelan dan catat suhu setiap 30 detik sampai air mendidih selama ± 3 menit. Tulis juga kapan es terakhir mencair dan kapan gelembung besar mulai muncul.
4. Matikan kompor. Buat grafik suhu terhadap waktu, lalu bandingkan dengan Grafik Hidup di subbab 2.2.

Keselamatan: kompor dan air mendidih hanya dipakai bersama orang dewasa. Pegang panci dengan lap atau pegangannya, dan jauhkan wajah serta tangan dari uap (ingat contoh "uap lebih galak!"). Jangan memakai termometer kaca berisi raksa. Pastikan kompor sudah mati setelah selesai. **Alternatif tanpa kompor:** teteskan pewarna makanan ke segelas air es dan segelas air hangat dari termos (bukan air mendidih), tanpa diaduk, lalu bandingkan kecepatan menyebarnya.

Pertanyaan: Pada suhu berapa grafismu mendatar? Mengapa dataran kedua bisa sedikit di bawah 100°C ? (Petunjuk: ketelitian termometer dan ketinggian tempat tinggalmu.)

RINGKASAN KILAT Bab 2 dalam 3 menit

Kamu sekarang bisa...

- menjelaskan wujud **padat, cair, dan gas** dengan teori partikel: susunan, jarak, dan gerak partikelnya
- menamai enam **perubahan wujud**, membaca **kurva pemanasan**, dan menghitung kalor dengan $Q = mc\Delta T$ dan $Q = mL$
- menjelaskan **difusi** dan **gerak Brown** sebagai bukti bahwa partikel selalu bergerak
- menggolongkan materi menjadi **unsur, senyawa, campuran homogen, dan campuran heterogen**
- membedakan **perubahan fisika** dan **perubahan kimia** dari tanda-tandanya, lalu (Lanjut) membaca **diagram fasa**

Istilah kunci

materi Materi padat cair gas perubahan wujud naftalena titik leleh
titik beku titik didih kalor laten kalor lebur kalor uap kalor jenis Difusi
gerak Brown

Rumus penting

$$Q = m \times c \times \Delta T$$

Kalor untuk menaikkan suhu. Kalor = massa × kalor jenis × kenaikan suhu. Zat dengan kalor jenis besar, seperti air, 'malas' menjadi panas.

$$Q = m \times L$$

Kalor untuk berubah wujud. Saat berubah wujud suhunya tetap. Kalor yang dibutuhkan = massa × kalor laten.

$$v_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$$

Kelajuan rata-rata partikel gas. Makin panas, makin cepat; makin berat partikelnya, makin lambat.

⚠ Jangan sampai terjebak

- Sifat zat bukan sifat satu partikelnya.
- Naftalena berbahaya bila tertelan dan uapnya tidak baik dihirup terus-menerus.
- Menguap tidak sama dengan mendidih.

📄 Tangga Latihan: 24 soal bab ini (Lv 1 Pemula sampai Lv 6 Olimpiade) ada di PDF Bank Soal dan di aurumgen.my.id/chemipedia#soal?bab=2

🧩 Teka-teki untuk Bab 3

Air laut adalah campuran. Bagaimana caranya petambak Madura "mengambil" garamnya, dan bisakah kita juga mengambil air tawarnya? Pikirkan perubahan wujud yang sudah kamu pelajari di bab ini.

▼ Intip petunjuk

Garam diambil dengan **menguapkan** airnya: garam tidak ikut menguap, jadi tertinggal sebagai kristal. Untuk mendapatkan air tawarnya, uap air harus ditangkap lalu **diembunkan** kembali: itulah **distilasi** (penyulingan). Di Bab 3 kamu akan belajar memisahkan campuran dengan memanfaatkan perbedaan sifat fisika komponennya.

03

Campuran & Teknik Pemisahan: Seni Memilah Materi

Garam di dapurmu dulu bersembunyi di air laut, dan bensin di tangki motor dulu bercampur dengan aspal di perut bumi. Bab ini membongkar trik para kimiawan memisahkan zat yang sudah bercampur: cari perbedaan sifatnya, lalu manfaatkan!

Setelah bab ini, kamu bisa

- menjelaskan bahwa setiap teknik pemisahan memanfaatkan **perbedaan sifat fisika** komponen campuran (ukuran partikel, kelarutan, titik didih, sifat magnet, massa jenis);
- memilih dan menyusun urutan teknik pemisahan (**penyaringan, dekantasi, sentrifugasi, magnet, penguapan, kristalisasi**) untuk campuran sehari-hari;
- menjelaskan **distilasi sederhana, bertingkat, dan distilasi uap**, serta membaca dataran suhu pada kurva distilasi;
- melakukan **kromatografi kertas** dan menghitung nilai R_f untuk mengenali zat warna, termasuk pewarna terlarang;
- memakai **corong pisah, ekstraksi, dan sublimasi**, serta menguji kemurnian zat dari titik leleh dan titik didihnya.

TRAGEDI TIGA SERBUK

KOMIK • 4 PANEL

Sabtu siang, di laboratorium sekolah

BIMA

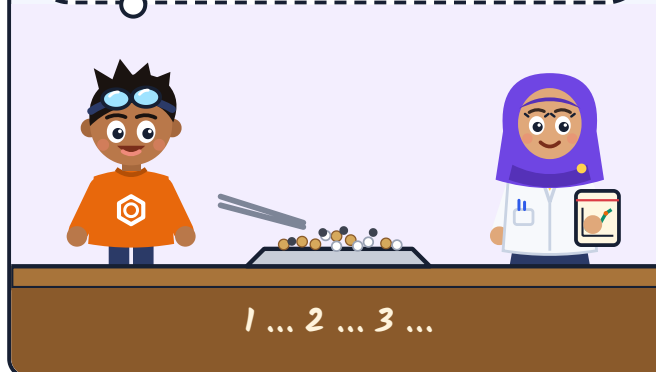
Waduh! Toples pasir, garam, dan serbuk besi untuk praktikum tumpah semua ke satu nampan!

**LARAS**

Tantangan, Bim: pisahkan lagi ketiganya. Jangan sampai ada satu butir pun yang hilang!

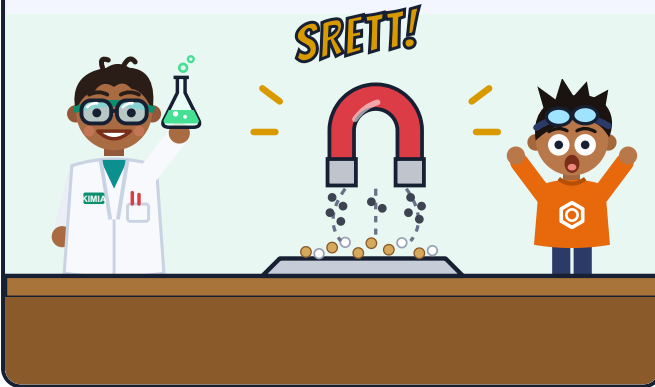
BIMA

Pakai pinset... satu per satu... sampai malam?



KAK TIRTA

Pinset? Bisa sampai Lebaran tahun depan!
Cari sifat yang **berbeda**: besi ditarik magnet, garam larut dalam air, pasir tidak.

**Kimo muncul dari balik rak...****KIMO**

Itulah rahasia semua teknik pemisahan, dari tambak garam Madura sampai kilang minyak Cilacap: memanfaatkan **perbedaan sifat**!

BIMA

Jadi kuncinya bukan tangan cepat, tapi otak cerdas!

**Tebak Dulu!**

Segelas air garam disaring dengan kertas saring paling halus di laboratorium. Apa yang keluar dari bawah corong?

Air tawar, karena garamnya tertahan di kertas saring.

Air yang sedikit kurang asin, karena sebagian garam tertahan.

Air garam yang sama asinnya seperti sebelum disaring.

Tidak ada yang keluar, karena kertas saring tersumbat garam.

Jawabannya: air garam yang sama asinnya. Garam yang larut sudah terurai menjadi ion Na^+ dan Cl^- yang ukurannya hanya sekitar 0,2 nm. Pori kertas saring berukuran sekitar 10 mikrometer, kira-kira 50.000 kali lebih besar. Ion-ion itu lolos semudah kelereng melewati gawang sepak bola. Penyaringan hanya bisa menahan zat padat yang *tidak larut*.

3.1 Prinsip pemisahan: cari perbedaannya!

Coba lihat sekelilingmu. Udara, air laut, tanah, santan, kopi, darah, minyak bumi, bahkan es teh manis: semuanya **campuran**. Zat yang benar-benar murni justru jarang kita temui. Itulah sebabnya teknik pemisahan menjadi

keterampilan pertama seorang kimiawan, sebelum ia bisa meneliti apa pun.



DEFINISI • CAMPURAN

Campuran adalah gabungan dua zat atau lebih yang tidak bereaksi satu sama lain. Setiap komponen tetap memiliki sifatnya sendiri, dan perbandingan komponennya boleh berubah-ubah. **Campuran homogen** (larutan) tampak serba sama di setiap bagian, misalnya air garam dan udara. **Campuran heterogen** memperlihatkan bagian-bagian yang berbeda, misalnya pasir dalam air, santan, dan nasi goreng.

Bahasa sederhana • Pernahkah kamu melihat nenek menampi beras di atas tampah? Beras dilempar-lempar ke udara. Sekam yang ringan terbang terbawa angin, sedangkan butir beras yang berat jatuh kembali ke tampah. Nenek sedang memisahkan campuran! Ia tidak memakai zat kimia apa pun. Ia hanya memanfaatkan satu perbedaan: sekam lebih ringan daripada beras. Semua teknik pemisahan di bab ini bekerja dengan cara yang sama.

Karena komponen campuran tidak terikat secara kimia, kita dapat memisahkannya dengan **cara fisika**: tanpa reaksi, hanya dengan memanfaatkan perbedaan sifat. Butir pasir lebih besar daripada molekul air. Air mendidih pada 100 °C, sedangkan garam baru mendidih pada 1.465 °C. Besi ditarik magnet, pasir tidak. Setiap perbedaan adalah "pintu keluar" bagi satu komponen.



PRINSIP EMAS PEMISAHAN

Setiap teknik pemisahan memanfaatkan **perbedaan satu sifat fisika** antarkomponen campuran. Untuk memilih teknik, tanyakan: *sifat apa yang membuat komponen A berbeda dari komponen B?* Jawabannya langsung menunjuk ke tekniknya.

Perbedaan sifat	Teknik pemisahan	Contoh di Indonesia
Ukuran partikel (padatan tak larut vs cairan)	penyaringan (filtrasi), pengayakan	memeras santan dengan saringan, mengayak pasir bangunan
Massa jenis	dekantasi, sentrifugasi, corong pisah, menampi	kopi tubruk, menampi beras, memisahkan plasma darah
Sifat magnet	pemisahan dengan magnet	pasir besi pantai selatan Jawa, daur ulang kaleng
Kelarutan dalam pelarut tertentu	pelarutan + penyaringan, ekstraksi	menyeduh teh, membuat jamu kunyit, dekafeinasi kopi
Titik didih (kemudahan menguap)	penguapan, distilasi sederhana & bertingkat	garam tambak, minyak nilam, kilang minyak
Kemampuan menyublim	sublimasi	kapur barus, iodin



AWAS JEBAKAN

Senyawa tidak dapat dipisahkan dengan cara fisika. Campuran serbuk **besi** dan belerang (**S**) masih bisa dipisahkan dengan magnet. Namun, setelah dipanaskan, keduanya bereaksi menjadi senyawa besi(II) sulfida, $\text{Fe} + \text{S} \rightarrow \text{FeS}$, serbuk hitam yang tidak lagi tertarik magnet seperti serbuk besi. Untuk mengambil kembali besinya diperlukan *reaksi kimia*, bukan magnet.

CONTOH Pilih tekniknya!

Teknik apa yang paling tepat untuk memisahkan: (a) ampas dari kopi tubruk, (b) garam dari air laut, (c) minyak goreng bekas dari air cucian, (d) serbuk besi yang tercampur tepung?

- 1 (a) Ampas kopi tidak larut dan lebih berat daripada air, jadi mengendap. Tuang airnya pelan-pelan: **dekantasi** (atau saring).
- 2 (b) Garam larut sempurna dan titik didihnya jauh lebih tinggi daripada air: **penguapan**.
- 3 (c) Minyak dan air tidak bercampur dan massa jenisnya berbeda: **corong pisah**.
- 4 (d) Hanya besi yang ditarik magnet: **magnet**.

Dekantasi, penguapan, corong pisah, dan magnet. Perhatikan: setiap jawaban berawal dari satu perbedaan sifat.

3.2 Menyaring, menuang, memutar, dan menarik

Penyaringan (filtrasi) memisahkan zat padat yang *tidak larut* dari cairan. Campuran dituang ke kertas saring di dalam corong. Cairan dan semua yang terlarut di dalamnya lolos lewat pori kertas, sedangkan butir padat yang lebih besar dari pori tertahan.



DEFINISI • RESIDU DAN FILTRAT

Residu adalah zat padat yang tertinggal di kertas saring. **Filtrat** adalah cairan jernih yang lolos melewati kertas saring. Pada penyaringan air kopi, ampasnya residu dan air kopinya filtrat.

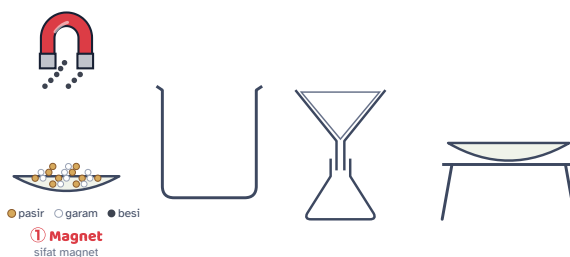
Dekantasi adalah cara yang lebih sederhana: campuran dibiarkan sampai padatnya mengendap, lalu cairan di atasnya dituang perlahan. Orang tua kita dulu mengendapkan air sungai yang keruh di gentong semalaman, lalu menciduk bagian atasnya. Unit pengolahan air minum (PDAM) melakukan hal yang sama dalam bak pengendap raksasa.

Kalau partikelnya terlalu halus atau terlalu lama mengendap, campuran diputar sangat cepat dalam alat **sentrifugasi** (sentrifus). Putaran ribuan kali per menit membuat partikel yang lebih rapat terlempar ke dasar tabung dalam hitungan menit. Laboratorium klinik memisahkan darah menjadi plasma (kekuningan, di atas) dan sel darah (merah, di bawah) dengan cara ini.

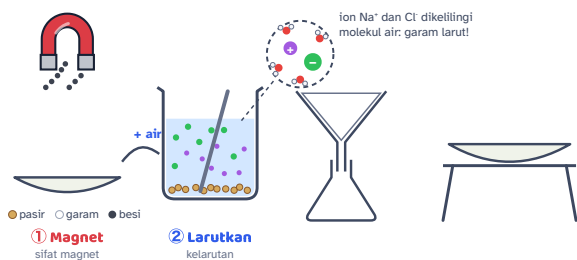
Pemisahan dengan magnet hanya bekerja bila salah satu komponen bersifat magnetis, misalnya **besi**, nikel, kobalt, dan beberapa oksida besi. Pasir hitam di pantai selatan Jawa kaya akan magnetit, Fe_3O_4 , yang dipisahkan dari pasir biasa dengan magnet besar sebelum diolah menjadi bijih besi.



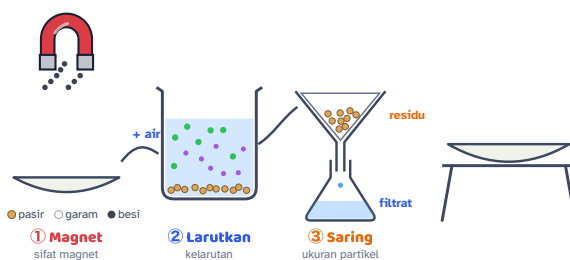
Langkah 1. Campuran 30,0 g berisi 5,0 g serbuk besi, 15,0 g pasir, dan 10,0 g garam. Ketiganya hanya bercampur, tidak bereaksi, jadi sifat masing-masing masih utuh.



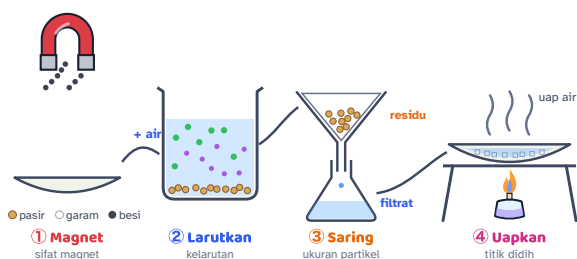
Langkah 2. Magnet didekatkan. Hanya serbuk besi yang tertarik. Tip: bungkus magnet dengan plastik supaya serbuk besi mudah dilepas.



Langkah 3. Pasir dan garam dimasukkan ke air lalu diaduk. Garam **larut**: kisinya terurai menjadi ion Na^+ dan Cl^- yang dikelilingi molekul air. Pasir tidak larut.



Langkah 4. Campuran **disaring**. Butir pasir terlalu besar untuk melewati pori kertas saring sehingga tertinggal sebagai **residu**. Ion-ion garam yang sangat kecil lolos bersama air sebagai **filtrat**.



Langkah 5. Filtrat **diuapkan** di cawan porselen. Air (titik didih 100 °C) menguap, sedangkan garam (titik didih 1.465 °C) tertinggal sebagai kristal. Pasir di kertas saring dibilas sedikit air lalu dikeringkan.



Langkah 6. Hasil akhirnya: besi 4,9 g, pasir 14,8 g, dan garam 9,6 g. Totalnya 29,3 g dari 30,0 g. Sebagian kecil butir selalu tertinggal di kertas saring, cawan, dan sendok. Karena itu kimiawan menghitung **persen perolehan**.



AWAS JEBAKAN

Urutan langkah pemisahan menentukan hasil. Kalau campuran pasir-garam-besi langsung dicampur air, serbuk besi menjadi basah, mudah berkarat, dan lengket dengan pasir. Kalau filtrat diuapkan sebelum disaring, pasir ikut tercampur dengan garam lagi. Ambil komponen yang paling mudah dan paling khas dulu (besi dengan magnet, selagi kering).



TRIK KAK TIRTA • TIGA PERTANYAAN SAKTI

Sebelum memilih alat, tanyakan tiga hal secara berurutan. **(1)** Adakah yang ditarik magnet? Tarik dulu. **(2)** Adakah yang larut dalam air (atau pelarut lain) dan adakah yang tidak? Larutkan, lalu saring. **(3)** Bagaimana memisahkan cairan dari zat yang larut di dalamnya? Kalau hanya butuh padatnya, uapkan. Kalau butuh cairannya juga, distilasi. Kalau cairannya tidak bercampur, pakai corong pisah.

Seberapa cermat pemisahanmu? Bandingkan massa yang berhasil diperoleh dengan massa komponen itu di campuran awal.

RUMUS HIDUP

Persen perolehan (rendemen)

$$\% \text{ perolehan} = \frac{m_{\text{diperoleh}}}{m_{\text{awal}}} \times 100\%$$

Berapa bagian zat yang berhasil kita selamatkan dari campuran, dinyatakan dalam persen.

$m_{\text{diperoleh}}$

Massa yang diperoleh (kering) g

m_{awal}

Massa zat itu dalam campuran awal g

%

Persen perolehan %

PERSEN PEROLEHAN

96

%



pemisahan sangat cermat

Dari **10** g zat di campuran, kamu menyelamatkan **9,6** g, yaitu **96** %. Yang hilang: **0,4** g.

Cek satuan: $\text{g} \div \text{g} \times 100\% = \%$

RUMUS HIDUP: GESER NILAINYA DAN KUMPULKAN KARTUNYA DI [AURUMGEN.MY.ID/CHEMIPEDIA#RM-PERSEN-PEROLEHAN](https://aurumgen.my.id/chemipedia#rm-persen-perolehan)

CONTOH Garam Bima yang selamat

Bima memisahkan 30,0 g campuran yang mengandung 10,0 g garam. Setelah penguapan dan pengeringan, ia memperoleh 9,6 g garam. Berapa persen perolehan garamnya?

1 Massa garam yang diperoleh: $m_{\text{diperoleh}} = 9,6 \text{ g}$. Massa garam di campuran awal: $m_{\text{awal}} = 10,0 \text{ g}$.

2 $\% \text{ perolehan} = \frac{9,6}{10,0} \times 100\% = 96\%$.

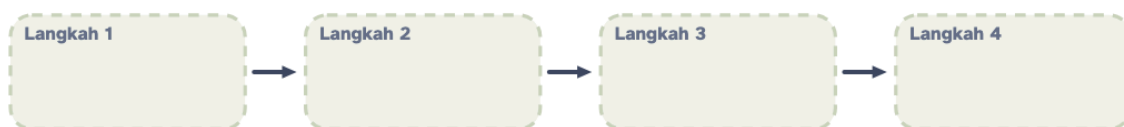
Perolehan garam 96%. Sebanyak 0,4 g garam hilang, mungkin menempel di kertas saring atau memercik saat penguapan.

LAB MINI Teka-teki Alur Pemisahan: susun langkahnya!

LAB MINI INTERAKTIF • COBA SENDIRI DI AURUMGEN.MY.ID/CHEMIPEDIA#BAB-3

Campuran: Pasir + garam + serbuk besi

Tujuan: dapatkan kembali besi, pasir, dan garam



Seret kartu ke kotak langkah, atau ketuk kartu untuk mengisi kotak kosong berikutnya.

 Tarik dengan magnet

 Larutkan dalam air

 Saring

 Uapkan filtrat

 Sublimasi

 Corong pisah

 Distilasi

 Kromatografi

Status

0/4 kotak terisi

Pilih campuran, lalu seret kartu teknik ke kotak langkah 1, 2, 3, ... (atau ketuk kartu untuk mengisi kotak kosong berikutnya; ketuk kotak untuk mengosongkannya). Tekan  **Periksa**. Adakah urutan lain yang juga masuk akal?

MITOS

"Air yang sudah disaring dengan kain atau pasir pasti aman diminum."

MITOS

"Makin halus kertas saringnya, makin banyak garam yang tertahan."

FAKTA

Penyaringan hanya menahan partikel yang lebih besar dari pori. Kuman yang berukuran beberapa mikrometer dan zat terlarut (garam, pestisida) bisa lolos. Air hasil saringan tetap harus direbus sampai mendidih.

FAKTA

Garam yang larut terurai menjadi ion selebar $\pm 0,2$ nm, puluhan ribu kali lebih kecil daripada pori kertas saring. Garam dipisahkan dari air dengan penguapan, distilasi, atau membran khusus (osmosis balik, Bab 24).

3.3 Penguapan dan kristalisasi: dari tambak garam sampai pabrik gula

Penguapan (evaporasi) memisahkan zat padat yang terlarut dari pelarutnya. Larutan dipanaskan atau dijemur sampai pelarutnya menguap, dan zat terlarut tertinggal. Cara ini bekerja karena titik didih pelarut (air, 100°C) jauh lebih rendah daripada titik didih zat terlarut (garam, 1.465°C). Kekurangannya, pelarutnya hilang ke udara.



KIMIA NUSANTARA • GARAM RAKYAT DARI TAMBAK

Sepanjang musim kemarau, petambak di Madura (Sumenep, Pamekasan, Sampang), Pati dan Rembang, Jeneponto, hingga Bima di Nusa Tenggara Barat mengalirkan air laut ke petak-petak tambak. Matahari dan angin menguapkan airnya sedikit demi sedikit. Air yang makin pekat, yang disebut *air tua*, dipindahkan ke petak kristalisasi (meja garam) sampai kristal garam muncul. Air laut hanya mengandung $\pm 3,5\%$ garam terlarut, dan sekitar tiga perempatnya adalah NaCl. Petambak berpengalaman memanen kristal sebelum air tua terlalu pekat, karena pada tahap akhir garam magnesium yang pahit ikut mengkristal. Kini banyak petambak melapisi meja garam dengan plastik geomembran agar garamnya lebih putih dan bersih.

$$m_{\text{NaCl}} = V \times \rho \times \frac{w}{100}$$

Massa garam = volume air laut × massa jenisnya × kadar NaCl-nya.

V

Volume air laut L

 ρ

Massa jenis air laut kg/L

w

Kadar NaCl (persen massa) %

 m_{NaCl}

Massa NaCl maksimum kg

MASSA NaCl MAKSIMUM

27,68

kg

1.000 L air laut menyimpan paling banyak **27,68** kg NaCl, setara **0,554** karung garam 50 kg.

Satuan Nusantara: $\approx 1,1 \times$ karung beras $\cdot \approx 28\%$ dari motor bebek $\cdot \approx 185 \times$ satu apel

Cek satuan: $L \times \text{kg/L} \times (\%/100) = \text{kg}$

RUMUS HIDUP: GESER NILAINYA DAN KUMPULKAN KARTUNYA DI AURUMGEN.MY.ID/CHEMIPEDIA#RM-GARAM-TAMBAK

Kalau yang kita inginkan adalah **kristal yang murni dan rapi**, ada cara yang lebih cerdas: **kristalisasi**. Zat dilarutkan dalam pelarut panas sampai jenuh, lalu larutan didinginkan perlahan. Karena kelarutannya turun saat dingin, kelebihan zat keluar dari larutan sebagai kristal. Pengotor yang jumlahnya sedikit tetap tinggal di larutan (larutan induk), sehingga kristalnya lebih murni.

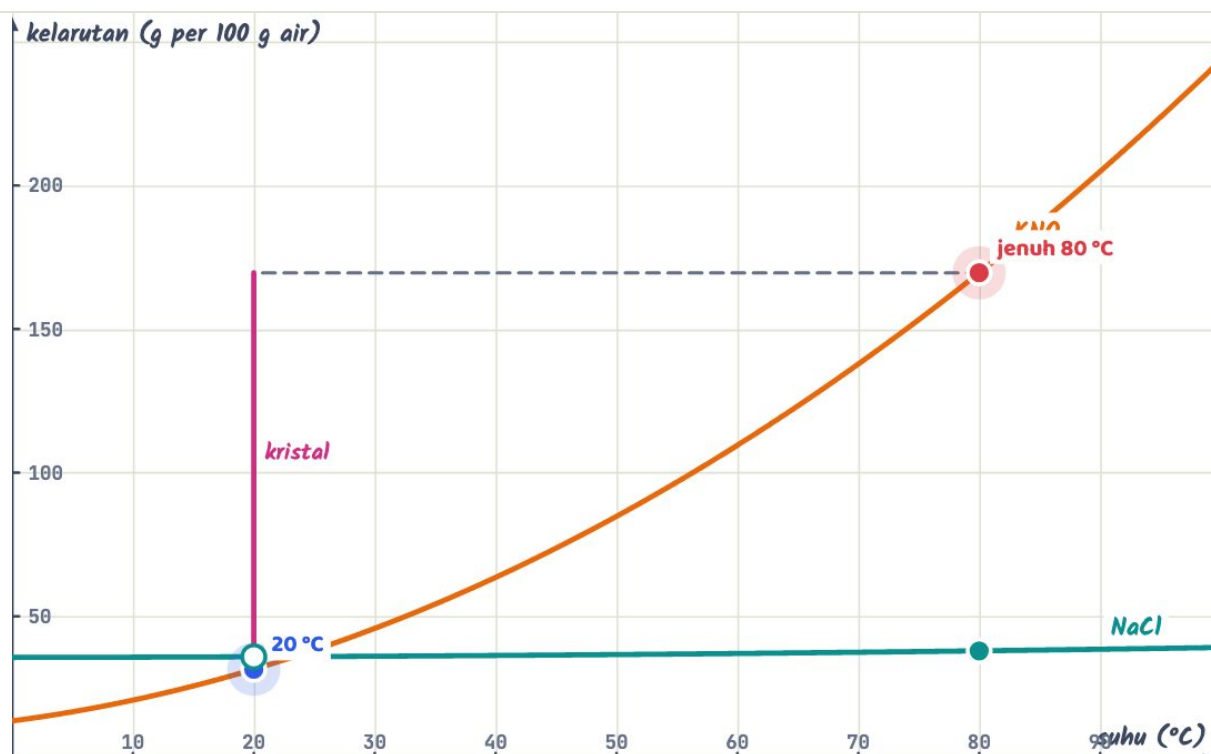


DEFINISI • LARUTAN JENUH DAN KRISTALISASI

Larutan jenuh adalah larutan yang sudah tidak dapat melarutkan zat terlarut lagi pada suhu tertentu. **Kristalisasi** adalah pembentukan kristal padat dari larutan jenuh, baik dengan mendinginkan larutan maupun dengan menguapkan sebagian pelarutnya.

$$m_{\text{kristal}} = S(T_1) - S(T_2) \quad (\text{per } 100 \text{ g air})$$

$$T_1 = 80^\circ\text{C} \rightarrow T_2 = 20^\circ\text{C} : \text{KNO}_3 \text{ } 138 \text{ g}, \text{ NaCl } 2,08 \text{ g}$$



NaCl hampir tidak mengkristal saat didinginkan: garam dapur diperoleh dengan penguapan, bukan pendinginan

kristal KNO_3 (per 100 g air)
138 g

kristal NaCl (per 100 g air)
2,08 g

KNO_3 yang mengkristal
81 %

Seret titik merah (larutan jenuh panas) dan titik biru (suhu akhir). Larutan didinginkan menyusuri garis putus-putus; begitu menyentuh kurva, kristal mulai muncul (panah magenta). Bandingkan kurva KNO_3 yang curam dengan kurva NaCl yang hampir datar.



AWAS JEBAKAN

Menguapkan sampai kering bukan selalu cara terbaik. Semua pengotor ikut tertinggal bersama kristal, gula bisa gosong menjadi karamel, dan kristal hidrat kehilangan air kristalnya (terusi biru, $\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$, berubah menjadi serbuk putih, Bab 17). Untuk kristal murni, uapkan sebagian saja sampai larutan jenuh, lalu biarkan dingin.

Pabrik gula tebu di Jawa Timur memakai keduanya. Nira tebu dijernihkan dengan kapur, lalu diuapkan dalam evaporator sampai kental. Nira kental "dimasak" dalam panci vakum: tekanan rendah membuat air mendidih jauh di bawah 100 °C, sehingga gula tidak gosong. Kristal gula yang tumbuh kemudian dipisahkan dari cairan cokelat kental (tetes tebu atau molase) dengan **sentrifugasi**. Satu pabrik, empat teknik pemisahan!

COBA SENDIRI Kristal kalium nitrat

Sebanyak 100 g air pada 80 °C dijenuhkan dengan kalium nitrat, KNO_3 , lalu didinginkan sampai 20 °C. Kelarutan KNO_3 adalah 169 g per 100 g air pada 80 °C dan 31,6 g per 100 g air pada 20 °C. (a) Berapa gram kristal yang terbentuk? (b) Berapa persen KNO_3 yang berhasil dikristalkan? (c) Mengapa cara ini tidak cocok untuk memperoleh garam dapur? (Kelarutan NaCl 38,0 g pada 80 °C dan 35,9 g pada 20 °C, per 100 g air.)

1 (a) Pada 80 °C larut 169 g. Pada 20 °C hanya 31,6 g yang dapat tetap larut. Kelebihannya mengkristal: $169 - 31,6 = 137,4$ g.

2 (b) $\frac{137,4}{169} \times 100\% = 81,3\%$ dari KNO_3 yang dilarutkan.

3 (c) Untuk NaCl : $38,0 - 35,9 = 2,1$ g saja per 100 g air. Hampir semuanya tetap larut, sehingga pendinginan tidak efektif.

(a) 137,4 g kristal, (b) 81,3%. (c) Kelarutan NaCl hampir tidak bergantung pada suhu, jadi garam dapur diperoleh dengan penguapan, persis seperti di tambak. Cek di Grafik Hidup di atas!

3.4 Distilasi: menguap, lalu mengembun lagi

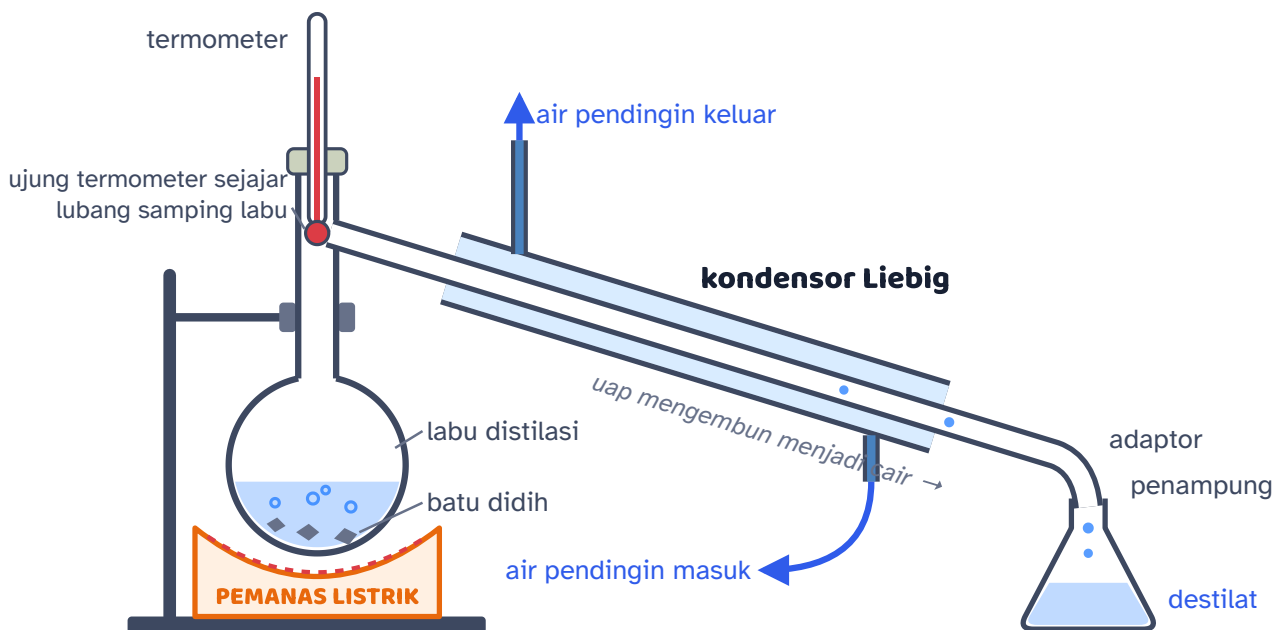
Teka-teki dari Bab 2 bertanya: bisakah kita mengambil *air tawarnya* dari air laut, bukan hanya garamnya? Bisa, asalkan uap air tidak dibiarkan kabur ke udara. Uap itu ditangkap, didinginkan, dan diembunkan kembali menjadi air cair. Itulah **distilasi** atau penyulingan.

Bahasa sederhana • Pernahkah kamu membuka tutup panci yang sedang merebus air? Di bagian dalam tutup ada tetesan air bening. Air itu tadinya uap yang naik dari panci, lalu mengembun karena tutupnya lebih dingin. Kalau kamu merebus air garam, tetesan di tutup panci itu tidak asin! Alat distilasi adalah "tutup panci" yang dibuat sangat cermat.



DEFINISI • DISTILASI

Distilasi (penyulingan) adalah pemisahan campuran cair berdasarkan perbedaan titik didih: campuran dipanaskan, komponen yang lebih mudah menguap berubah menjadi uap, lalu uapnya diembunkan dalam **kondensor**. Cairan hasil pengembunan disebut **destilat**.



Rangkaian distilasi sederhana. Air pendingin masuk dari bawah dan keluar dari atas supaya selubung kondensor selalu penuh air dingin. Ujung termometer berada tepat di depan lubang samping karena yang diukur adalah suhu *uap* yang menuju kondensor.



KESELAMATAN

Distilasi cairan mudah terbakar (alkohol, aseton, bensin) wajib memakai pemanas listrik atau penangas air, bukan api terbuka. Masukkan dua atau tiga batu didih sebelum memanaskan supaya cairan tidak meletup. Jangan pernah memanaskan sistem yang tertutup rapat: ujung penampung harus terbuka ke udara. Jangan menyuling sampai labu kering. Pakai kaca mata pelindung, dan lakukan di bawah pengawasan guru.



Mudah menyala



Iritan



Tebak Dulu!

Kak Tirta mendistilasi air sumur yang sedikit berbau minyak tanah karena ada tangki bocor di dekat sumur. Bagaimana destilatnya?

Pasti murni dan tidak berbau, karena distilasi menyingkirkan semua pengotor.

Masih bisa berbau, karena sebagian zat yang mudah menguap ikut menguap dan mengembun bersama air.

Berwarna kekuningan seperti minyak tanah, tetapi tidak berbau.

Tidak ada destilat, karena minyak tanah menyumbat kondensor.

Jawabannya: masih bisa berbau. Distilasi hanya menyingkirkan zat yang *sukar menguap*, seperti garam dan kotoran padat. Zat yang ikut menguap pada suhu didih air, misalnya sebagian komponen minyak tanah, amonia, atau gas terlarut, dapat terbawa bersama uap air ke dalam destilat.



AWAS JEBAKAN

Distilasi tidak selalu menghasilkan zat murni. Gas terlarut (seperti CO_2 dan amonia) dan cairan yang mudah menguap ikut tersuling bersama air. Itulah sebabnya air suling untuk laboratorium yang sangat teliti disuling dua kali atau dimurnikan lagi dengan resin penukar ion.

Distilasi sederhana cukup untuk memisahkan pelarut dari zat padat terlarut, atau dua cairan yang titik didihnya berjauhan, misalnya aseton (56°C) dan air (100°C). Bagaimana kalau titik didihnya berdekatan, seperti etanol (78°C) dan air (100°C)? Uap yang keluar dari labu tetap mengandung kedua zat, hanya lebih kaya komponen yang lebih mudah menguap. Solusinya adalah **distilasi bertingkat**: di atas labu dipasang **kolom fraksionasi** berisi manik-manik kaca. Di permukaan manik, uap berkali-kali mengembun dan menguap lagi. Setiap "naik kelas" membuat uap makin kaya komponen yang lebih mudah menguap, sehingga yang sampai di puncak kolom hampir murni.



ATURAN • MEMILIH JENIS DISTILASI

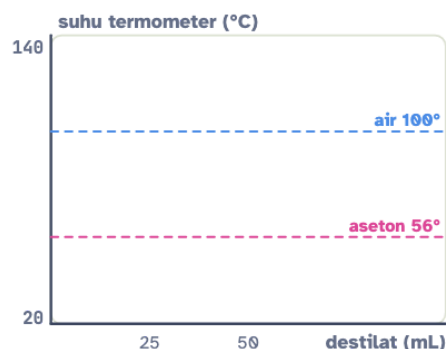
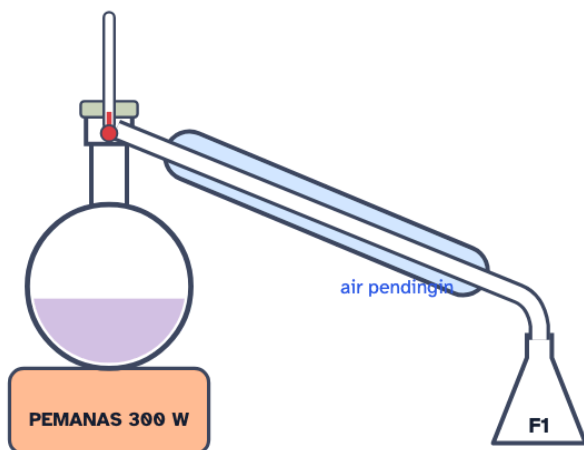
Selisih titik didih lebih dari $\pm 25^\circ\text{C}$: distilasi sederhana biasanya cukup. Selisih kurang dari $\pm 25^\circ\text{C}$: pakai distilasi bertingkat. Selama satu komponen tersuling, suhu termometer bertahan pada titik didih komponen itu (terjadi **dataran suhu**). Suhu baru naik lagi setelah komponen itu hampir habis.

27 °C

termometer (uap)

labu: 61,3 °C

waktu: 2,3 menit



aseton air

F1 0 mL F2 0 mL F3 0 mL F4 0 mL
kemurnian fraksi (% volume)

Termometer (uap)

27 °C

Suhu cairan di labu

61,3 °C

Destilat total

0 mL

Penampung aktif

F1

Keadaan

Memanaskan... belum mendidih

Pilih campuran lalu tekan ►. Amati termometer dan grafikny. Setiap kali suhu mulai naik ke dataran baru, tekan **Ganti penampung** supaya setiap fraksi tertampung terpisah. Bandingkan kemurnian fraksi dengan dan tanpa **kolom fraksionasi**. Pada air laut, mengapa termometer menunjukkan 100 °C padahal labunya lebih panas? (Warna cairan hanya penanda; aslinya semua bening.)

Di kilang minyak seperti di Cilacap, Balikpapan, dan Dumai, prinsip yang sama bekerja dalam skala raksasa. Minyak mentah dipanaskan sampai $\pm 350\text{--}400\text{ }^{\circ}\text{C}$ lalu dialirkan ke menara fraksionasi setinggi puluhan meter. Menara itu panas di bawah dan makin dingin ke atas. Setiap fraksi mengembun pada ketinggian yang suhunya sesuai dengan titik didihnya, lalu dialirkan keluar.

Fraksi minyak bumi	Titik didih ($\pm$)	Jumlah atom C	Kegunaan
Gas kilang	di bawah 30 °C	C1–C4	LPG, bahan baku petrokimia
Bensin (nafta)	30–180 °C	C5–C10	bahan bakar kendaraan, bahan baku plastik
Kerosin dan avtur	160–250 °C	C10–C16	minyak tanah, bahan bakar pesawat

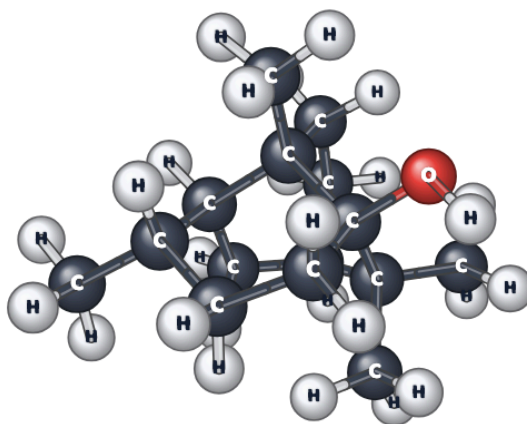
Solar (diesel)	250–350 °C	C14–C20	truk, bus, kapal, genset
Pelumas dan parafin	350–450 °C	C20–C40	oli, lilin, campuran malam batik
Residu	di atas 450 °C	lebih dari C40	aspal jalan, bahan bakar kapal



KIMIA NUSANTARA • HARUMNYA HASIL PENYULINGAN

Sebagian besar minyak nilam dunia berasal dari Indonesia, terutama dari Aceh, Sumatra Barat, dan Sulawesi. Daun nilam kering dimasukkan ke ketel, lalu dialiri **uap air** selama berjam-jam. Uap membawa molekul wangi keluar dari daun, keduanya mengembun di kondensor, dan minyak yang tidak larut dalam air mengapung di atas destilat. Cara yang sama dipakai untuk minyak kayu putih dari Pulau Buru (Maluku), minyak serai wangi, dan minyak daun cengkeh. Rendemennya kecil: $\pm 2\text{--}3\%$ untuk nilam dan kurang dari 1% untuk kayu putih. Itulah sebabnya sebotol kecil minyak atsiri bernilai tinggi. Komponen utama minyak nilam, **patchoulol**, menentukan mutu dan harganya.

MOLEKUL 3D Wangi Nusantara hasil penyulingan



Seret untuk memutar • ketuk atom untuk mengukur

Patchoulol $\text{C}_{15}\text{H}_{26}\text{O}$ Mr $\approx 222,37$ [PubChem](#)

Aroma khas minyak nilam; Aceh terkenal sebagai penghasil minyak nilam berkualitas tinggi.

Patchoulol (minyak nilam) mendidih jauh di atas 200 °C, tetapi tetap bisa disuling bersama uap air di bawah 100 °C. Putar molekul-molekul ini. Gugus –OH mana yang membuat geraniol, mentol, dan patchoulol sedikit "suka air"? Bandingkan dengan limonena (minyak kulit jeruk) yang hanya berisi C dan H.

MITOS

"Minyak atsiri diperoleh dengan memeras daun nilam atau daun kayu putih."

MITOS

"Selama distilasi, suhu termometer terus naik."

FAKTA

Hampir semua minyak atsiri Nusantara (nilam, kayu putih, serai wangi, daun cengkeh) diperoleh dengan distilasi uap. Uap air membawa molekul wangi keluar dari daun. Hanya minyak kulit jeruk yang lazim diperas.

FAKTA

Selama satu komponen murni tersuling, suhunya bertahan di titik didih komponen itu (dataran suhu). Suhu baru naik setelah komponen itu habis. Dataran suhu adalah "sidik jari" zat yang sedang tersuling.



TAMU DARI MASA LALU · ALEMBIK

Alkimiawan di Aleksandria, Mesir, sudah memakai alat penyuling sekitar 2.000 tahun lalu. Para ilmuwan dunia Islam, antara lain Jabir ibn Hayyan (abad ke-8) dan Ar-Razi (abad ke-9-10), menyempurnakannya untuk menyuling air mawar dan minyak wangi. Nama alat itu, *alembik*, berasal dari bahasa Arab *al-anbiq*. Kata "alkohol" pun berasal dari bahasa Arab, *al-kuhl*. Di Pulau Buru, ketel penyulingan kayu putih tradisional dari drum dan pipa sederhana masih bekerja dengan prinsip yang sama hingga kini.



LANJUT · IB & OLIMPIADE

HUKUM RAOULT: MENGAPA UAP LEBIH KAYA KOMPONEN MUDAH MENGUAP?

Untuk larutan ideal dua cairan A dan B, tekanan uap parsial setiap komponen sebanding dengan fraksi molnya di cairan (hukum Raoult):

$$p_A = x_A p_A^\circ, \quad p_B = x_B p_B^\circ, \quad y_A = \frac{p_A}{p_A + p_B}$$

Contoh: pada 70 °C, p° heksana = 1,04 atm dan p° heptana = 0,40 atm. Cairan dengan $x_{\text{heksana}} = 0,40$ memberi $p_{\text{heksana}} = 0,416$ atm dan $p_{\text{heptana}} = 0,60 \times 0,40 = 0,24$ atm, sehingga $y_{\text{heksana}} = 0,416/0,656 = 0,63$. Uapnya jauh lebih kaya heksana (63%) daripada cairannya (40%). Setiap pengembunan-penguapan ulang di kolom (satu **lempeng teoretis**) mengulang pengayaan ini. Pada refluks total, banyaknya lempeng minimum diperkirakan dengan persamaan Fenske: $N_{\min} = \ln \left[\frac{y/(1-y)}{x/(1-x)} \right] / \ln \alpha$, dengan $\alpha = p_A^\circ/p_B^\circ$ (volatilitas relatif).

Campuran nyata bisa menyimpang dari hukum Raoult. Etanol dan air membentuk **azeotrop** pada 95,6% etanol (massa) yang mendidih pada 78,2 °C. Uap azeotrop sama komposisinya dengan cairannya, sehingga distilasi bertingkat sebaik apa pun tidak dapat memberikan etanol lebih pekat dari 95,6%. Lab Mini di atas memakai model van Laar untuk meniru penyimpangan ini.

**DISTILASI UAP: MENDIDIH DI BAWAH 100 °C**

Minyak atsiri dan air **tidak saling melarutkan**. Masing-masing menguap seolah-olah sendirian, sehingga tekanan uap total adalah jumlah tekanan uap keduanya (hukum Dalton): $P = p_{\text{air}}^{\circ} + p_{\text{minyak}}^{\circ}$. Campuran mendidih ketika jumlah itu mencapai tekanan udara luar, yaitu pada suhu *di bawah* titik didih air. Molekul wangi yang titik didihnya 250 °C pun ikut tersuling di bawah 100 °C tanpa terurai.

$$\frac{m_{\text{minyak}}}{m_{\text{air}}} = \frac{p_{\text{minyak}}^{\circ} M_{\text{minyak}}}{p_{\text{air}}^{\circ} M_{\text{air}}}$$

Karena tekanan uap patchoulol sangat kecil pada suhu itu, setiap kilogram uap air hanya membawa sedikit minyak. Itulah sebabnya penyulingan nilam berlangsung berjam-jam dan menghabiskan banyak kayu bakar.

3.5 Kromatografi kertas: lomba lari para pewarna

**Tebak Dulu!**

Setitik tinta spidol hitam (yang larut air) ditotolkan di tisu, lalu ujung tisu dicelupkan ke air. Apa yang terlihat setelah air merambat naik?

Titik hitam melebar menjadi lingkaran hitam yang lebih besar.

Titik hitam luntur dan hilang tanpa bekas.

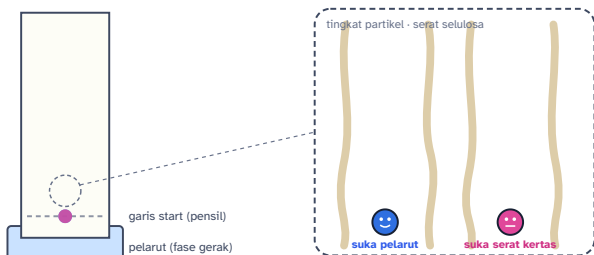
Titik hitam tetap diam karena tinta tidak larut.

Muncul pita-pita warna lain, misalnya biru, ungu, dan kuning, pada ketinggian berbeda.

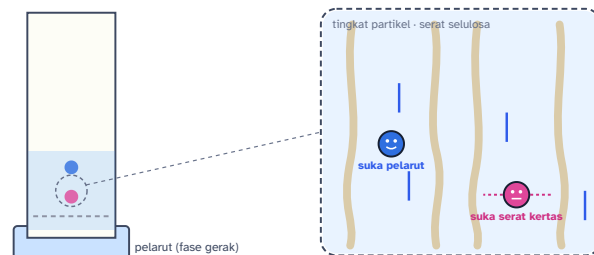
Jawabannya: muncul pita-pita warna. Tinta hitam biasanya campuran beberapa pewarna. Air membawa setiap pewarna dengan kecepatan berbeda, sehingga warna-warna itu memisah seperti pelangi kecil. Itulah kromatografi!

Kromatografi memisahkan komponen campuran berdasarkan perbedaan "kesetiaan" mereka pada dua fase. **Fase diam** adalah bahan yang tidak bergerak (pada kromatografi kertas: serat selulosa kertas beserta air yang terikat padanya). **Fase gerak** (eluen) adalah pelarut yang merambat naik melewati fase diam. Komponen yang lebih mudah larut dalam fase gerak dan kurang tertarik pada fase diam berlari lebih jauh.

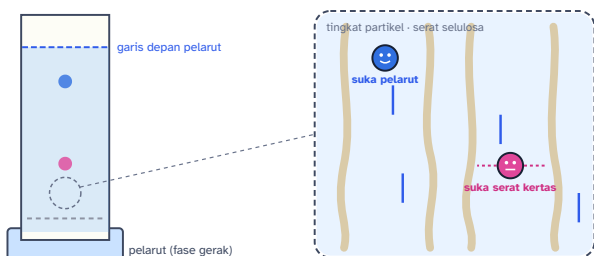
Bahasa sederhana • Bayangkan lomba lari di jalan yang ramai pedagang jajanan. Pelari A tidak tertarik jajan, jadi ia terus berlari bersama rombongan. Pelari B sering berhenti di setiap gerobak bakso. Setelah lima menit, A sudah jauh di depan dan B tertinggal. Pewarna yang "suka berhenti" di serat kertas tertinggal di bawah, sedangkan pewarna yang "suka ikut arus" pelarut melaju ke atas.



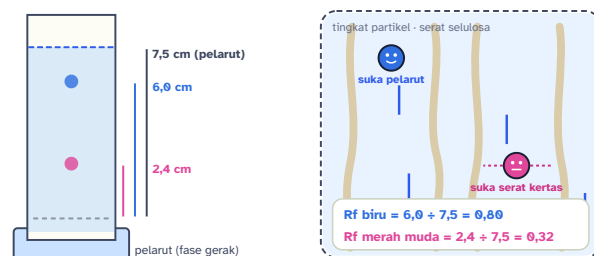
Langkah 1. Setetes campuran dua pewarna (tampak ungu) ditotolkan di atas garis start pensil. Di tingkat partikel, molekul biru dan molekul merah muda masih bercampur di antara serat selulosa kertas.



Langkah 2. Pelarut (fase gerak) merambat naik lewat celah-celah serat. Setiap molekul pewarna terus "bimbang": larut dan terbawa arus, atau menempel pada serat (fase diam)?



Langkah 3. Molekul biru lebih suka larut, jadi lebih sering ikut arus dan melaju jauh. Molekul merah muda lebih sering menempel, jadi tertinggal. Campuran pun terpisah menjadi dua noda.



Langkah 4. Ukur semuanya dari garis start: pelarut 7,5 cm, noda biru 6,0 cm, noda merah muda 2,4 cm. R_f biru = $6,0 / 7,5 = 0,80$ dan R_f merah muda = $2,4 / 7,5 = 0,32$.



DEFINISI • NILAI R_f

Nilai R_f (*retardation factor*, faktor retardasi) adalah perbandingan jarak tempuh noda dengan jarak tempuh pelarut, keduanya diukur dari garis start:

$$R_f = \frac{\text{jarak noda dari garis start}}{\text{jarak garis depan pelarut dari garis start}}$$

R_f tidak bersatuan dan selalu bernilai antara 0 dan 1. Pada kertas, pelarut, dan suhu yang sama, suatu zat selalu memberi R_f yang sama. Karena itu R_f dipakai untuk mengenali zat dengan membandingkannya dengan zat standar.

$$R_f = \frac{d_{\text{noda}}}{d_{\text{pelarut}}}$$

Seberapa jauh noda ikut berlari, dibandingkan dengan jarak yang ditempuh pelarut.

 d_{noda}

Jarak noda dari garis start cm

 d_{pelarut}

Jarak garis depan pelarut cm

 R_f Nilai R_f NILAI R_f **0,64**

cocok dengan Ponceau 4R, pewarna merah yang diizinkan

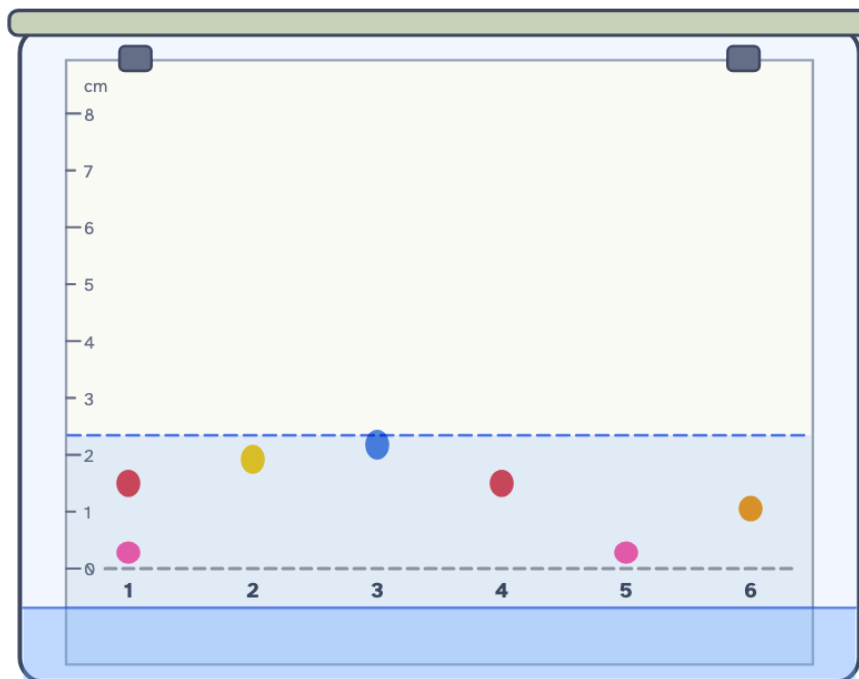
Noda menempuh **64** % dari jarak tempuh pelarut.

Cek satuan: cm ÷ cm = tanpa satuan

RUMUS HIDUP: GESER NILAINYA DAN KUMPULKAN KARTUNYA DI [AURUMGEN.MY.ID/CHEMIPEDIA#RM-RF-KROMATOGRAPHI](https://aurumgen.my.id/chemipedia#rm-rf-kromatografi)

**TRIK KAK TIRTA**

Pelarut adalah "bus" yang membawa semua penumpang naik. Tak ada penumpang yang bisa turun lebih jauh dari tempat bus berhenti, jadi R_f tidak mungkin lebih dari 1. Kalau hitunganmu memberi R_f 1,3, kamu pasti terbalik membagi! Ingat urutannya: **noda di atas, pelarut di bawah**.



Lajur

- 1 • Sampel
Sirup stroberi C
- 2 • T • Tartrazin
✓ diizinkan untuk pangan
- 3 • B • Biru bertian
✓ diizinkan untuk pangan
- 4 • P • Ponceau 4R
✓ diizinkan untuk pangan
- 5 • RhB • Rhodamin B
✗ dilarang untuk pangan
- 6 • KM • Kuning metanil
✗ dilarang untuk pangan

Tekan ►, lalu tunggu pelarut naik.

Jarak pelarut

2,3 cm

Jarak noda terpilih

—

R_f noda terpilih

—

Noda terpilih

ketuk sebuah noda

Keadaan

Pelarut merambat naik...

Pilih sampel jajanan dan pelarut, lalu tekan ►. Lajur 1 berisi sampel; lajur 2–6 berisi pewarna standar. Setelah pelarut berhenti, **ketuk sebuah noda** untuk mengukur jarak dan R_f -nya. Sampel mana yang mengandung pewarna terlarang? Lalu nyalakan kesalahan "pulpen" atau "pelarut terlalu tinggi" dan lihat akibatnya. (Nilai R_f di sini adalah ilustrasi; nilai nyata bergantung pada kertas, pelarut, dan suhu.)



AWAS JEBAKAN

Garis start kromatografi selalu digambar dengan pensil, dan permukaan pelarut harus berada di bawahnya. Grafit pensil tidak larut, sedangkan tinta pulpen akan ikut berlari dan mengacaukan hasil. Kalau pelarut menyentuh noda, pewarnanya larut ke dalam wadah dan tidak naik ke kertas. Tutup wadah agar udara di dalamnya jenuh uap pelarut, dan angkat kertas sebelum pelarut mencapai ujung atas.



TAMU DARI MASA LALU · "MENULIS DENGAN WARNA"

Pada 1906, ahli botani Rusia **Mikhail Tsvet** menuangkan ekstrak daun ke dalam tabung kaca berisi serbuk kapur (kalsium karbonat). Saat pelarut dialirkan, pigmen daun terpisah menjadi pita-pita hijau dan kuning. Ia menamai teknik itu *kromatografi*, dari bahasa Yunani *chroma* (warna) dan *graphein* (menulis). Kebetulan yang lucu: dalam bahasa Rusia, *tsvet* berarti "warna"! Pada 1952, Archer Martin dan Richard Synge meraih Nobel Kimia karena mengembangkan kromatografi partisi, nenek moyang kromatografi kertas dan kromatografi gas.



KIMIA NUSANTARA · BPOM MEMBURU RHODAMIN B

Rhodamin B adalah pewarna tekstil dan kertas berwarna merah muda menyala yang **dilarang** untuk pangan, demikian pula kuning metanil. Namun, keduanya kadang masih ditemukan pada kerupuk, terasi, saus, dan jajanan pasar karena murah dan warnanya mencolok. Bila sering tertelan, zat ini dapat mengganggu fungsi hati. Petugas BPOM dan dinas kesehatan menguji sampel jajanan dengan kit uji cepat dan kromatografi lapis tipis (KLT), saudara dekat kromatografi kertas: bila noda sampel memiliki warna dan R_f yang sama dengan standar Rhodamin B, sampel itu patut dicurigai dan diuji lebih lanjut. Waspada! Makanan yang warnanya merah muda terlalu mencolok, berpendar, dan tidak merata.

KERJAKAN BERSAMA

Saus yang mencurigakan

Laras menguji saus jajanan dengan kromatografi kertas (pelarut: air garam 1%). Garis depan pelarut 7,5 cm dari garis start. Sampel memberi dua noda: noda merah muda pada 0,9 cm dan noda merah pada 4,8 cm. Pada kertas dan pelarut yang sama, standar memberi R_f : Rhodamin B 0,12; kuning metanil 0,45; Ponceau 4R 0,64; tartrazin 0,82. Apa kesimpulannya?

- 1 Hitung R_f noda merah muda: $0,9/7,5 = 0,12$.
- 2 Hitung R_f noda merah: $4,8/7,5 = 0,64$.
- 3 Cocokkan dengan standar (warna dan R_f harus sama): 0,12 cocok dengan Rhodamin B; 0,64 cocok dengan Ponceau 4R.
- 4 Supaya lebih yakin, ulangi dengan pelarut lain. Dua zat berbeda jarang sekali memiliki R_f yang sama di dua pelarut berbeda.

Saus mengandung Ponceau 4R (diizinkan) dan diduga kuat mengandung Rhodamin B (terlarang). Sampel perlu dilaporkan dan dikonfirmasi di laboratorium.



Latihan kilat 60 detik dengan soal acak dan rekor pribadi.

$R_f = \text{jarak noda} \div \text{jarak pelarut}$. Contoh: $3 \text{ cm} \div 6 \text{ cm} = 0,5$.



R_F , KOEFISIEN PARTISI, DAN SAUDARA-SAUDARA KROMATOGRAFI

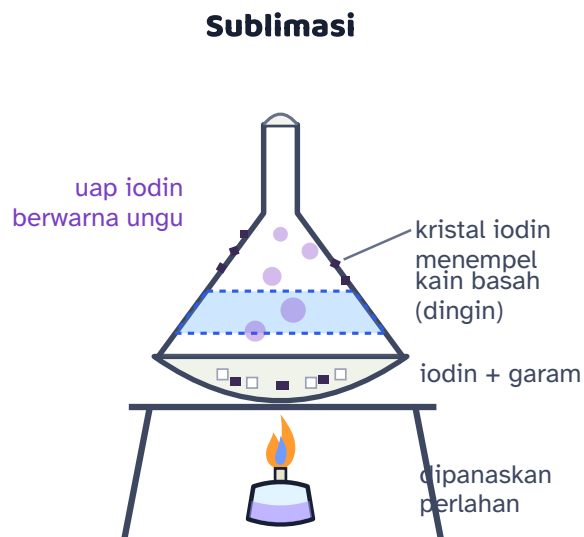
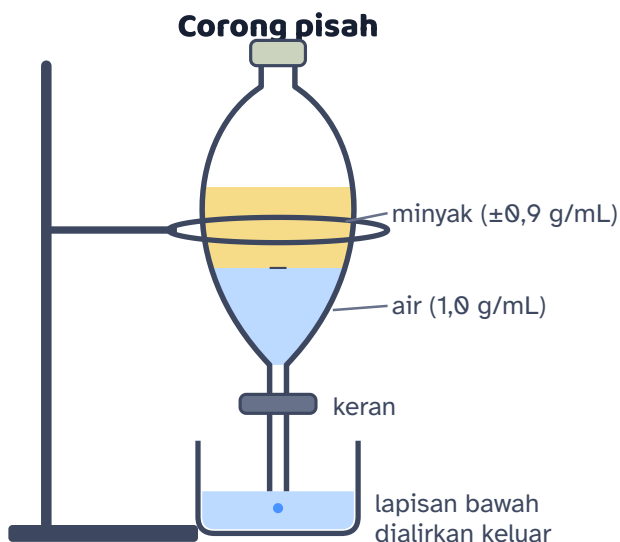
Dalam kromatografi partisi, setiap molekul zat terus berpindah antara fase gerak (m) dan fase diam (s). Perbandingan konsentrasinya saat setimbang adalah koefisien partisi $K = c_s/c_m$. Bagian waktu yang dihabiskan molekul di fase gerak menentukan kecepatannya relatif terhadap pelarut:

$$R_f = \frac{A_m}{A_m + K A_s} = \frac{1}{1 + K (A_s / A_m)}$$

dengan A_m dan A_s luas penampang fase gerak dan fase diam. Zat yang sangat terikat pada fase diam (K besar) memiliki R_f kecil. Prinsip yang sama dipakai di **KLT** (lapisan silika di atas kaca atau aluminium), **HPLC** (kolom bertekanan tinggi, untuk menguji kadar obat dan vitamin), dan **kromatografi gas** (untuk analisis minyak atsiri dan uji doping). Zat tak berwarna, misalnya asam amino, dilihat dengan *pereaksi penampak noda* seperti ninhidrin (memberi noda ungu) atau dengan sinar ultraviolet.

3.6 Corong pisah, ekstraksi, sublimasi, dan uji kemurnian

Minyak goreng dan air tidak bercampur. Keduanya membentuk dua lapisan karena massa jenisnya berbeda: minyak ($\pm 0,9 \text{ g/mL}$) mengapung di atas air ($1,0 \text{ g/mL}$). Alat untuk memisahkan dua cairan seperti ini adalah **corong pisah**: keran di bagian bawah dibuka perlahan sampai seluruh lapisan bawah mengalir keluar, lalu keran ditutup tepat ketika batas lapisan mencapainya.



Kiri: corong pisah memisahkan dua cairan yang tidak bercampur berdasarkan massa jenisnya. Kanan: iodin menyublim saat dipanaskan perlahan, lalu uapnya mengkristal kembali di dinding corong yang dingin, sedangkan garam tertinggal di cawan (dilakukan guru di lemari asam).



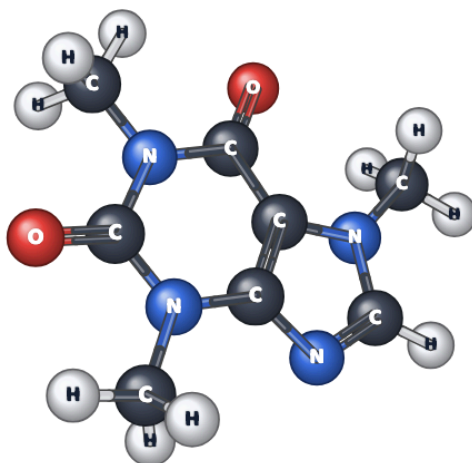
AWAS JEBAKAN

Lapisan minyak atau pelarut organik tidak selalu berada di atas. Diklorometana (massa jenis 1,33 g/mL) justru tenggelam di bawah air! Untuk memastikan, teteskan sedikit air ke corong dan lihat lapisan mana yang bertambah. Saat mengocok pelarut yang mudah menguap di corong pisah, balikkan corong dan buka kerannya sesekali (mengarah menjauhi wajah) untuk membuang tekanan uap.

Ekstraksi adalah pemindahan suatu zat dari satu fase ke pelarut lain yang lebih "disukainya". Kamu melakukannya setiap pagi! Menyeduh teh atau kopi adalah ekstraksi padat-cair: air panas melarutkan kafein, zat warna, dan zat aroma dari daun teh atau bubuk kopi, sedangkan ampasnya tertinggal. Membuat jamu kunyit juga ekstraksi: kurkumin yang kuning lebih mudah larut dalam etanol atau minyak daripada dalam air. Pabrik kopi tanpa kafein memakai CO_2 superkritis (Bab 2) untuk mengekstraksi kafein tanpa meninggalkan sisa pelarut.

MOLEKUL 3D

Siapa yang diekstraksi, siapa yang menyublim?



Seret untuk memutar · ketuk atom untuk mengukur

Kafein $C_8H_{10}N_4O_2$ Mr $\approx 194,19$ PubChem ↗

Stimulan pada kopi Gayo, Toraja, dan Kintamani, juga pada teh. Membuat mata melek dengan menghalangi adenosin.

Kafein (kopi, teh) cukup larut dalam air panas. Kurkumin (kunyit) lebih suka etanol daripada air. Betakaroten (wortel, minyak sawit merah) hanya larut dalam minyak, karena molekulnya hampir seluruhnya C dan H. Naftalena (kapur barus) menyublim pada suhu kamar. Putar dan bandingkan gugus-gugusnya: mana yang punya banyak atom O atau N?

Sublimasi memisahkan zat yang dapat berubah langsung dari padat menjadi gas (dan sebaliknya) dari zat yang tidak menyublim. Campuran dipanaskan perlahan, uap zat yang menyublim naik lalu mengkristal kembali (deposisi) di permukaan yang dingin. Iodin (, uapnya ungu) dan naftalena dapat dipisahkan dari garam atau pasir dengan cara ini. Kamu juga sudah bertemu sublimasi di Bab 2: kapur barus di lemari yang makin mengecil tanpa meninggalkan genangan.



KIMIA NUSANTARA · ASAL NAMA "KAPUR BARUS"

Berabad-abad lalu, kristal kamper alami dari pohon kapur (*Dryobalanops aromatica*) di Sumatra menjadi barang dagangan yang sangat mahal. Para pedagang dari Arab, India, dan Tiongkok membelinya di pelabuhan Barus, di pesisir barat Sumatra Utara. Dari sinilah nama **kapur barus** berasal. Kapur barus pengusir ngengat yang dijual sekarang umumnya naftalena buatan pabrik, tetapi namanya tetap mengenang kejayaan Barus.

Setelah dipisahkan, bagaimana kita tahu zatnya sudah murni? Zat murni memiliki **titik leleh dan titik didih yang tajam dan tertentu**. Pengotor menurunkan titik leleh dan membuatnya meleleh dalam rentang suhu yang lebar. Pengotor yang tidak menguap menaikkan titik didih. Kromatografi juga dapat dipakai: zat murni memberi satu noda saja, bahkan bila diuji dengan beberapa pelarut berbeda.



DEFINISI · ZAT MURNI

Zat murni hanya tersusun atas satu jenis zat (unsur atau senyawa). Zat murni meleleh dan mendidih pada suhu yang tetap dan tajam (rentang $\leq \pm 1^\circ\text{C}$), sedangkan campuran meleleh dan mendidih dalam rentang suhu.

Zat	Titik leleh zat murni	Contoh bila tidak murni
Es (air)	0°C , tajam	es air laut mulai mencair pada $\pm 2^\circ\text{C}$
Aspirin	$\pm 135^\circ\text{C}$	sampel kurang murni: $128\text{--}133^\circ\text{C}$ (rentang lebar)
Naftalena	80°C	bercampur pengotor: $75\text{--}79^\circ\text{C}$
Lilin parafin	tidak tajam	$\pm 46\text{--}68^\circ\text{C}$, karena parafin adalah campuran banyak alkana

KERJAKAN BERSAMA

Merancang pemisahan kapur barus, garam, dan pasir

Adik Laras tidak sengaja mencampur serbuk kapur barus (naftalena), garam dapur, dan pasir. Rancang langkah untuk memperoleh ketiganya kembali. Petunjuk: naftalena tidak larut dalam air dan mudah menyublim.

- 1 Cari sifat yang paling khas: hanya naftalena yang menyublim. Panaskan campuran perlahan di cawan yang ditutup corong terbalik berkain basah (oleh guru, di lemari asam). Naftalena mengkristal di dinding corong.
- 2 Sisa (garam + pasir) dilarutkan dalam air dan diaduk: garam larut, pasir tidak.
- 3 Saring: pasir tertinggal sebagai residu; bilas dan keringkan.
- 4 Uapkan filtrat sampai kristal garam muncul.

Urutannya: sublimasi → pelarutan → penyaringan → penguapan. Urutan lain (larutkan dan saring dulu, lalu sublimasikan naftalena dari residu yang sudah dikeringkan) juga bisa. Coba keduanya di Lab Mini "Teka-teki Alur Pemisahan" di subbab 3.2.

**EKSTRAKSI BERTAHAP: SEDIKIT-SEDIKIT, LAMA-LAMA BERSIH**

Bila suatu zat terbagi di antara pelarut organik dan air dengan koefisien partisi $K = c_{\text{organik}}/c_{\text{air}}$, bagian yang tersisa di air setelah satu kali ekstraksi dengan volume V_o adalah $\frac{V_a}{V_a + KV_o}$. Bila pelarut yang sama dibagi menjadi n bagian dan dipakai n kali, sisanya menjadi

$$\frac{m_{\text{sis}}}{m_0} = \left(\frac{V_a}{V_a + K V_o/n} \right)^n$$

Contoh: $K = 4$, $V_a = 100$ mL, total $V_o = 60$ mL. Sekali ekstraksi: sisa $100/(100 + 240) = 29\%$. Tiga kali 20 mL: sisa $(100/180)^3 = 17\%$. Pelarut sama banyak, hasil jauh lebih baik!

$$\% \text{ sisa} = \left(\frac{V_a}{V_a + K V_o / n} \right)^n \times 100\%$$

Pelarut yang sama, dibagi menjadi beberapa kali ekstraksi kecil, menarik lebih banyak zat daripada sekali ekstraksi besar.

K Koefisien partisi (organik : air)

V_a Volume lapisan air mL

V_o Total pelarut organik mL

n Banyaknya ekstraksi kali

% sisa Zat yang tertinggal di air %

ZAT YANG TERTINGGAL DI AIR

29,4
%

sekali ekstraksi: coba bagi pelarutnya menjadi tiga bagian!

Setelah 1 kali ekstraksi, **70,588** % zat sudah pindah ke pelarut organik.

Cek satuan: mL ÷ mL: tanpa satuan, lalu × 100%

RUMUS HIDUP: GESER NILAINYA DAN KUMPULKAN KARTUNYA DI AURUMGEN.MY.ID/CHEMIPEDIA#RM-EKSTRAKSI-BERTAHAP

Kimia di sekitarmu



Pengolahan air PDAM

Air sungai diberi tawas agar kotoran menggumpal, diendapkan di bak besar, disaring melalui lapisan pasir, lalu diberi klorin untuk membunuh kuman. Empat langkah, empat sifat!



Laboratorium klinik

Darah diputar dalam sentrifus sampai terpisah menjadi plasma kekuningan di atas dan sel darah merah di bawah, lalu masing-masing diperiksa.



Pabrik gula tebu

Penguapan, kristalisasi dalam panci vakum, lalu sentrifugasi untuk memisahkan kristal gula dari tetes tebu (molase).



Penyulingan minyak atsiri

Nilam di Aceh, kayu putih di Buru, serai wangi, dan daun cengkeh disuling dengan uap air untuk parfum, obat gosok, dan pengusir nyamuk alami.



Kilang minyak

Menara fraksionasi memisahkan minyak mentah menjadi LPG, bensin, avtur, solar, oli, dan aspal berdasarkan titik didihnya.



Forensik dan BPOM

Kromatografi mengungkap tinta yang dipakai memalsukan dokumen, pewarna terlarang di jajanan, dan kadar obat dalam jamu yang dicampur bahan kimia obat.

⚡ Cek Cepat

Campuran minyak goreng dan air paling tepat dipisahkan dengan ...

penyaringan

corong pisah

magnet

kromatografi

Pada kromatografi kertas, noda bergerak 4,5 cm dan garis depan pelarut 9,0 cm dari garis start. Nilai R_f noda itu adalah ...

2,0

0,45

4,5

0,50

Pada distilasi, di manakah ujung termometer diletakkan?

Sejajar lubang samping labu, tempat uap menuju kondensor

Tercelup di dalam cairan yang mendidih

Di ujung kondensor

Di dalam labu penampung

Kunci Cek Cepat: 1. B • 2. D • 3. A



Tantangan Rumah: pelangi dari spidol hitam

Bahan: kertas saring kopi atau tisu tebal, spidol hitam berbasis air (bukan spidol permanen), beberapa spidol warna lain, gelas bening, air, pensil, penggaris, penjepit jemuran atau sedotan, gunting. Opsional: alkohol 70% (antiseptik) sebagai pelarut kedua.

1. Potong kertas menjadi pita selebar ± 3 cm dan sepanjang ± 12 cm. Tarik garis start dengan **pensil** 2 cm dari ujung bawah.
2. Buat titik kecil tetapi pekat dengan spidol hitam di garis start. Ulangi untuk spidol lain di pita lain.
3. Isi gelas dengan air setinggi ± 1 cm (harus di bawah garis start). Gantungkan pita dengan penjepit di bibir gelas sehingga ujung bawahnya tercelup.
4. Tunggu 10–15 menit tanpa digoyang. Angkat sebelum air mencapai ujung atas, lalu tandai garis depan air dengan pensil.
5. Keringkan, ukur jaraknya, dan hitung R_f setiap warna.

Keselamatan: lakukan bersama orang dewasa. Alkohol 70% mudah terbakar: jauhkan dari kompor, lilin, dan korek api, pakai di ruangan berventilasi, dan jangan diminum. Hati-hati memakai gunting. Cuci tangan setelah selesai, dan buang sisa cairan ke wastafel dengan banyak air.

Pertanyaan: Pewarna apa saja yang tersembunyi di spidol hitam? Apakah urutan warnanya berubah bila air diganti alkohol 70%? Mengapa?

Tantangan Rumah: penjernih air dari botol bekas

Bahan: botol plastik bekas 1,5 L, kapas, arang kayu yang ditumbuk kasar (atau arang aktif akuarium), pasir halus, kerikil kecil, segelas air keruh (air dicampur sedikit tanah), gelas bening.

1. Minta orang dewasa memotong dasar botol. Balikkan botol (tutup di bawah) dan lubangi tutupnya beberapa kali dengan paku panas atau minta bantuan orang dewasa.
2. Susun dari bawah ke atas: kapas, arang, pasir halus, kerikil. Bilas susunannya dengan air bersih dulu sampai air yang keluar tidak hitam.
3. Tuang air keruh perlahan dan tampung air yang menetes. Bandingkan kejernihannya dengan air awal.

Keselamatan: pemotongan botol dan pelubangan tutup dilakukan orang dewasa. Air hasil saringan ini **bukan air minum** (kuman dan zat terlarut bisa lolos); gunakan untuk menyiram tanaman. Cuci tangan setelah memegang tanah dan arang.

Pertanyaan: Lapisan mana yang menahan butir besar, dan lapisan mana yang menahan butir halus? Mengapa arang bisa membuat air lebih jernih dan kurang berbau (petunjuk: arang punya banyak pori yang menyerap zat)?

RINGKASAN KILAT Bab 3 dalam 3 menit

Kamu sekarang bisa...

- menjelaskan bahwa setiap teknik pemisahan memanfaatkan **perbedaan sifat fisika** komponen campuran (ukuran partikel, kelarutan, titik didih, sifat magnet, massa jenis)
- memilih dan menyusun urutan teknik pemisahan (**penyaringan, dekantasi, sentrifugasi, magnet, penguapan, kristalisasi**) untuk campuran sehari-hari
- menjelaskan **distilasi sederhana, bertingkat, dan distilasi uap**, serta membaca dataran suhu pada kurva distilasi
- melakukan **kromatografi kertas** dan menghitung nilai R_f untuk mengenali zat warna, termasuk pewarna terlarang
- memakai **corong pisah, ekstraksi, dan sublimasi**, serta menguji kemurnian zat dari titik leleh dan titik didihnya

Istilah kunci

Campuran Campuran homogen Campuran heterogen Residu Filtrat sentrifugasi
kristalisasi Larutan jenuh Kristalisasi Distilasi kondensor destilat
distilasi bertingkat kolom fraksionasi Kromatografi Fase diam

Rumus penting

$$\% \text{ perolehan} = \frac{m_{\text{diperoleh}}}{m_{\text{awal}}} \times 100\%$$

Persen perolehan (rendemen). Berapa bagian zat yang berhasil kita selamatkan dari campuran, dinyatakan dalam persen.

$$m_{\text{NaCl}} = V \times \rho \times \frac{w}{100}$$

Garam dari air laut. Massa garam = volume air laut × massa jenisnya × kadar NaCl-nya.

$$R_f = \frac{d_{\text{noda}}}{d_{\text{pelarut}}}$$

Nilai R_f. Seberapa jauh noda ikut berlari, dibandingkan dengan jarak yang ditempuh pelarut.

$$\% \text{ sisa} = \left(\frac{V_a}{V_a + K V_o / n} \right)^n \times 100\%$$

Sisa zat setelah ekstraksi bertahap. Pelarut yang sama, dibagi menjadi beberapa kali ekstraksi kecil, menarik lebih banyak zat daripada sekali ekstraksi besar.

⚠ Jangan sampai terjebak

- Senyawa tidak dapat dipisahkan dengan cara fisika.
- Urutan langkah pemisahan menentukan hasil.
- Menguapkan sampai kering bukan selalu cara terbaik.

📄 Tangga Latihan: 24 soal bab ini (Lv 1 Pemula sampai Lv 6 Olimpiade) ada di PDF Bank Soal dan di aurumgen.my.id/chemipedia#soal?bab=3

🧩 Teka-teki untuk Bab 4

Laras mengukur noda pewarna pada kertas kromatografi: noda 4,65 cm, pelarut 7,50 cm, sehingga $R_f = 0,62$. Bima mengukur kertas yang sama dengan penggarisnya dan mendapat 4,6 cm dan 7,5 cm, sehingga $R_f = 0,613 \dots$. Siapa yang lebih benar? Seberapa yakin kita pada angka 0,62 itu, dan bagaimana ilmuwan menulis "kira-kira" dengan jujur?

▼ Intip petunjuk

Setiap pengukuran punya **ketidakpastian**. Penggaris berskala milimeter hanya bisa dibaca sampai $\pm 0,05$ cm. Akibatnya R_f Laras sebaiknya ditulis $0,62 \pm 0,01$, dan hasil Bima pun masih "sama" dalam batas ketidakpastian itu. Di Bab 4 kamu akan belajar angka penting, ketelitian, ketepatan, dan cara menuliskan ketidakpastian.

04 Pengukuran dalam Kimia: Angka yang Jujur

Timbangan dapur berkata 5 gram, neraca sekolah berkata 5,07 gram, dan keduanya tidak berbohong. Di bab ini kamu belajar membaca alat ukur seperti analis laboratorium dan menulis angka yang jujur tentang seberapa yakin kamu.



Setelah bab ini, kamu bisa

- menyebutkan **besaran pokok SI** yang dipakai kimia dan mengubah suhu Celsius ke **kelvin**;
- mengonversi satuan berawalan (mg, μL , dm^3 , nm, ppm) dan menulis bilangan dalam **notasi ilmiah**;
- menentukan jumlah **angka penting** dan membulatkan hasil perhitungan dengan benar;
- membedakan **ketepatan** dan **ketelitian**, membaca meniskus dan buret, serta menghitung ketidakpastian dan galat;
- menghitung **massa jenis** dan memakainya untuk meramal benda mengapung atau tenggelam, bahkan menguji keaslian emas.

LIMA GRAM ATAU 5,07 GRAM?

KOMIK • 4 PANEL

Sabtu sore, di dapur rumah Bima

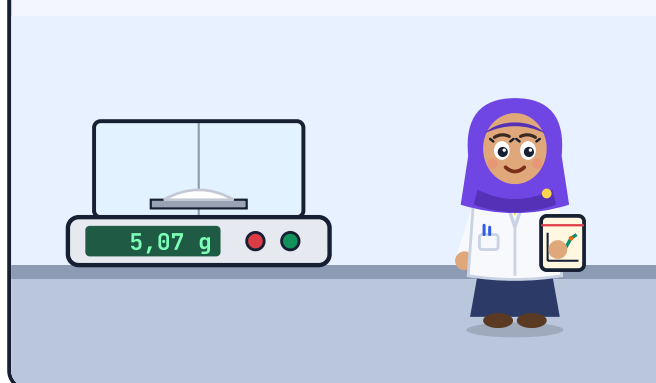
BIMA

Garamnya pas 5 gram! Timbangan dapur Ibu tidak pernah bohong.



LARAS

Garam yang sama di neraca sekolah: 5,07 g. Jadi timbanganmu salah, Bim?



KAK TIRTA

Dua-duanya benar! Timbangan dapur hanya teliti sampai 1 gram, neraca sekolah sampai 0,01 gram. Angka yang kamu tulis harus jujur tentang alatnya.



5 g

timbangan dapur · ±1 g

5,07 g

neraca sekolah · ±0,01 g

TING!

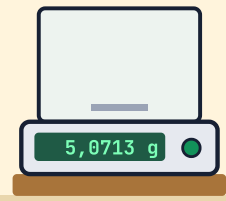
Kimo ikut nimbrung...

KIMO

Neraca analitik membaca sampai 0,0001 g, kira-kira massa sebutir-dua butir garam halus. Makanya ia dikurung kaca: napasmu saja bisa menggeser angkanya!

BIMA

Jadi setiap angka punya "tingkat keyakinan"...



Tebak Dulu!

Laras menulis massa garamnya 5,07 g. Berapa sebenarnya massa garam itu?

Tepat 5,07 g, tidak lebih dan tidak kurang sedikit pun.

Sekitar 5,06 g sampai 5,08 g; angka 7 di ujung adalah taksiran terbaik neraca.

Antara 5 g dan 6 g, sama saja dengan hasil timbangan dapur.

Tidak bisa diketahui, karena timbangan digital sering salah.

Jawabannya: sekitar 5,06–5,08 g. Tidak ada pengukuran yang sempurna. Neraca yang menampilkan dua desimal hanya yakin sampai ±0,01 g, jadi hasilnya ditulis 5,07 ± 0,01 g. Timbangan dapur yang berkata "5 g" berarti kira-kira 4 g sampai 6 g. Keduanya benar, tetapi neraca sekolah ±100 kali lebih teliti. Bab ini mengajarkan cara menulis "seberapa yakin" itu dengan angka.

4.1 Mengukur: angka, satuan, dan Sistem Internasional

Kimia adalah ilmu yang suka menimbang, menakar, dan mencatat. Resep obat, kadar gula darah, kandungan yodium dalam garam, dan mutu bensin semuanya bergantung pada pengukuran yang baik. Mengukur berarti **membandingkan** sesuatu dengan satuan yang sudah disepakati.

Bahasa sederhana • Bayangkan kamu mengukur panjang meja dengan jengkal: hasilnya 5 jengkal. Temanmu yang tangannya lebih besar mendapat 4 jengkal. Siapa yang benar? Supaya semua orang di dunia mendapat angka yang sama, ilmuwan sepakat memakai "jengkal" yang sama untuk semua orang, yaitu meter, kilogram, dan detik. Kesepakatan itu disebut satuan SI.

Hasil pengukuran selalu terdiri atas **angka dan satuan**. "Tambahkan garam 2" tidak bermakna: 2 gram? 2 sendok? 2 kilogram? Angka tanpa satuan bisa membuat masakan keasinan, atau lebih buruk lagi, obat yang salah dosis.



DEFINISI • BESARAN POKOK DAN SATUAN SI

Besaran pokok adalah besaran yang satuannya ditetapkan lebih dulu dan tidak diturunkan dari besaran lain. **Satuan SI** (Système International d'Unités) adalah sistem satuan yang disepakati seluruh dunia, dengan tujuh besaran pokok. Besaran lain, seperti volume dan massa jenis, disebut **besaran turunan** karena satuannya disusun dari satuan pokok.

Besaran pokok	Lambang	Satuan SI	Lambang satuan	Contoh di kimia
Panjang	l	meter	m	panjang ikatan, ukuran partikel (nm)
Massa	m	kilogram	kg	menimbang pereaksi (sering dalam gram)
Waktu	t	sekon	s	laju reaksi
Suhu termodinamika	T	kelvin	K	hukum gas, termokimia
Jumlah zat	n	mol	mol	menghitung partikel (Bab 17)
Kuat arus listrik	I	ampere	A	elektrolisis dan penyepuhan
Intensitas cahaya	I_v	kandela	cd	jarang dipakai di kimia

Kimiawan juga memakai beberapa satuan yang bukan SI tetapi diterima luas: **liter** (L) untuk volume, **gram** untuk massa kecil, dan **derajat Celsius** ($^{\circ}\text{C}$) untuk suhu sehari-hari. Besaran **jumlah zat** diukur dalam **mol**: satu mol berisi $6,022 \times 10^{23}$ partikel. Kita akan berkenalan akrab dengan mol di Bab 17.

Suhu: Celsius dan kelvin

Apa yang sebenarnya diukur termometer? Partikel zat selalu bergerak: bergetar, berputar, dan berpindah tempat. **Suhu** menunjukkan rata-rata energi gerak partikel itu. Makin panas, makin "gelisah" partikelnya. Pada suhu terendah yang mungkin, **nol mutlak**, gerak partikel paling kecil dan energinya tidak bisa diturunkan lagi. Skala **kelvin** dimulai dari titik itu.

$$T (\text{K}) = t (^\circ\text{C}) + 273,15$$

RUMUS HIDUP

Celsius ke kelvin

$$T = t + 273,15$$

Suhu kelvin sama dengan suhu Celsius ditambah 273,15. Skala kelvin dimulai dari nol mutlak, sehingga tidak pernah negatif.

t

Suhu Celsius $^\circ\text{C}$

T

Suhu mutlak K

SUHU MUTLAK

298,15

K



suhu kamar

25 $^\circ\text{C}$ = 298,15 K. Naik 1 $^\circ\text{C}$ sama dengan naik 1 K, karena besar "anak tangganya" sama.

Satuan Nusantara: $\approx 96\%$ dari suhu tubuh $\cdot \approx 1,1 \times$ es mencair $\cdot \approx 80\%$ dari air mendidih

Cek satuan: $^\circ\text{C} + 273,15 \rightarrow \text{K}$ (tanpa tanda derajat) ✓

RUMUS HIDUP: GESER NILAINYA DAN KUMPULKAN KARTUNYA DI [AURUMGEN.MY.ID/CHEMIPEDIA#RM-UKUR-KELVIN](https://aurumgen.my.id/chemipedia#rm-ukur-kelvin)



AWAS JEBAKAN

Kelvin ditulis tanpa tanda derajat: 298 K, bukan 298 $^\circ\text{K}$. Ukuran satu "anak tangga" kelvin sama dengan satu derajat Celsius, jadi **kenaikan** 10 $^\circ\text{C}$ sama dengan kenaikan 10 K. Namun **suhu** 10 $^\circ\text{C}$ jelas tidak sama dengan 10 K (10 K itu -263°C , jauh lebih dingin daripada kutub mana pun di Bumi).



TAMU DARI MASA LALU

Selama 130 tahun (1889–2019), massa satu kilogram ditentukan oleh sebuah silinder logam platina-iridium seukuran bola pingpong yang disimpan di bawah tiga sungkup kaca di Sèvres, dekat Paris. Masalahnya, setiap kali ditimbang dan dibandingkan dengan salinannya, ada selisih puluhan mikrogram: entah silinder itu berkurang, entah salinannya bertambah! Sejak **20 Mei 2019**, kilogram didefinisikan dari sebuah tetapan alam, yaitu tetapan Planck, sehingga tidak bergantung lagi pada benda apa pun. Pada hari yang sama, definisi kelvin, mol, dan ampere juga diperbarui dengan cara serupa.



KIMIA NUSANTARA • ONS, KATI, DAN PETUGAS TERA

Di pasar Indonesia, "satu ons" berarti 100 gram, padahal ons dalam sistem Inggris hanya $\pm 28,35$ gram. Pedagang rempah zaman dulu juga memakai **kati** ($\pm 0,6$ kg) dan **pikul** (100 kati, ± 60 kg) saat menimbang cengkih dan pala. Supaya pembeli tidak dirugikan, timbangan di pasar wajib **ditera ulang** secara berkala oleh petugas metrologi legal; timbangan yang lulus diberi tanda tera. Standar nasional satuan ukuran Indonesia dijaga oleh Badan Standardisasi Nasional (BSN), agar 1 kilogram di Medan sama dengan 1 kilogram di Merauke.

4.2 Awalan dan konversi satuan

Kimiawan bekerja dari dunia yang sangat kecil (molekul berukuran nanometer) sampai yang sangat besar (pabrik pupuk berkapasitas jutaan ton). Supaya angkanya tidak kepanjangan, satuan diberi **awalan**, yaitu "kata pengali". Kilo berarti seribu, mili berarti seperseribu.

Awalan	Lambang	Pengali	Contoh di kimia dan sekitarmu
giga	G	10^9	daya pembangkit listrik besar (GW)
mega	M	10^6	energi pembakaran batu bara (MJ)
kilo	k	10^3	kg, km, kJ/mol
desi	d	10^{-1}	dm^3 (= 1 L)
senti	c	10^{-2}	cm^3 (= 1 mL)
mili	m	10^{-3}	mL, mg, mmol (cairan infus, dosis obat)
mikro	μ	10^{-6}	μL (pipet mikro), $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (debu PM _{2,5})
nano	n	10^{-9}	nm (ukuran molekul, panjang gelombang cahaya)
piko	p	10^{-12}	pm (panjang ikatan dan jari-jari atom)



ATURAN • KESETARAAN VOLUME YANG WAJIB HAFAL

$$1 \text{ L} = 1 \text{ dm}^3 = 1.000 \text{ mL} = 1.000 \text{ cm}^3 \quad 1 \text{ mL} = 1 \text{ cm}^3 (= 1 \text{ cc}) \quad 1 \text{ m}^3 = 1.000 \text{ L}$$

Gelas ukur di laboratorium memakai mL, buku IGCSE sering memakai cm^3 dan dm^3 . Isinya sama, hanya namanya berbeda.



Tebak Dulu!

Sebuah bak kubus berukuran $1 \text{ m} \times 1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ diisi penuh air. Berapa liter isinya?

1 liter

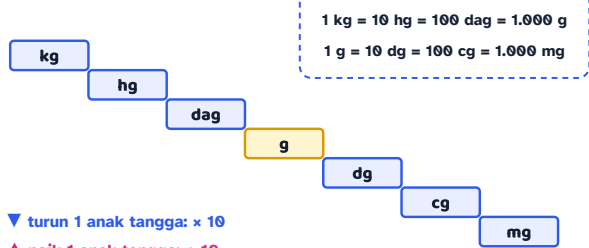
100 liter

1.000 liter

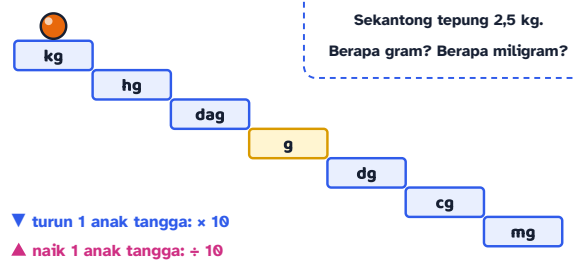
1.000.000 liter

Jawabannya: 1.000 liter. Satu liter adalah kubus bersisi 1 dm (10 cm). Bak bersisi 1 m = 10 dm, jadi muat $10 \times 10 \times 10 = 1.000$ kubus satu liter, kira-kira 52 galon air isi ulang. Banyak orang menebak 100 karena lupa bahwa volume punya *tiga* arah.

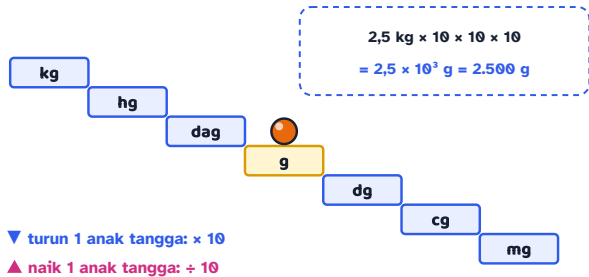
Anak SD di Indonesia sudah mengenal **tangga satuan**. Ternyata tangga itu adalah awalan SI yang disusun rapi. Ikuti kelereng jingga turun dan naik tangga:



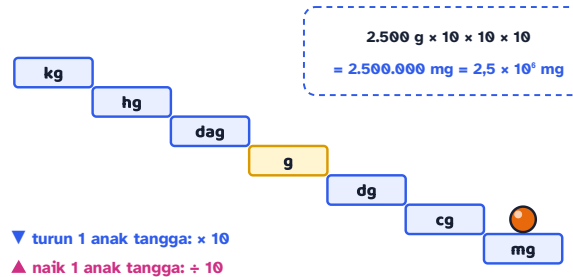
Langkah 1. Tangga satuan massa: kg, hg, dag, **g** (satuan dasar), dg, cg, mg. Setiap anak tangga berbeda 10 kali.



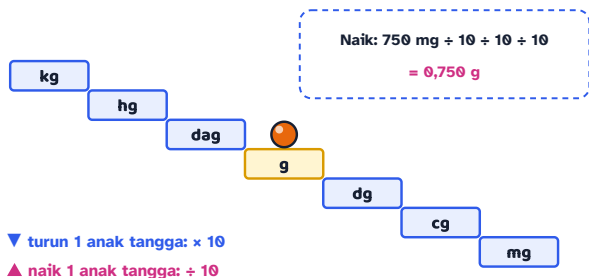
Langkah 2. Kelereng mulai dari 2,5 kg di puncak tangga. Kita ingin turun ke gram, lalu ke miligram.



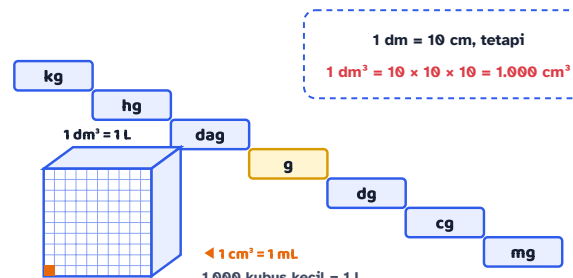
Langkah 3. Turun tiga anak tangga ke gram: kalikan $10 \times 10 \times 10 = 10^3$. Jadi $2,5 \text{ kg} = 2.500 \text{ g}$. Inilah arti awalan *kilo* (10^3).



Langkah 4. Turun tiga anak tangga lagi ke miligram: $2.500 \text{ g} \times 1.000 = 2.500.000 \text{ mg} = 2,5 \times 10^6 \text{ mg}$. Angka yang panjang ini lebih rapi dalam notasi ilmiah (subbab 4.3).



Langkah 5. Naik tangga berarti membagi. Tablet obat 750 mg naik tiga anak tangga: $750 \div 1.000 = 0,750 \text{ g}$.



Langkah 6. Hati-hati dengan satuan kubik! Panjang 1 dm = 10 cm, tetapi volume 1 dm³ berisi $10 \times 10 \times 10 = 1.000$ kubus 1 cm³. Untuk satuan volume, setiap anak tangga panjang bernilai 1.000 kali.

Cara yang paling aman untuk mengonversi adalah **faktor konversi**: pecahan yang pembilang dan penyebutnya sama besar, sehingga nilainya 1. Mengalikan dengan 1 tidak mengubah besaran, hanya mengganti satuannya.

$$250 \text{ mL} \times \frac{1 \text{ L}}{1.000 \text{ mL}} = 0,250 \text{ L} \quad 0,75 \text{ kg} \times \frac{1.000 \text{ g}}{1 \text{ kg}}$$



TRIK KAK TIRTA

"Satuan mengecil, angka membesar." Mengubah kg ke g (satuan lebih kecil), angkanya pasti jadi lebih besar. Lalu tulis satuan di setiap langkah dan coret yang sama di atas dan di bawah garis pecahan. Kalau yang tersisa bukan satuan yang diminta, berarti faktornya terbalik.



AWAS JEBAKAN

Awalan ikut dipangkatkan bersama satuannya. Karena $1\text{ cm} = 10^{-2}\text{ m}$, maka $1\text{ cm}^3 = (10^{-2}\text{ m})^3 = 10^{-6}\text{ m}^3$, bukan 10^{-2} m^3 . Begitu pula $1\text{ m}^2 = 10.000\text{ cm}^2$, bukan 100 cm^2 .

CONTOH Sirup obat batuk

Dokter meresepkan sirup 7,5 mL tiga kali sehari selama 5 hari. Berapa liter sirup yang dibutuhkan? Cukupkah sebotol sirup 100 mL?

- 1 Total volume: $7,5\text{ mL} \times 3 \times 5 = 112,5\text{ mL}$. (Angka 3 kali dan 5 hari adalah bilangan eksak hasil membilang.)
- 2 Ubah ke liter: $112,5\text{ mL} \times \frac{1\text{ L}}{1.000\text{ mL}} = 0,1125\text{ L}$.
- 3 Bandingkan: 112,5 mL lebih besar daripada 100 mL.

Dibutuhkan 0,1125 L (112,5 mL), jadi satu botol 100 mL tidak cukup. Pakailah sendok takar 5 mL atau gelas takar bawaan obat, bukan sendok makan yang isinya $\pm 15\text{ mL}$.

ppm: untuk zat yang sangat sedikit

Kadar zat yang sangat kecil, misalnya fluorida dalam air minum atau yodium dalam garam dapur, dinyatakan dalam **ppm** (*parts per million*, bagian per sejuta). 1 ppm berarti 1 gram zat dalam 1.000.000 gram campuran, atau 1 mg zat dalam 1 kg campuran. Untuk larutan encer dalam air, $1\text{ ppm} \approx 1\text{ mg per liter}$, karena 1 L air bermassa $\pm 1\text{ kg}$.

Kadar dalam ppm (bagian per sejuta)

$$\text{ppm} = \frac{m_{\text{zat}} \text{ (mg)}}{m_{\text{campuran}} \text{ (kg)}}$$

Berapa miligram zat terdapat di setiap kilogram campuran. Untuk air encer, $1 \text{ kg} \approx 1 \text{ L}$, jadi $1 \text{ ppm} \approx 1 \text{ mg/L}$.

m_{zat} Massa zat mg

m_{campuran} Massa campuran kg

ppm Kadar ppm

KADAR

1,5

ppm



 **batas pedoman WHO untuk fluorida dalam air minum (1,5 mg/L)**

1,5 mg zat dalam 1 kg campuran = 1,5 ppm, yaitu $1,5 \times 10^{-4}$ % massa.

Cek satuan: $\text{mg} \div \text{kg} = \text{mg/kg} = \text{ppm}$ ✓ (sebab $1 \text{ kg} = 10^6 \text{ mg}$)

RUMUS HIDUP: GESER NILAINYA DAN KUMPULKAN KARTUNYA DI AURUMGEN.MY.ID/CHEMIPEDIA#RM-UKUR-PPM

 ADU CEPAT

Konversi kilat: semuanya ke mL

ADU CEPAT • MAINKAN DI AURUMGEN.MY.ID/CHEMIPEDIA#BAB-4

Latihan kilat 60 detik dengan soal acak dan rekor pribadi.

1 L = 1.000 mL dan 1 cm³ = 1 mL. Contoh: 0,25 L + 30 cm³ = 250 + 30 = 280 mL.

4.3 Notasi ilmiah: menjinakkan angka raksasa dan angka mungil

[illegible]



Bilangan ditulis sebagai

$a \times 10^n$ dengan $1 \leq a < 10$ dan n bilangan bulat

Contoh: 0,0000000000000000000000000000167 g = $1,67 \times 10^{-24}$ g dan
170.000.000.000.000.000.000.000 = $1,7 \times 10^{23}$.

Caranya: geser koma sampai tersisa satu angka bukan nol di depannya. Banyaknya lompatan menjadi pangkat n . Geser ke kiri (bilangan besar) membuat n positif; geser ke kanan (bilangan kurang dari 1) membuat n negatif.

Benda atau besaran	Angka biasa	Notasi ilmiah
Bilangan Avogadro (partikel per mol)	602.214.076.000.000.000.000.000	$6,022 \times 10^{23}$
Molekul air dalam satu sendok teh (±5 mL)	±170.000.000.000.000.000.000.000	$1,7 \times 10^{23}$
Massa Bumi (kg)	5.970.000.000.000.000.000.000.000	$5,97 \times 10^{24}$
Diameter atom hidrogen (m)	±0,0000000001	1×10^{-10}
Massa satu atom hidrogen (g)	0,000000000000000000000000167	$1,67 \times 10^{-24}$
Muatan satu elektron (C)	0,0000000000000000000000160	$1,60 \times 10^{-19}$



$$(a \times 10^m)(b \times 10^n) = (a \cdot b) \times 10^{m+n} \qquad \frac{a \times 10^m}{b \times 10^n} = \frac{a}{b} \times 10^{m-n}$$

Contoh: $(3,0 \times 10^4)(2,0 \times 10^{-7}) = 6,0 \times 10^{-3}$. Bila hasil a keluar dari rentang 1-10, rapikan lagi:
 $16,7 \times 10^{20} = 1,67 \times 10^{21}$.



Untuk memasukkan $6,02 \times 10^{23}$, tekan **6.02 EXP 23** (tombolnya bisa bernama EXP, EE, atau $\times 10^x$). Jangan menekan " $\times 10 \text{ EXP } 23$ ", karena kalkulator akan membacanya sebagai $6,02 \times 10 \times 10^{23}$, sepuluh kali terlalu besar! Kesalahan ini sangat sering terjadi saat ujian.

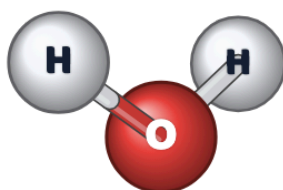


KIMO BERTANYA: SEKECIL APA ATOM ITU?

Diameter atom sekitar 10^{-10} m (0,1 nm). Bila sebuah atom diperbesar menjadi sebesar kelereng (1 cm), pembesarannya 10^8 kali. Dengan pembesaran yang sama, kelereng itu akan selebar 10^6 m = 1.000 km, kira-kira sejauh Jakarta ke Denpasar!

MOLEKUL 3D

Penggaris pikometer: ukur molekul sungguhan



Seret untuk memutar · ketuk atom untuk mengukur

Air H₂O

Mr ≈ 18,02

[PubChem](#)

Molekul bengkok dengan sudut $\pm 104,5^\circ$. Dua pasang elektron bebas pada O membuatnya polar dan mampu berikatan hidrogen.

Ketuk dua atom yang berikatan untuk mengukur panjang ikatannya (ditampilkan dalam pm dan Å; $1 \text{ Å} = 100 \text{ pm} = 10^{-10} \text{ m}$). Panjang ikatan O–H pada air sekitar 97 pm. Tantangan: tulis panjang ikatan C=O pada CO₂ dalam **meter** dengan notasi ilmiah. Berapa kali lebih kecil dari tebal rambut ($\pm 7 \times 10^{-5} \text{ m}$)?

Setetes air bervolume 0,050 mL dan bermassa 0,050 g. Massa satu mol air 18,0 g, dan satu mol berisi $6,02 \times 10^{23}$ molekul. Berapa molekul air dalam setetes?

- 1 Jumlah mol: $n = \frac{0,050 \text{ g}}{18,0 \text{ g/mol}} = 0,00278 = 2,78 \times 10^{-3} \text{ mol}$.
- 2 Kalikan dengan bilangan Avogadro: $(2,78 \times 10^{-3})(6,02 \times 10^{23}) = 16,7 \times 10^{-3+23} = 16,7 \times 10^{20}$.
- 3 Rapikan bentuk baku: $16,7 \times 10^{20} = 1,67 \times 10^{21}$.
- 4 Data 0,050 hanya punya 2 angka penting (subbab 4.4), jadi hasil akhir dibulatkan: $1,7 \times 10^{21}$.

Setetes air berisi $\pm 1,7 \times 10^{21}$ molekul, cukup untuk dibagikan ± 6 triliun molekul kepada setiap penduduk Indonesia!

4.4 Angka penting: angka yang boleh dipercaya

Coba ukur panjang pensil dengan penggaris berskala milimeter. Ujung pensil jatuh di antara 12,3 cm dan 12,4 cm, kira-kira di tengahnya. Kamu **yakin** pada angka 1, 2, dan 3, lalu **menaksir** angka terakhir: 12,35 cm. Semua angka yang pasti ditambah satu angka taksiran disebut **angka penting** (AP). Angka terakhir itu disebut **angka taksiran**.

Bahasa sederhana • Angka penting adalah angka yang benar-benar kita ukur. Kalau timbanganmu hanya bisa menunjukkan gram bulat, menulis "5,2836 gram" sama saja dengan mengarang. Tulislah hanya angka yang memang ditunjukkan alatmu.



Tebak Dulu!

Laras menimbang 0,0050 g serbuk vitamin dengan neraca analitik. Berapa angka penting pada 0,0050?

1, karena hanya angka 5 yang bukan nol.

2, yaitu angka 5 dan nol di belakangnya.

4, karena nol-nol di depan juga ditulis.

5, semua angka yang tertulis dihitung.

Jawabannya: 2. Nol di depan (0,00...) hanya penunjuk letak koma, bukan hasil ukur, jadi tidak penting. Lihat dalam notasi ilmiah: $5,0 \times 10^{-3}$ g, nol-nol depan lenyap. Namun nol di *belakang* angka 5 sengaja ditulis Laras untuk menyatakan bahwa neracanya yakin sampai digit itu: $5,0 \times 10^{-3}$ punya 2 AP. Menulis 0,005 (1 AP) berarti membuang informasi!



ATURAN • MENGHITUNG ANGKA PENTING

1. **Semua angka bukan nol penting.** 2,74 → 3 AP.
2. **Nol di antara angka bukan nol penting.** 1,005 → 4 AP; 20,3 → 3 AP.
3. **Nol di depan tidak penting** (hanya penunjuk koma). 0,0052 → 2 AP.
4. **Nol di belakang pada bilangan desimal penting.** 5,070 → 4 AP; 0,0050 → 2 AP.
5. **Nol di belakang pada bilangan bulat tanpa koma meragukan.** 1500 bisa 2, 3, atau 4 AP. Tulislah $1,5 \times 10^3$ (2 AP) atau $1,50 \times 10^3$ (3 AP) supaya jelas.
6. **Bilangan eksak punya AP tak terhingga:** hasil membilang (12 telur, 3 kali ulangan) dan definisi (1 L = 1.000 mL; 273,15 dalam konversi kelvin).



TRIK KAK TIRTA • ATURAN SABANG-MERAUKE

Tulis bilangannya seperti peta Indonesia. **Ada koma?** Berangkatlah dari **Sabang** (kiri). **Tidak ada koma?** Berangkatlah dari **Merauke** (kanan). Lewati semua nol sampai bertemu angka bukan nol pertama; dari situ, semua angka sampai ujung seberang adalah angka penting. Contoh: 0,00340 (ada koma, dari kiri) → 3, 4, 0 = 3 AP. 25.000 (tanpa koma, dari kanan) → 2, 5 = 2 AP.

Angka penting dalam perhitungan

Kalkulator tidak tahu dari alat apa angkamu berasal. Ia dengan senang hati memberi sepuluh digit, padahal sebagian besar hanyalah "sampah digit". Dua aturan berikut menjaga hasil perhitungan tetap jujur:



ATURAN • PEMBULATAN HASIL PERHITUNGAN

- **Perkalian dan pembagian:** hasil memiliki jumlah **angka penting** sebanyak data yang AP-nya paling sedikit. $2,5 \times 3,42 = 8,55 \rightarrow 8,6$ (2 AP).
- **Penjumlahan dan pengurangan:** hasil memiliki jumlah **angka di belakang koma** sebanyak data yang desimalnya paling sedikit. $12,52 + 3,7 = 16,22 \rightarrow 16,2$ (1 desimal).
- **Cara membulatkan:** bila angka pertama yang dibuang kurang dari 5, angka terakhir tetap; bila 5 atau lebih, angka terakhir naik satu. Bulatkan **di akhir** saja; simpan satu-dua angka tambahan pada langkah antara.

▼ Mengapa begitu? Rantai hanya sekuat mata rantai terlemahnya

Misalkan luas sebuah ubin dihitung dari panjang 2,5 cm (penggaris kasar, $\pm 0,1$ cm) dan lebar 3,42 cm (jangka sorong, $\pm 0,01$ cm). Panjang sebenarnya bisa 2,4 sampai 2,6 cm. Maka luas sebenarnya bisa $2,4 \times 3,42 = 8,2 \text{ cm}^2$ sampai $2,6 \times 3,42 = 8,9 \text{ cm}^2$. Angka kedua (yang di belakang koma) saja sudah goyah! Menulis $8,55 \text{ cm}^2$ berarti mengaku tahu sampai perseratus, padahal persepuluhnya pun belum pasti. Hasil yang jujur: $8,6 \text{ cm}^2$.

Pada penjumlahan, yang penting adalah *letak* ketidakpastian. Bila 3,7 g hanya pasti sampai persepuluh gram, menambahkan 12,52 g (pasti sampai perseratus) tidak bisa membuat jumlahnya pasti sampai perseratus.

Catatan: sebagian buku memakai aturan "genap terdekat" untuk angka yang dibuang tepat 5 ($2,25 \rightarrow 2,2$; $2,35 \rightarrow 2,4$). Ikutilah aturan yang dipakai gurumu atau soal.



massa batu (neraca 0,01 g) m = 25,37 g 4 AP • 2 desimal	air saja (gelas ukur) 30,0 mL 3 AP • 1 desimal	air + batu 39,5 mL 3 AP • 1 desimal
--	---	--

Langkah 1. Bima mengukur massa jenis sebutir batu. Massa ditimbang dengan neraca 0,01 g; volume diukur dengan menaikkan air di gelas ukur.

massa batu (neraca 0,01 g) m = 25,37 g 4 AP • 2 desimal	air saja (gelas ukur) 30,0 mL 3 AP • 1 desimal	air + batu 39,5 mL 3 AP • 1 desimal
--	---	--

Langkah 2. Hitung angka penting setiap data: 25,37 g punya 4 AP; 30,0 mL dan 39,5 mL masing-masing 3 AP dengan 1 desimal.

massa batu (neraca 0,01 g) m = 25,37 g 4 AP • 2 desimal	air saja (gelas ukur) 30,0 mL 3 AP • 1 desimal	air + batu 39,5 mL 3 AP • 1 desimal
--	---	--

$$V \text{ batu} = 39,5 - 30,0 = 9,5 \text{ mL}$$

pengurangan → 1 desimal → tinggal 2 AP!

Langkah 3. Volume batu = $39,5 - 30,0 = 9,5 \text{ mL}$. Pengurangan mengikuti desimal paling sedikit (1 desimal), sehingga hasilnya hanya punya **2 AP**. Pengurangan dua angka yang berdekatan "memakan" angka penting!

massa batu (neraca 0,01 g) m = 25,37 g 4 AP • 2 desimal	air saja (gelas ukur) 30,0 mL 3 AP • 1 desimal	air + batu 39,5 mL 3 AP • 1 desimal
--	---	--

$$V \text{ batu} = 39,5 - 30,0 = 9,5 \text{ mL}$$

pengurangan → 1 desimal → tinggal 2 AP!

$$\text{kalkulator: } \rho = 25,37 \div 9,5 =$$

2,670526316

Langkah 4. Kalkulator menghitung $\rho = 25,37/9,5$ dan menampilkan 2,670526316. Sepuluh digit, tetapi apakah semuanya bermakna?

massa batu (neraca 0,01 g) m = 25,37 g 4 AP • 2 desimal	air saja (gelas ukur) 30,0 mL 3 AP • 1 desimal	air + batu 39,5 mL 3 AP • 1 desimal
--	---	--

$$V \text{ batu} = 39,5 - 30,0 = 9,5 \text{ mL}$$

pengurangan → 1 desimal → tinggal 2 AP!

$$\text{kalkulator: } \rho = 25,37 \div 9,5 =$$

2,670526316

$\rho = 2,7$
g/mL (2 AP)

Langkah 5. Pembagian mengikuti AP paling sedikit, yaitu 2 AP (dari 9,5). Angka pertama yang dibuang adalah 7 (≥ 5), jadi 2,6 dibulatkan ke atas: $\rho = 2,7 \text{ g/mL}$.

massa batu (neraca 0,01 g) m = 25,37 g 4 AP • 2 desimal	air saja (gelas ukur) 30,0 mL 3 AP • 1 desimal	air + batu 39,5 mL 3 AP • 1 desimal
--	---	--

$$V \text{ batu} = 39,5 - 30,0 = 9,5 \text{ mL}$$

pengurangan → 1 desimal → tinggal 2 AP!

$$\text{kalkulator: } \rho = 25,37 \div 9,5 =$$

2,670526316

$\rho = 2,7$
g/mL (2 AP)

Langkah 6. Hasil 2,7 g/mL cocok dengan batuan granit ($\pm 2,6 - 2,7 \text{ g/mL}$). Ketidakpastian terbesar datang dari volume yang kecil. Mau lebih teliti? Pakai gelas ukur yang lebih kecil atau ukur beberapa batu sekaligus.



AWAS JEBAKAN

Kalkulator tidak mengenal angka penting. Hasil 2,670526316 bukan berarti hasilmu teliti sampai sepersemiliar; tulis hanya sebanyak yang dibenarkan data. Sebaliknya, jangan pula membuang nol yang bermakna: bila neraca menampilkan 5,00 g, tulis 5,00 g, bukan 5 g.

CONTOH Hitung angka pentingnya

Tentukan jumlah angka penting: (a) 0,00340 g (b) 205,0 mL (c) $6,02 \times 10^{23}$ (d) 36 siswa di kelas.

- 1 (a) Nol depan tidak penting; 3, 4, dan nol belakang (ada koma) penting → **3 AP**.
- 2 (b) Nol di antara 2 dan 5 penting, nol belakang setelah koma juga penting → **4 AP**.
- 3 (c) Dalam notasi ilmiah, hitung angka di depan saja: 6, 0, 2 → **3 AP**. Pangkat sepuluh tidak dihitung.
- 4 (d) Hasil membilang adalah bilangan eksak → AP **tak terhingga**; tidak membatasi perhitungan.

3 AP, 4 AP, 3 AP, dan tak terhingga.

KERJAKAN BERSAMA Bulatkan hasil hitunganmu

Tulis hasil berikut dengan angka penting yang benar: (a) 12,52 g gula + 3,7 g garam; (b) 0,0250 mol $\times$ 58,44 g/mol; (c) volume balok 3,0 cm $\times$ 2,15 cm $\times$ 1,05 cm.

- 1 (a) Penjumlahan: $12,52 + 3,7 = 16,22$. Desimal paling sedikit = 1 (dari 3,7) → **16,2 g**.
- 2 (b) Perkalian: $0,0250$ (3 AP) $\times$ $58,44$ (4 AP) = 1,461. AP paling sedikit = 3 → **1,46 g**.
- 3 (c) Perkalian: $3,0$ (2 AP) $\times$ $2,15 \times 1,05 = 6,7725$. AP paling sedikit = 2 → **6,8 cm³**.

16,2 g; 1,46 g; 6,8 cm³. Perhatikan: penjumlahan melihat desimal, perkalian melihat jumlah AP.

ADU CEPAT Berburu angka penting

ADU CEPAT • MAINKAN DI AURUMGEN.MY.ID/CHEMIPEDIA#BAB-4

Latihan kilat 60 detik dengan soal acak dan rekor pribadi.

Nol di depan tidak penting, nol di antara angka penting. Dalam notasi ilmiah, hitung angka di depan $\times 10$ saja.



LANJUT · IB & OLIMPIADE

ANGKA PENTING PADA LOGARITMA (PH)

Untuk logaritma berlaku aturan khusus: **jumlah angka di belakang koma pada hasil logaritma sama dengan jumlah AP pada bilangan aslinya**. Angka di depan koma hanya menyatakan pangkat sepuluh, mirip nol-nol di depan yang tidak penting.

Contoh: $[H^+] = 2,5 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$ (2 AP). $pH = -\log(2,5 \times 10^{-3}) = 2,60206 \dots \rightarrow$ ditulis **2,60** (2 desimal). Sebaliknya, pH 7,4 darah (1 desimal) berarti $[H^+]$ hanya diketahui sampai 1 AP: $4 \times 10^{-8} \text{ mol/L}$.

4.5 Ketepatan, ketelitian, galat, dan ketidakpastian

Bayangkan empat pemain melempar panah ke papan sasaran. Ada yang panahnya rapat bergerombol di tengah, ada yang rapat tetapi semuanya di pojok, ada yang berserakan di sekitar tengah, dan ada yang berserakan di mana-mana. Pengukuran di laboratorium persis seperti itu: setiap hasil ukur adalah satu panah, dan pusat sasaran adalah **nilai sebenarnya**.



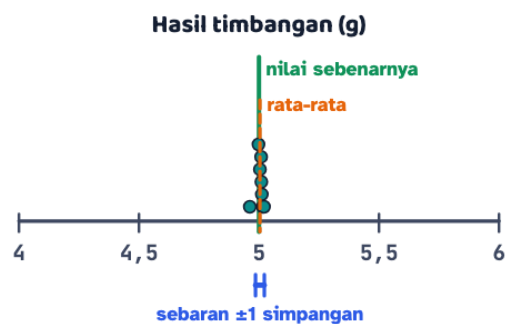
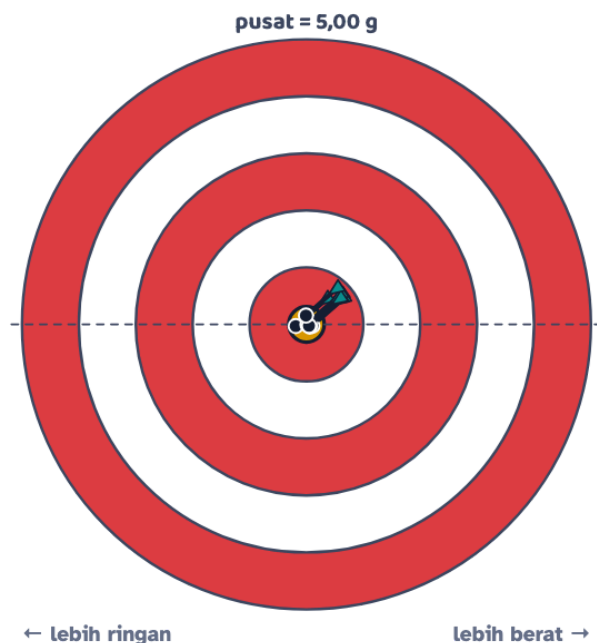
DEFINISI · KETEPATAN DAN KETELITIAN

- **Ketepatan** (akurasi, *accuracy*): seberapa dekat hasil pengukuran dengan **nilai sebenarnya**. Panah dekat pusat sasaran.
- **Ketelitian** (presisi, *precision*): seberapa dekat hasil pengukuran **berulang satu sama lain**. Panah bergerombol rapat, di mana pun letaknya. Skala terkecil alat (mis. "neraca dengan ketelitian 0,01 g") menentukan seberapa teliti hasil yang mungkin dicapai.



AWAS JEBAKAN

Di beberapa buku, kata "ketelitian" dan "ketepatan" dipakai dengan arti yang tertukar. Supaya tidak bingung, pegang istilah internasionalnya: **akurasi** (*accuracy*) = dekat nilai sebenarnya, **presisi** (*precision*) = hasil berulang saling berdekatan. Hasil bisa presisi tetapi tidak akurat!



Tepat & teliti! 🎯

Panah rapat dan berkumpul di pusat. Inilah hasil yang diinginkan setiap analisis.

Neraca sudah ditara dan dikalibrasi, diletakkan di meja yang kokoh.

Panah
8

Rata-rata
5,004 g

Sebaran (simpangan baku)
0,018 g

Galat rata-rata
0,004 g

Kesimpulan
tepat & teliti

Setiap panah adalah satu kali menimbang garam yang massa sebenarnya 5,00 g. Pilih skenario, lalu tekan 🎯 **Lempar 10**. Coba buat empat pola: tepat dan teliti, teliti tetapi tidak tepat, tepat tetapi tidak teliti, serta tidak keduanya. Galat mana yang hilang bila kamu melempar lebih banyak dan merata-ratakan?

Penyimpangan hasil ukur dari nilai sebenarnya disebut **galat** (*error*). Ada dua jenis yang wataknya sangat berbeda:

- **Galat sistematis** menggeser semua hasil **ke arah yang sama**. Contoh: neraca belum ditara (massa kertas ikut tertimbang), termometer yang angkanya selalu 1 °C terlalu tinggi, atau selalu membaca meniskus dari atas. Galat ini merusak **ketepatan** dan **tidak hilang** walau pengukuran diulang seribu kali. Obatnya: kalibrasi alat dan perbaiki cara kerja.
- **Galat acak** membuat hasil **berserakan ke dua arah** secara tidak terduga. Contoh: getaran meja, angin dari kipas, taksiran digit terakhir. Galat ini merusak **ketelitian** dan bisa **dikurangi** dengan mengulang pengukuran lalu merata-ratakan.

Karena galat tidak pernah nol, setiap hasil ukur ditulis bersama **ketidakpastiannya**: $x \pm \Delta x$. Untuk alat berskala (analog) seperti gelas ukur, ketidakpastian biasanya **setengah skala terkecil**. Untuk alat digital, ketidakpastiannya **satu digit terakhir**.

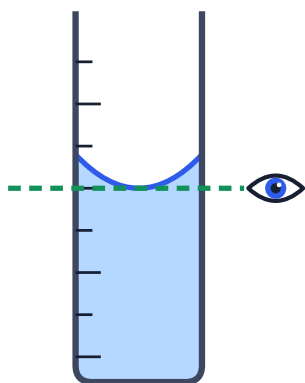
Alat	Skala terkecil	Ketidakpastian	Contoh catatan
Gelas kimia 250 mL	garis kasar tiap 50 mL	$\pm 5\%$ (hanya perkiraan)	± 200 mL
Gelas ukur 100 mL	1 mL	$\pm 0,5$ mL	52,5 mL

Gelas ukur 10 mL	0,2 mL	$\pm 0,1$ mL	7,4 mL
Buret 50 mL	0,1 mL	$\pm 0,05$ mL per bacaan	23,45 mL
Pipet volume 25 mL (kelas A)	satu garis tanda	$\pm 0,03$ mL	25,00 mL
Labu ukur 250 mL (kelas A)	satu garis tanda	$\pm 0,12$ mL	250,0 mL
Timbangan dapur digital	1 g	± 1 g	5 g
Neraca analitik	0,0001 g	$\pm 0,0001$ g	5,0713 g
Termometer kaca	1 °C	$\pm 0,5$ °C	25,5 °C

Membaca meniskus tanpa tertipu

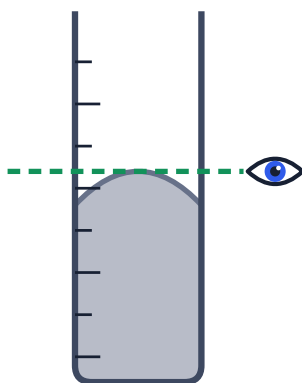
Permukaan cairan di dalam tabung sempit tidak datar, tetapi melengkung. Lengkungan ini disebut **meniskus**. Di tingkat partikel, molekul air lebih tertarik ke kaca (adhesi) daripada ke sesamanya, sehingga air "memanjat" dinding dan permukaannya **cekung**. Atom **raksa** lebih tertarik ke sesamanya (kohesi), sehingga permukaannya **cembung**. Mata yang tidak sejajar membuat bacaan bergeser; galat ini disebut **paralaks**.

Air: meniskus cekung



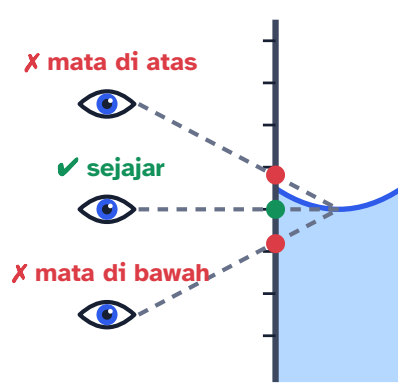
✓ **baca dasar meniskus**

Raksa: meniskus cembung



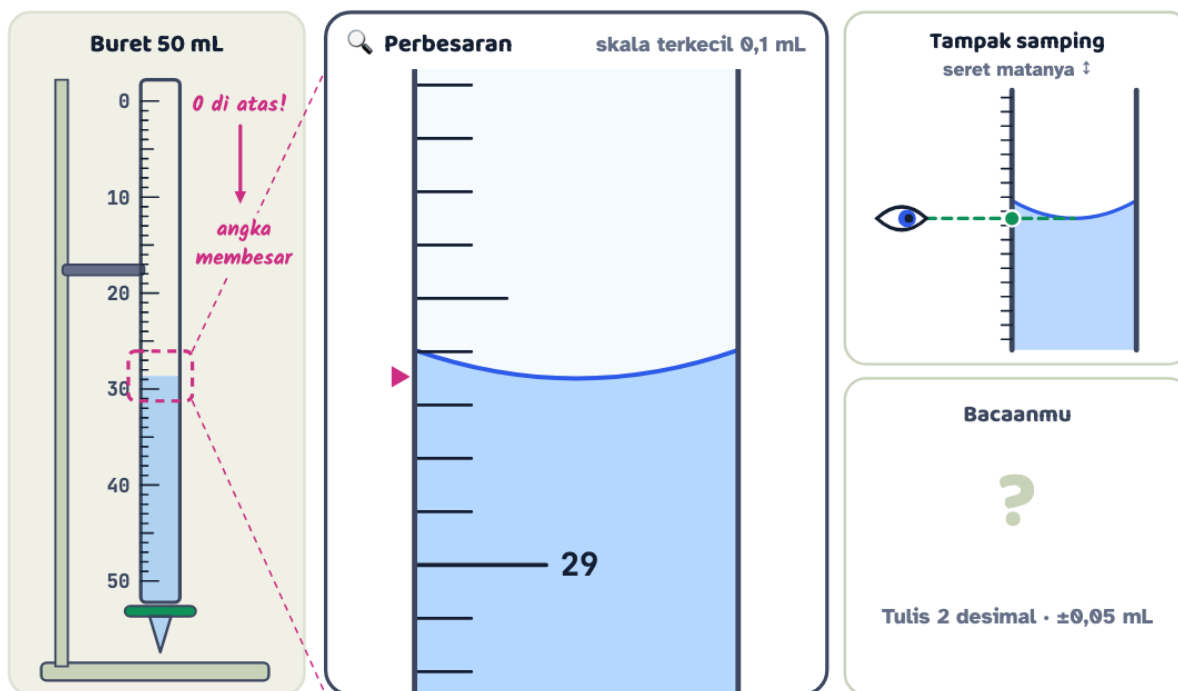
✓ **baca puncak meniskus**

Paralaks (tampak samping)



• **merah = bacaan bergeser**

Air dibaca di dasar meniskus, raksa di puncaknya, dan mata selalu sejajar dengan permukaan cairan. Pada gelas ukur (angka membesar ke atas), mata di atas membuat bacaan terlalu besar dan mata di bawah membuatnya terlalu kecil.



Skala terkecil
0,1 mL

Dibaca sampai
±0,05 mL (2 desimal)

Posisi mata
sejajar ✓

Nilai sebenarnya
rahasia 🕵️

Cairan baru diisi ke buret 50 mL. Baca dasar meniskus dengan mata sejajar, ketik bacaanmu, lalu tekan ✓ Periksa bacaanku.

Pilih alat, baca dasar meniskus di jendela perbesaran, ketik bacaanmu (lengkap dengan angka taksiran!), lalu tekan ✓ **Periksa bacaanku**. Buret dibaca sampai 0,05 mL terdekat dengan dua desimal; gelas ukur 10 mL sampai 0,1 mL; gelas ukur 100 mL sampai 0,5 mL. Lalu seret mata di "tampak samping" ke atas dan ke bawah: ke mana bacaan bergeser? Mengapa arahnya terbalik pada buret?

$$\% \text{ ketidakpastian} = \frac{\Delta x}{x} \times 100\%$$

Ketidakpastian alat tetap, tetapi persentasenya mengecil bila yang diukur makin besar. Karena itu titrasi dirancang agar volume titran sekitar 20–25 mL.

 Δx

Ketidakpastian mutlak mL

 x

Besaran yang diukur mL

 $\%$

Ketidakpastian relatif %

KETIDAKPASTIAN RELATIF

0,42
%

© di bawah 0,5%: mutu analisis volumetri

(24 ± 0,1) mL berarti ketidakpastian 0,42 %.

Cek satuan: mL ÷ mL × 100% = % ✓

RUMUS HIDUP: GESER NILAINYA DAN KUMPULKAN KARTUNYA DI AURUMGEN.MY.ID/CHEMIPEDIA#RM-UKUR-KETIDAKPASTIAN

KERJAKAN BERSAMA

Membaca buret saat titrasi

Pada titrasi cuka dapur, bacaan buret awal 0,50 mL dan bacaan akhir 23,35 mL. Setiap bacaan memiliki ketidakpastian ±0,05 mL. Tentukan volume titran beserta ketidakpastian mutlak dan persennya.

- 1 Volume titran = bacaan akhir – bacaan awal = 23,35 – 0,50 = 22,85 mL.
- 2 Dua bacaan, masing-masing ±0,05 mL. Pada pengurangan, ketidakpastian mutlak **dijumlahkan**: ±0,10 mL.
- 3 Persentase ketidakpastian = $\frac{0,10}{22,85} \times 100\% = 0,44\%$.

Volume titran = 22,85 ± 0,10 mL (±0,44%). Ingat, angka buret ditulis dua desimal dengan angka terakhir 0 atau 5. Angka buret membesar ke bawah, kebalikan dari gelas ukur.

$$\text{galat} = \frac{|x_{\text{ukur}} - x_{\text{benar}}|}{x_{\text{benar}}} \times 100\%$$

Seberapa jauh hasilmu meleset dari nilai sebenarnya, dalam persen. Makin kecil galatnya, makin tepat (akurat) pengukuranmu.

 x_{ukur}

Hasil pengukuran

 x_{benar}

Nilai sebenarnya (nilai buku)

galat

Galat relatif %

GALAT RELATIF

3,63

%

👍 galat 1-5%: cukup baik untuk praktikum sekolah

Hasilmu meleset **0,7** dari **19,3**, yaitu **3,63 % (terlalu kecil)**.

Cek satuan: satuan saling mencoret → persen ✓

RUMUS HIDUP: GESER NILAINYA DAN KUMPULKAN KARTUNYA DI [AURUMGEN.MY.ID/CHEMIPEDIA#RM-UKUR-GALAT](https://aurumgen.my.id/chemipedia#rm-ukur-galat)

MITOS

"Makin banyak angka di belakang koma, makin benar hasilnya."

MITOS

"Timbangan digital pasti tepat, kan angkanya digital."

FAKTA

Angka harus jujur sesuai alat. Menulis $\rho = 2,670526 \text{ g/mL}$ dari volume yang hanya pasti $\pm 0,5 \text{ mL}$ berarti mengarang digit. Ketepatan ditentukan alat dan cara kerja, bukan banyaknya digit.

FAKTA

Digital bisa sangat teliti tetapi salah semua: lupa tara, belum dikalibrasi, atau diletakkan miring. Itulah sebabnya timbangan pasar pun wajib ditera ulang.

MITOS

"Mengulang pengukuran menghilangkan semua galat."

FAKTA

Merata-ratakan hanya mengurangi **galat acak**

. Galat sistematis, seperti lupa tara atau selalu membaca dari atas, tetap ada berapa kali pun diulang.



LANJUT • IB & OLIMPIADE

RAMBATAN KETIDAKPASTIAN

Bila hasil dihitung dari beberapa data, ketidakpastiannya ikut "merambat". Aturan sederhana yang dipakai IB Chemistry:

- **Penjumlahan dan pengurangan:** jumlahkan ketidakpastian **mutlak**. $(39,5 \pm 0,5) - (30,0 \pm 0,5) = 9,5 \pm 1,0$ mL.
- **Perkalian dan pembagian:** jumlahkan ketidakpastian **persen**. Untuk batu di animasi tadi: $m = 25,37 \pm 0,01$ g (0,04%) dan $V = 9,5 \pm 1,0$ mL (10,5%), sehingga ρ punya ketidakpastian $\pm 10,6\%$: $\rho = 2,67 \pm 0,28 \rightarrow 2,7 \pm 0,3$ g/mL.
- **Pengukuran berulang:** laporkan rata-rata $\pm$ setengah rentang. Titrasi 24,35; 24,40; 24,30 mL $\rightarrow 24,35 \pm 0,05$ mL.

Ketidakpastian ditulis dengan 1 angka penting, dan nilai utamanya dibulatkan pada desimal yang sama. Bandingkan ketidakpastian dengan galat: bila galat relatif lebih besar daripada persentase ketidakpastian, pasti ada galat sistematis yang belum disadari.

4.6 Massa jenis: mengapa sesuatu mengapung atau tenggelam

Mana yang lebih berat, 1 kg kapas atau 1 kg besi? Tentu sama-sama 1 kg! Bedanya, kapas butuh tempat yang jauh lebih luas. Besaran yang membandingkan massa dengan ruang yang ditempati disebut **massa jenis** (densitas).

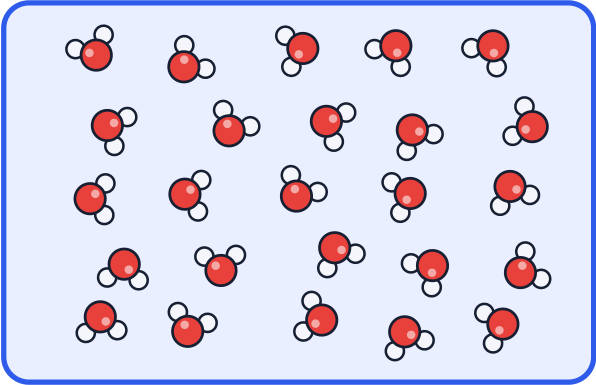


RUMUS • MASSA JENIS

$$\rho = \frac{m}{V}$$

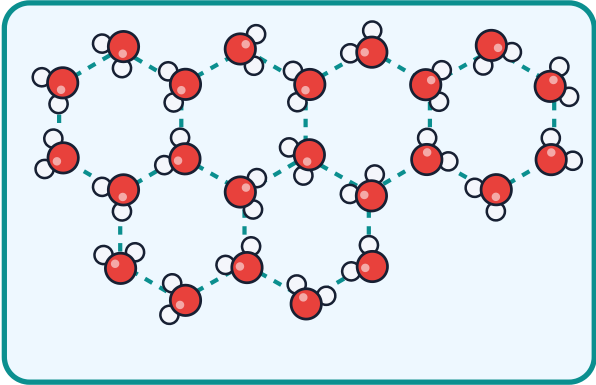
ρ (dibaca "rho") = massa jenis, m = massa, V = volume. Satuan yang lazim di kimia: $\text{g/cm}^3 = \text{g/mL} = \text{kg/L}$. Satuan SI-nya kg/m^3 , dengan $1 \text{ g/cm}^3 = 1.000 \text{ kg/m}^3$.

Di tingkat partikel, massa jenis bergantung pada dua hal: **seberapa berat partikelnya** dan **seberapa rapat susunannya**. Atom emas jauh lebih berat daripada atom aluminium dan tersusun rapat, sehingga emas tujuh kali lebih rapat daripada aluminium. Contoh yang paling ajaib adalah es: molekulnya sama dengan air, tetapi susunannya lebih renggang.



Air cair: 1,00 g/cm³
25 molekul, rapat dan acak

→
beku



Es: 0,92 g/cm³
23 molekul, jaringan heksagon berongga

Ruang yang sama, isi berbeda. Dalam es, setiap molekul air terkunci dalam jaringan heksagon (garis putus-putus = ikatan hidrogen) yang berongga, sehingga jumlah molekul per cm³ ±8% lebih sedikit. Karena itu es lebih ringan per volume dan mengapung di atas es teh.

Aturan mengapung sangat sederhana: benda **mengapung** bila massa jenisnya lebih kecil daripada cairan, dan **tenggelam** bila lebih besar. Minyak goreng (±0,92 g/mL) mengapung di atas kuah sayur, es (0,92 g/cm³) mengapung di air, sedangkan paku besi (7,87 g/cm³) langsung tenggelam.

Zat (±25 °C)	Massa jenis (g/cm ³)	Di dalam air...
Bensin	±0,72–0,77	mengapung (itu sebabnya api bensin tidak boleh disiram air)
Etanol	0,79	bercampur
Minyak goreng	±0,92	mengapung
Es	0,92	mengapung
Air murni	1,00 (tepatnya 0,997)	pembanding
Air laut	±1,025	sedikit lebih rapat daripada air tawar
Aluminium	2,70	tenggelam
Besi	7,87	tenggelam

Tembaga	8,96	tenggelam
Perak	10,5	tenggelam
Raksa	13,5	tenggelam (besi justru mengapung di atas raksa!)
Emas	19,3	tenggelam



Tebak Dulu!

Dua kaleng minuman bersoda berukuran sama dimasukkan ke ember air: satu versi biasa (bergula), satu versi tanpa gula. Apa yang biasanya terjadi?

Keduanya mengapung, karena di dalamnya ada gas.

Keduanya tenggelam, karena kaleng terbuat dari logam.

Versi bergula tenggelam, versi tanpa gula mengapung.

Versi tanpa gula tenggelam, karena pemanis buatannya lebih berat.

Jawabannya: versi bergula tenggelam. Sekaleng minuman bergula berisi puluhan gram gula terlarut, sedangkan pemanis buatan hanya diperlukan beberapa ratus miligram. Volume kalengnya sama, tetapi massanya berbeda, sehingga massa jenis keseluruhan kaleng bergula sedikit di atas 1 g/mL dan kaleng tanpa gula sedikit di bawahnya. Selisih kecil itu cukup menentukan nasibnya!

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Massa jenis adalah massa setiap satu satuan volume: berapa gram 'dijejalkan' ke dalam setiap sentimeter kubik.

 m

Massa g

 V Volume cm³ ρ Massa jenis g/cm³

MASSA JENIS

19,3g/cm³

lebih rapat daripada air: tenggelam

cocok dengan emas murni (19,3 g/cm³)

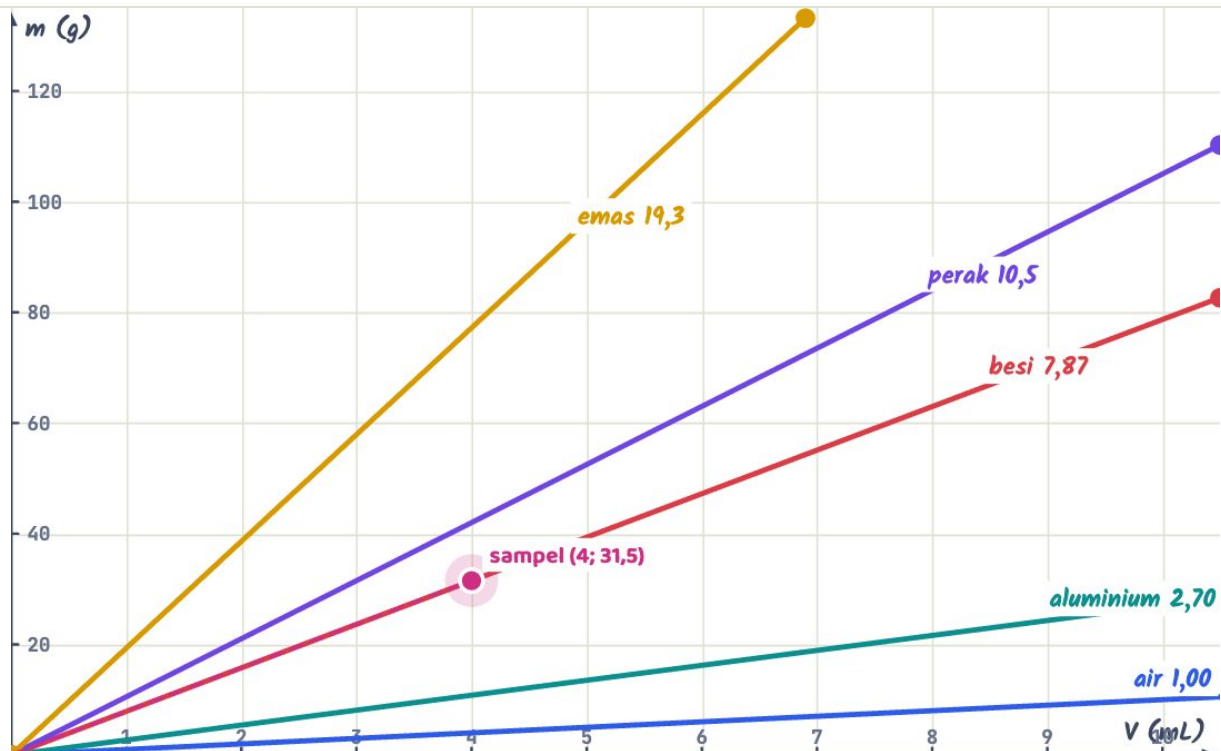
193 g dalam 10 cm³ → $\rho = 19,3 \text{ g/cm}^3 = 19.300 \text{ kg/m}^3$.

Cek satuan: $\text{g} \div \text{cm}^3 = \text{g/cm}^3$ ✓ ($1 \text{ g/cm}^3 = 1.000 \text{ kg/m}^3$)

RUMUS HIDUP: GESER NILAINYA DAN KUMPULKAN KARTUNYA DI [AURUMGEN.MY.ID/CHEMIPEDIA#RM-UKUR-MASSA-JENIS](https://aurumgen.my.id/chemipedia#rm-ukur-massa-jenis)

$$m = \rho \times V$$

sampel: $V = 4 \text{ mL}$, $m = 31,5 \text{ g} \Rightarrow \rho = 7,88 \text{ g/mL}$



cocok dengan besi

ρ sampel

7,88 g/mL

air bervolume sama

4 g

Setiap garis adalah satu zat: makin curam garisnya, makin besar massa jenisnya. Seret titik magenta "sampel misterius" sesuai data hasil ukurmu (atau data LKPD). Garis zat mana yang paling dekat? Coba buat sampel bervolume 3 mL yang cocok dengan emas: berapa massanya?



TAMU DARI MASA LALU

Menurut kisah terkenal yang ditulis arsitek Romawi Vitruvius (mungkin sudah dibumbui), Raja Hieron II dari Syracuse curiga mahkota emasnya dicampur perak oleh pandai emas. **Archimedes** ($\pm 250 \text{ SM}$) diminta memeriksanya tanpa merusak mahkota. Saat masuk ke bak mandi dan melihat air meluap, ia sadar bahwa volume benda yang bentuknya rumit pun bisa diukur dari air yang terdesak. Konon ia berlari sambil berteriak "Eureka!" (aku menemukannya!). Mahkota yang dicampur perak akan mendesak lebih banyak air daripada emas murni bermassa sama, karena perak kurang rapat.



KIMIA NUSANTARA · EMAS TUA, EMAS MUDA, DAN KARAT

Di toko emas Indonesia, kadar emas dinyatakan dalam **karat**: emas murni adalah 24 karat, jadi 1 karat = $1/24$ bagian emas. Emas 22 karat berisi $22/24 = 91,7\%$ emas, emas 18 karat berisi 75%. Orang menyebut emas berkadar tinggi sebagai "emas tua" (warnanya kuning pekat) dan emas berkadar rendah sebagai "emas muda" (lebih pucat atau kemerahan, karena dicampur perak dan tembaga). Makin rendah kadarnya, makin kecil massa jenisnya: emas murni $19,3 \text{ g/cm}^3$, 22 karat $\pm 17,6\text{--}18,0 \text{ g/cm}^3$, dan 18 karat hanya $\pm 15\text{--}16 \text{ g/cm}^3$. Ornamen di pura dan keraton kadang dilapisi daun emas (prada) setipis $\pm 0,1 \mu\text{m}$!

COBA SENDIRI

Gelang warisan nenek: 24 karat?

Laras ingin menguji gelang emas warisan nenek. Massanya 28,95 g (neraca 0,01 g). Saat dicelupkan ke gelas ukur 10 mL, air naik dari 5,0 mL menjadi 6,5 mL (setiap bacaan $\pm 0,1 \text{ mL}$). Hitung massa jenisnya beserta ketidakpastiannya. Bisakah Laras memastikan gelang itu 24 karat, bukan 22 karat?

- 1 Volume gelang: $V = 6,5 - 5,0 = 1,5 \text{ mL}$, dengan ketidakpastian $0,1 + 0,1 = \pm 0,2 \text{ mL}$ (13%).
- 2 Massa jenis: $\rho = \frac{28,95}{1,5} = 19,3 \text{ g/mL}$. Dengan 2 AP (dari 1,5) ditulis 19 g/mL.
- 3 Ketidakpastian massa hanya 0,03%, jadi totalnya $\pm 13\%$: $\rho = 19 \pm 3 \text{ g/mL}$, artinya antara 16 dan 22 g/mL.
- 4 Rentang itu mencakup emas 24 karat (19,3) dan juga 22 karat ($\pm 17,8$).

$\rho = 19 \pm 3 \text{ g/mL}$. Hasilnya cocok dengan emas murni, tetapi belum bisa membedakan 24 dan 22 karat, karena gelas ukur terlalu kasar untuk volume sekecil 1,5 mL. Butuh cara yang lebih teliti: lihat kotak Lanjut di bawah!

**PENIMBANGAN HIDROSTATIK DAN MASSA JENIS PADUAN**

Cara Archimedes yang lebih teliti adalah **menimbang benda di dalam air**. Gelang digantung dengan benang tipis ke neraca dan dicelupkan seluruhnya. Massanya "berkurang" sebesar massa air yang terdesak. Karena $1 \text{ g air} \approx 1 \text{ cm}^3 \text{ air}$, pengurangan massa (dalam gram) sama dengan volume benda (dalam cm^3).

Gelang Laras: di udara 28,95 g, di dalam air 27,45 g. Volume = $1,50 \text{ cm}^3 \pm 0,02 \text{ cm}^3$ (dua penimbangan $\pm 0,01 \text{ g}$), hanya $\pm 1,3\%$. Maka $\rho = 28,95/1,50 = 19,3 \pm 0,3 \text{ g/cm}^3$. Sekarang 22 karat ($\pm 17,8$) jelas tersingkir: gelang itu emas tua sungguhan!

Untuk paduan, volume komponen (kurang lebih) dijumlahkan, sehingga yang dijumlahkan adalah kebalikan massa jenisnya, ditimbang dengan fraksi massa w :

$$\frac{1}{\rho_{\text{paduan}}} = \frac{w_{\text{Au}}}{\rho_{\text{Au}}} + \frac{w_{\text{lain}}}{\rho_{\text{lain}}}$$

Contoh: emas 18 karat dengan 25% tembaga: $1/\rho = 0,75/19,3 + 0,25/8,96 = 0,0668$, jadi $\rho \approx 15,0 \text{ g/cm}^3$. Rumus ini bisa dibalik untuk menebak kadar emas dari massa jenis yang terukur.

Kimia di sekitarmu**Takaran kue**

Satu cangkir ($\pm 240 \text{ mL}$) tepung terigu hanya $\pm 125 \text{ g}$, sedangkan satu cangkir gula pasir $\pm 200 \text{ g}$. Itulah sebabnya pembuat kue profesional menimbang, bukan menakar dengan gelas.

**Curah hujan BMKG**

Curah hujan 1 mm berarti 1 liter air jatuh di setiap meter persegi tanah. Hujan 50 mm sehari mengguyur 50 liter air ke setiap meter persegi atap rumahmu.

**Debu PM_{2,5}**

Partikel PM_{2,5} berdiameter $\leq 2,5 \mu\text{m}$, jauh lebih kecil daripada tebal rambut ($\pm 70 \mu\text{m}$). Kadarnya di udara dilaporkan dalam mikrogram per meter kubik ($\mu\text{g/m}^3$).

**Garam beryodium**

Garam konsumsi wajib mengandung kalium iodat, KIO_3 , minimal 30 ppm menurut SNI: hanya 30 mg dalam setiap kilogram garam, cukup untuk mencegah gondok.

**Mutu bensin**

Bensin bermassa jenis $\pm 0,72\text{--}0,77 \text{ kg/L}$. Massa jenis diperiksa dengan hidrometer dan termometer; nilai yang menyimpang bisa menandakan BBM tercampur zat lain.

**Sendok obat**

Sendok takar obat berisi 5 mL, sedangkan sendok makan $\pm 15 \text{ mL}$. Salah sendok bisa membuat dosis obat tiga kali lipat!

Cek Cepat

Berapa angka penting pada 0,02040?

2

3

5

4

Volume 2,5 L sama dengan ...

2.500 mL

250 mL

25 mL

0,0025 mL

Massa sebenarnya sebuah anak timbangan 5,00 g. Bima menimbanginya tiga kali: 5,31 g; 5,30 g; 5,31 g. Hasil Bima ...

tepat dan teliti

teliti tetapi tidak tepat

tepat tetapi tidak teliti

tidak tepat dan tidak teliti

Kunci Cek Cepat: 1. D • 2. A • 3. B

Tantangan Rumah: telur, kentang, dan sendok yang jujur

Bahan: 2 gelas plastik bening besar, air, garam dapur, 1 butir telur mentah, sepotong kentang, sendok makan, timbangan dapur digital, buku catatan.

1. Masukkan telur dan kentang ke gelas berisi air tawar. Catat: mengapung atau tenggelam?
2. Angkat telur dan kentang. Tambahkan garam satu sendok makan setiap kali, aduk sampai larut, lalu celupkan lagi. Hitung berapa sendok sampai telur mulai melayang, lalu sampai mengapung.
3. Ulangi untuk kentang. Mana yang butuh garam lebih banyak? Apa artinya bagi massa jenisnya?
4. Uji kejujuran sendokmu: timbang satu sendok makan garam peres sebanyak 5 kali (tekan tara setiap kali). Catat kelima hasilnya, hitung rata-rata dan selisih terbesar-terkecil.

Keselamatan: lakukan bersama orang dewasa dan pakai gelas plastik agar tidak pecah. Cuci tangan dengan sabun setelah memegang telur mentah; telur dan kentang bekas percobaan jangan dimakan mentah. Air garam jangan diminum dan jangan disiramkan ke tanaman (garam merusak akar); buang ke wastafel. Lap tumpahan agar lantai tidak licin.

Pertanyaan: Mengapa telur mengapung setelah air diberi banyak garam? Apakah takaran "satu sendok makan" cukup teliti untuk resep kue? Bandingkan dengan timbangan.

RINGKASAN KILAT Bab 4 dalam 3 menit

Kamu sekarang bisa...

- menyebutkan **besaran pokok SI** yang dipakai kimia dan mengubah suhu Celsius ke **kelvin**
- mengonversi satuan berawalan (mg, μL , dm^3 , nm, ppm) dan menulis bilangan dalam **notasi ilmiah**
- menentukan jumlah **angka penting** dan membulatkan hasil perhitungan dengan benar
- membedakan **ketepatan** dan **ketelitian**, membaca meniskus dan buret, serta menghitung ketidakpastian dan galat
- menghitung **massa jenis** dan memakainya untuk meramal benda mengapung atau tenggelam, bahkan menguji keaslian emas

Istilah kunci

Besaran pokok

Satuan SI

besaran turunan

jumlah zat

nol mutlak

kelvin

awalan

faktor konversi

ppm

notasi ilmiah

angka penting

angka taksiran

Ketepatan

Ketelitian

galat

Galat sistematis

Rumus penting

$$T = t + 273,15$$

Celsius ke kelvin. Suhu kelvin sama dengan suhu Celsius ditambah 273,15. Skala kelvin dimulai dari nol mutlak, sehingga tidak pernah negatif.

$$\text{ppm} = \frac{m_{\text{zat}} \text{ (mg)}}{m_{\text{campuran}} \text{ (kg)}}$$

Kadar dalam ppm (bagian per sejuta). Berapa miligram zat terdapat di setiap kilogram campuran. Untuk air encer, 1 kg $\approx$ 1 L, jadi 1 ppm $\approx$ 1 mg/L.

$$\% \text{ ketidakpastian} = \frac{\Delta x}{x} \times 100\%$$

Persentase ketidakpastian. Ketidakpastian alat tetap, tetapi persentasenya mengecil bila yang diukur makin besar. Karena itu titrasi dirancang agar volume titran sekitar 20–25 mL.

$$\text{galat} = \frac{|x_{\text{ukur}} - x_{\text{benar}}|}{x_{\text{benar}}} \times 100\%$$

Galat relatif (%). Seberapa jauh hasilmu meleset dari nilai sebenarnya, dalam persen. Makin kecil galatnya, makin tepat (akurat) pengukuranmu.

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Massa jenis. Massa jenis adalah massa setiap satu satuan volume: berapa gram 'dijejalkan' ke dalam setiap sentimeter kubik.

⚠ Jangan sampai terjebak

- Kelvin ditulis tanpa tanda derajat: 298 K, bukan 298 °K.
- Awalan ikut dipangkatkan bersama satuannya.
- Kalkulator tidak mengenal angka penting.

📄 **Tangga Latihan:** 24 soal bab ini (Lv 1 Pemula sampai Lv 6 Olimpiade) ada di PDF Bank Soal dan di aurumgen.my.id/chemipedia#soal?bab=4

🧩 Teka-teki untuk Bab 5

Sebutir garam halus beratnya hanya $\pm 0,06$ mg. Bayangkan kamu punya pisau ajaib dan membelahnya menjadi dua, lalu membelah salah satu bagiannya lagi, dan seterusnya. Kalau terus membagi sebutir garam menjadi dua, kapan kita harus berhenti? Apakah ada potongan terkecil yang tidak bisa dibelah lagi?

▼ Intip petunjuk

Sebutir garam berisi $\pm 6 \times 10^{17}$ pasangan ion Na^+ dan Cl^- . Karena $2^{59} \approx 5,8 \times 10^{17}$, cukup ± 59 kali membelah dua untuk tiba di satu pasangan ion saja! Filsuf Yunani Demokritos menyebut potongan terakhir itu *atomos*, "tak terbagi". Tetapi benarkah atom tidak bisa dibelah? Di Bab 5 kita mengikuti perjalanan model atom dari Dalton sampai mekanika kuantum.

05

Perjalanan Model Atom: dari Bola Pejal ke Awan Elektron

Belum pernah ada orang yang melihat bagian dalam atom dengan matanya sendiri. Namun selama dua abad, ilmuwan berhasil "memotret" isinya hanya dengan menimbang, menembak, dan membaca warna cahaya. Inilah kisah detektif terbaik dalam sejarah sains!

Setelah bab ini, kamu bisa

- menceritakan perkembangan model atom **Dalton**, **Thomson**, **Rutherford**, **Bohr**, dan **mekanika kuantum** beserta percobaan yang melahirkannya;
- menjelaskan bukti adanya **elektron** (sinar katode) dan **inti atom** (hamburan sinar alfa);
- menghitung energi elektron pada **tingkat energi Bohr** dan panjang gelombang **foton** yang dipancarkan saat elektron berpindah tingkat;
- menghubungkan **spektrum garis** dan warna **uji nyala** dengan lompatan elektron;
- membandingkan ukuran inti dengan ukuran atom dan menjelaskan mengapa atom hampir seluruhnya **ruang kosong**.

KUE LAPIS YANG TAK HABIS DIBELAH

KOMIK • 4 PANEL

Sore hari, di dapur Kak Tirta

KIMO

Kue lapis ini kubelah dua, lalu dua lagi, lalu dua lagi... Sampai kapan bisa terus dibelah, ya?

SRET!

 $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{4}$ $\frac{1}{8}$?

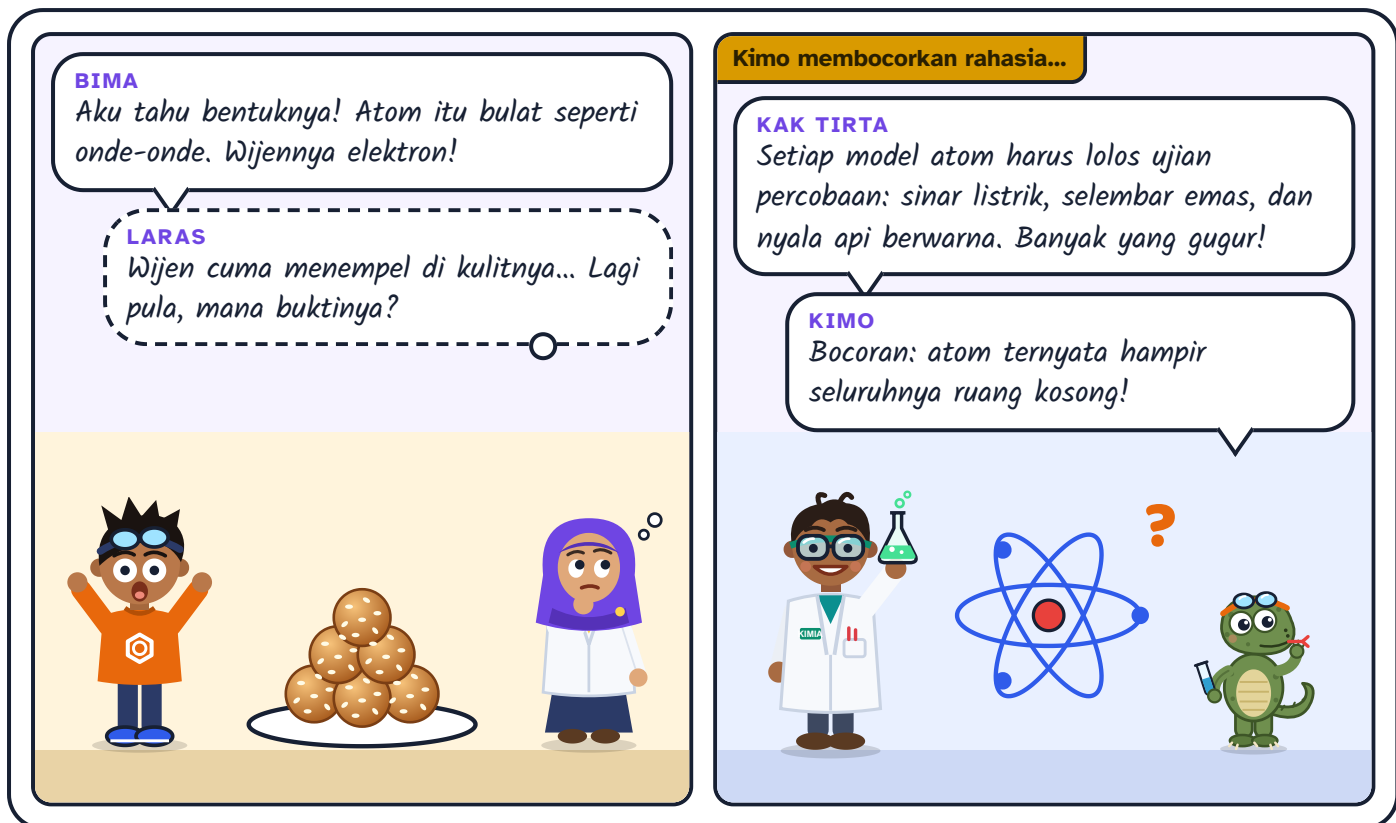
KAK TIRTA

Itu pertanyaan Demokritos 2.400 tahun lalu! Menurutny, ada potongan terakhir yang tak bisa dibelah lagi: **atomos**, artinya "tak terbagi".

atomos

= tak terbagi

Demokritos, ±400 SM



Tebak Dulu!

Seandainya satu atom emas diperbesar sampai seluas Stadion Utama Gelora Bung Karno, apa yang paling banyak mengisi "stadion" itu?

Materi emas yang padat dan rapat, karena emas sangat berat.

Udara yang terperangkap di antara bagian-bagian atom.

Ruang kosong. Hampir seluruh massanya terkumpul di satu titik sebesar kelereng di tengah lapangan.

Cairan kental tempat elektron berenang.

Jawabannya: ruang kosong! Inti atom emas kira-kira 20.000 kali lebih kecil daripada atomnya, tetapi memuat lebih dari 99,9% massanya. Sisanya adalah wilayah elektron yang sangat ringan. Di dalam atom juga tidak ada udara, sebab udara sendiri tersusun atas atom dan molekul. Bagaimana ilmuwan bisa tahu? Ikuti perjalanannya!

5.1 Dari Demokritos ke Dalton: atom sebagai bola pejal

Sekitar 2.400 tahun lalu di Yunani, **Leukippos** dan muridnya, **Demokritos**, bertanya seperti Kimo. Jawaban mereka: pembelahan harus berhenti pada butiran yang tak bisa dibelah lagi, yaitu *atomos*. Mereka bahkan

membayangkan atom besi punya kait-kait sehingga besi keras, sedangkan atom air licin dan bulat sehingga air mudah mengalir.

Bahasa sederhana • Coba bayangkan kamu memotong sepotong kue lapis terus-menerus. Potongannya makin kecil, makin kecil, sampai pisaumu tidak bisa memotong lagi. Potongan terkecil yang masih berupa "kue lapis" itulah yang dibayangkan Demokritos sebagai atom. Bedanya, atom jauh lebih kecil: sebutir garam saja berisi miliaran miliar atom!

Sayangnya, gagasan itu hanya hasil berpikir, tanpa percobaan. Filsuf terkenal **Aristoteles** menolaknya dan lebih percaya bahwa segala sesuatu tersusun atas empat unsur: tanah, air, udara, dan api. Pendapat Aristoteles bertahan hampir 2.000 tahun.

Kimiawan mulai menimbang

Pada akhir abad ke-18, kimiawan mulai menimbang zat sebelum dan sesudah reaksi dengan neraca yang teliti. Dua aturan penting pun ditemukan:

- **Hukum kekekalan massa** (Antoine Lavoisier, 1789): dalam wadah tertutup, massa zat sebelum dan sesudah reaksi selalu sama.
- **Hukum perbandingan tetap** (Joseph Proust, ±1799): suatu senyawa selalu tersusun atas unsur-unsur dengan perbandingan massa yang tetap. Air dari sumur, hujan, atau es kutub selalu berisi hidrogen dan oksigen dengan perbandingan massa 1 : 8.

CONTOH Perbandingan tetap dalam air

Perbandingan massa hidrogen : oksigen dalam air adalah 1 : 8. Berapa gram oksigen yang tepat bereaksi dengan 5 g hidrogen, dan berapa gram air yang terbentuk?

1 Oksigen = $8 \times \text{massa hidrogen} = 8 \times 5 \text{ g} = 40 \text{ g}$.

2 Hukum kekekalan massa: air = $5 \text{ g} + 40 \text{ g} = 45 \text{ g}$.

Dibutuhkan 40 g oksigen dan terbentuk 45 g air. Tidak ada massa yang hilang, hanya "berganti pasangan".

Seorang guru sekolah dari Manchester, Inggris, bernama **John Dalton**, mencari penjelasan untuk kedua hukum itu. Jawabannya kembali ke gagasan lama Demokritos, tetapi kali ini didukung data timbangan.



TEORI ATOM DALTON (1803–1808)

1. Semua materi tersusun atas partikel sangat kecil yang tidak dapat dibagi lagi, yaitu **atom**.
2. Atom-atom suatu unsur identik (massa dan sifatnya sama). Atom unsur yang berbeda memiliki massa dan sifat yang berbeda.
3. Atom tidak dapat diciptakan atau dimusnahkan. Reaksi kimia hanyalah penataan ulang atom.
4. Atom-atom bergabung dengan perbandingan bilangan bulat sederhana membentuk senyawa.

Dalton membayangkan atom sebagai **bola pejal** yang tak terbagi, mirip bola biliar yang sangat kecil.



DEFINISI • ATOM

Atom adalah partikel terkecil suatu unsur yang masih memiliki sifat kimia unsur tersebut. Dalam reaksi kimia, atom tidak hilang dan tidak berubah menjadi atom unsur lain; atom hanya bertukar pasangan.

Teori Dalton menjelaskan kedua hukum tadi dengan indah. Massa kekal karena atom-atomnya tetap ada, hanya berganti pasangan. Perbandingan massa tetap karena setiap molekul air selalu tersusun atas atom-atom yang sama dengan jumlah yang sama. Dalton lalu meramalkan **hukum perbandingan berganda**: bila dua unsur dapat membentuk lebih dari satu senyawa, massa unsur kedua yang bergabung dengan massa tetap unsur pertama berbanding sebagai bilangan bulat sederhana.

KERJAKAN BERSAMA

Dua oksida karbon

Dalam karbon monoksida, 3 g karbon bergabung dengan 4 g oksigen. Dalam karbon dioksida, 3 g karbon bergabung dengan 8 g oksigen. Tunjukkan bahwa data ini sesuai dengan hukum perbandingan berganda.

- 1 Massa karbon dibuat sama (3 g) pada kedua senyawa.
- 2 Bandingkan massa oksigen: $4 \text{ g} : 8 \text{ g} = 1 : 2$.
- 3 Perbandingan bilangan bulat sederhana muncul karena satu atom C mengikat *satu* atom O (CO) atau *dua* atom O (CO₂). Tidak ada "satu setengah atom".

Perbandingan massa oksigennya 1 : 2, bilangan bulat sederhana. Ini bukti kuat bahwa materi tersusun atas butiran utuh, yaitu atom.

▼ Mengapa perbandingan bilangan bulat membuktikan adanya atom?

Bayangkan membeli telur di warung. Kamu bisa membeli 1 butir atau 2 butir, tetapi tidak bisa membeli 1,37 butir. Kalau materi bisa dibagi tanpa batas (seperti air yang bisa dituang sesuka hati), unsur-unsur boleh

bergabung dengan perbandingan berapa pun. Kenyataannya, oksigen yang bergabung dengan karbon selalu "melompat" dari 4 g ke 8 g, tidak pernah 5,3 g. Lompatan bilangan bulat itu menandakan ada satuan terkecil yang utuh: atom.

Lambang atom Dalton (1808)



Senyawa = gabungan atom



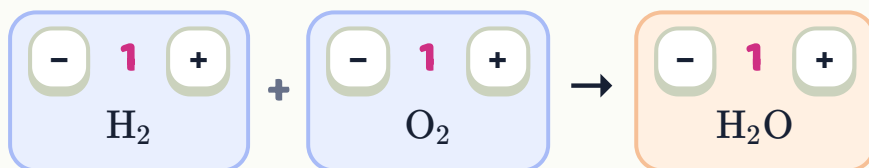
Dalton mengira rumus air HO (satu H, satu O), sehingga ia menyimpulkan atom O hanya ± 7 kali lebih berat daripada atom H. Nilai modern: ± 16 kali, karena rumus air yang benar adalah H₂O.

Dalton memberi setiap unsur lambang bulat, karena baginya atom adalah bola pejal. Lambang huruf seperti H, O, dan Au baru diusulkan Berzelius beberapa tahun kemudian.

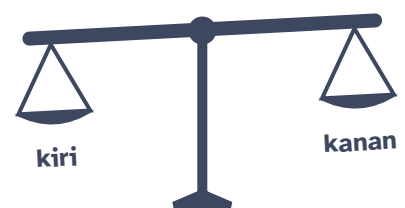


PENYETARA REAKSI

Bukti Dalton: atom tidak hilang, hanya bertukar pasangan



Unsur	Kiri	Kanan	
H	2 ○○	2 ○○	✓
O	2 ●●	1 ●	✗



Ubah koefisien sampai jumlah setiap atom di kiri = di kanan. Ingat: yang boleh diubah hanya koefisien, bukan indeks!



Petunjuk



Ulang

Persamaan berikutnya ▶

Persamaan 1 dari 4 null

Setarakan setiap reaksi. Perhatikan tabel atomnya: jumlah atom setiap unsur di kiri dan kanan harus sama. Itulah postulat ketiga Dalton dan alasan massa selalu kekal.



TAMU DARI MASA LALU · JOHN DALTON (1766–1844)

Dalton adalah anak penenun miskin yang sudah mengajar sejak usia 12 tahun. Selain atom, ia tekun mencatat cuaca setiap hari selama puluhan tahun dan meneliti buta warna yang dideritanya sendiri. Karena itu, buta warna merah-hijau pernah disebut *daltonisme*. Ia bahkan berpesan agar matanya diperiksa setelah ia wafat untuk mencari penyebab buta warnanya.



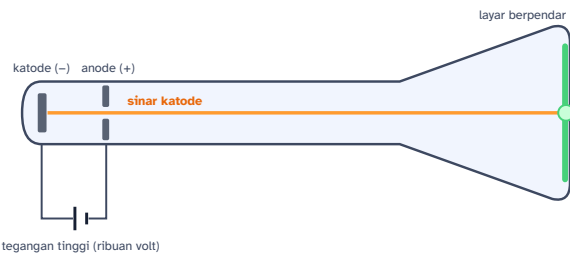
AWAS JEBAKAN

"Tak terbagi dalam reaksi kimia" tidak sama dengan "tak punya bagian". Pada akhir abad ke-19 ditemukan bahwa atom tersusun atas partikel yang lebih kecil (elektron dan inti). Ternyata pula atom-atom satu unsur bisa berbeda massanya (isotop, Bab 6). Meski begitu, gagasan Dalton bahwa reaksi kimia hanya menata ulang atom tetap dipakai sampai hari ini.

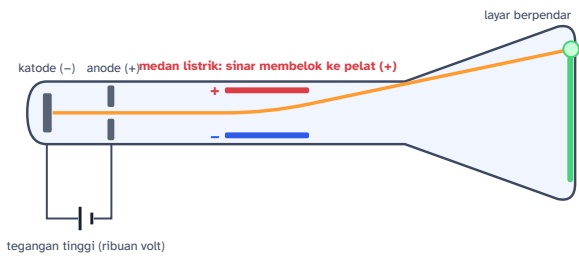
5.2 Thomson dan sinar katode: menemukan elektron

Menjelang tahun 1900, para fisikawan gemar bermain dengan **tabung sinar katode**: tabung kaca yang udaranya hampir habis dipompa keluar, dengan dua lempeng logam (elektrode) yang diberi tegangan sangat tinggi. Dari elektrode negatif (*katode*) memancar sinar tak kasatmata yang membuat dinding kaca atau layar di ujung tabung berpendar. Televisi tabung zaman dulu bekerja dengan prinsip yang sama.

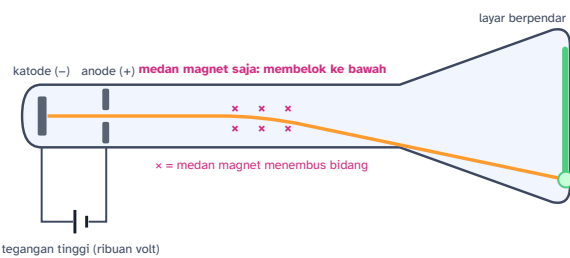
Pada 1897, **Joseph John (J.J.) Thomson** di Cambridge, Inggris, menguji sinar itu dengan medan listrik dan medan magnet. Ikuti percobaannya langkah demi langkah:



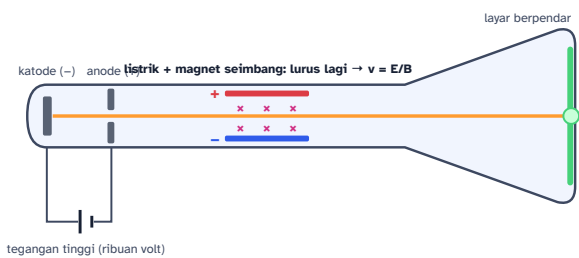
Langkah 1. Tegangan tinggi menghasilkan sinar dari katode (-). Sinar melewati lubang anode, merambat **lurus**, dan membuat layar berpendar di tengah.



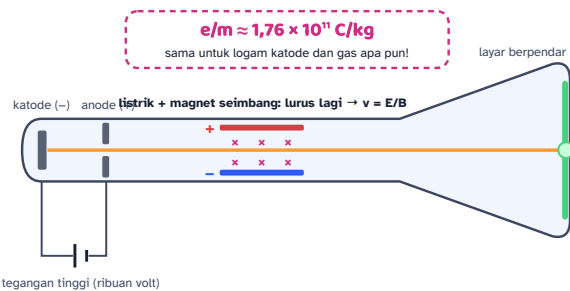
Langkah 2. Thomson memasang dua pelat bermuatan. Sinar membelok **menuju pelat positif**. Kesimpulan: sinar katode tersusun atas partikel **bermuatan negatif**.



Langkah 3. Dengan magnet saja, sinar membelok ke arah lain. Partikel bermuatan yang bergerak memang dibelokkan oleh medan magnet.



Langkah 4. Thomson mengatur kedua medan sampai sinar lurus lagi. Gaya listrik sama dengan gaya magnet, sehingga kecepatan partikel dapat dihitung: $v = E/B$.



Langkah 5. Dari besar pembelokan, Thomson menghitung rasio muatan/massa $e/m \approx 1,76 \times 10^{11} \text{ C/kg}$, ± 1.800 kali lebih besar daripada ion hidrogen. Partikel ini jauh lebih ringan daripada atom teringan, dan ada di dalam **semua** atom.



DEFINISI • ELEKTRON

Elektron adalah partikel penyusun semua atom yang bermuatan negatif ($-1,602 \times 10^{-19} \text{ C}$, ditulis muatan relatif -1) dengan massa $9,109 \times 10^{-31} \text{ kg}$, kira-kira $1/1836$ massa proton.

Atom bersifat netral, padahal di dalamnya ada elektron negatif. Jadi pasti ada pula bagian bermuatan positif. Pada 1904 Thomson mengusulkan **model roti kismis** (*plum pudding*): atom berupa bola bermuatan positif yang merata, dengan elektron-elektron tersebar di dalamnya seperti kismis di dalam roti. Jumlah muatan positif dan negatifnya sama, sehingga atom netral.



ONDE-ONDE ATAU SEMANGKA?

Tebakan Bima di komik hampir tepat! Bedanya, wijen onde-onde hanya menempel di kulit, sedangkan elektron Thomson tersebar di *seluruh* bola. Model Thomson lebih mirip **semangka**: daging buah merah adalah muatan positif yang merata, biji-biji hitamnya adalah elektron.



LANJUT • IB & OLIMPIADE

DARI E/M KE MASSA ELEKTRON

Saat sinar lurus di medan listrik E dan medan magnet B yang bersilangan, $eE = evB$, sehingga $v = E/B$. Dengan medan magnet saja, elektron bergerak melingkar berjari-jari r : $evB = \frac{mv^2}{r}$. Gabungkan keduanya:

$$\frac{e}{m} = \frac{v}{Br} = \frac{E}{B^2 r}$$

Pada 1909, Robert Millikan mengukur muatan satu elektron lewat percobaan tetes minyak: $e = 1,602 \times 10^{-19}$ C. Maka $m = \frac{e}{e/m} = \frac{1,602 \times 10^{-19}}{1,759 \times 10^{11}} = 9,11 \times 10^{-31}$ kg. Dua percobaan sederhana sudah cukup untuk "menimbang" partikel yang tak pernah terlihat!



TAMU DARI MASA LALU • AYAH DAN ANAK PERAIH NOBEL

J.J. Thomson meraih Nobel Fisika 1906 karena penelitiannya tentang hantaran listrik dalam gas. Tiga puluh satu tahun kemudian, putranya, **George Paget Thomson**, meraih Nobel Fisika 1937 karena membuktikan bahwa elektron juga berperilaku seperti *gelombang*. Sang ayah menunjukkan elektron sebagai partikel, sang anak menunjukkan elektron sebagai gelombang. Keduanya benar, seperti yang akan kamu lihat di subbab 5.5.

Model Thomson berhasil menjelaskan bahwa atom mengandung elektron dan tetap netral. Namun, model ini akan runtuh oleh sebuah percobaan dengan lembaran emas.



Tebak Dulu!

Partikel alfa yang sangat cepat ditembakkan ke selebaran emas yang sangat tipis. Menurut model Thomson, muatan positif emas tersebar merata dan "lunak". Apa yang sebenarnya teramati?

Semua partikel menembus lurus, sesuai ramalan model Thomson.

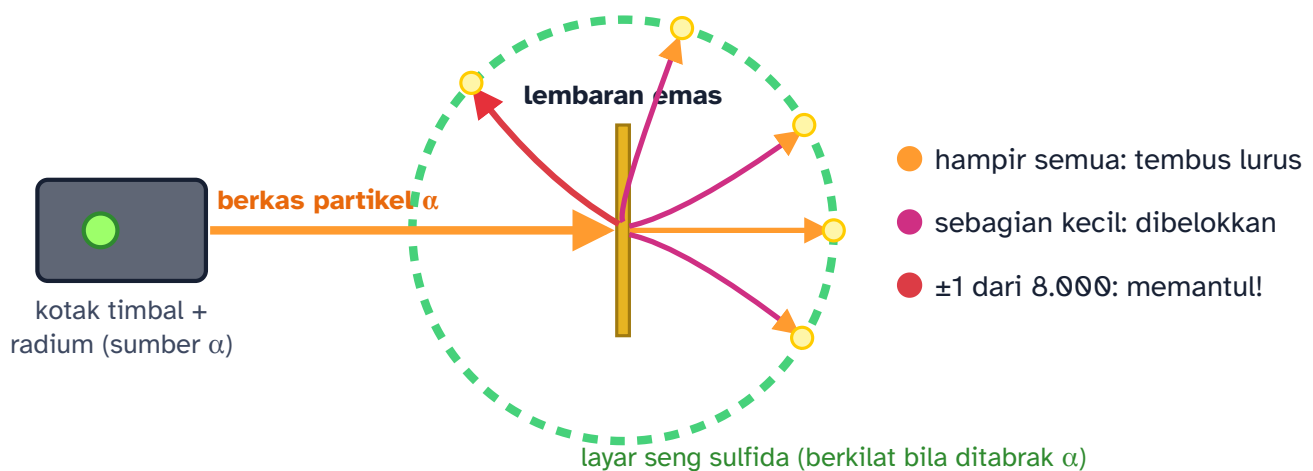
Semua partikel tertahan di lembaran emas.

Hampir semua menembus lurus, sebagian kecil dibelokkan, dan sangat sedikit memantul balik.

Semua partikel memantul balik ke arah sumber.

Jawabannya: sebagian kecil memantul balik! Model Thomson meramalkan semua partikel hanya sedikit berbelok. Ketika beberapa partikel ternyata memantul, itu tanda ada "sesuatu" yang sangat kecil, sangat berat, dan bermuatan positif di dalam atom.

Pada 1909 di Manchester, **Hans Geiger** dan mahasiswanya yang baru berusia 20 tahun, **Ernest Marsden**, bekerja di bawah bimbingan **Ernest Rutherford**. Mereka menembakkan **partikel alfa** (α), yaitu inti atom helium (He^{2+}) yang dipancarkan unsur radioaktif radium dengan kecepatan ± 15.000 km per detik, ke lembaran emas setipis kurang dari seperseribu milimeter. Setiap partikel α yang menabrak layar seng sulfida menimbulkan kilatan cahaya kecil, yang mereka hitung satu per satu di ruang gelap dengan mikroskop.



Susunan percobaan Geiger-Marsden (disederhanakan). Mikroskop dapat diputar mengelilingi lembaran emas untuk menghitung partikel α pada setiap sudut.

Pengamatan	Kesimpulan Rutherford (1911)
Hampir semua partikel α menembus lurus.	Sebagian besar atom adalah ruang kosong .
Sebagian kecil dibelokkan dengan sudut besar.	Ada pusat bermuatan positif yang menolak partikel α (yang juga positif).
Sangat sedikit (± 1 dari 8.000) memantul balik.	Pusat itu sangat kecil tetapi memuat hampir seluruh massa atom.

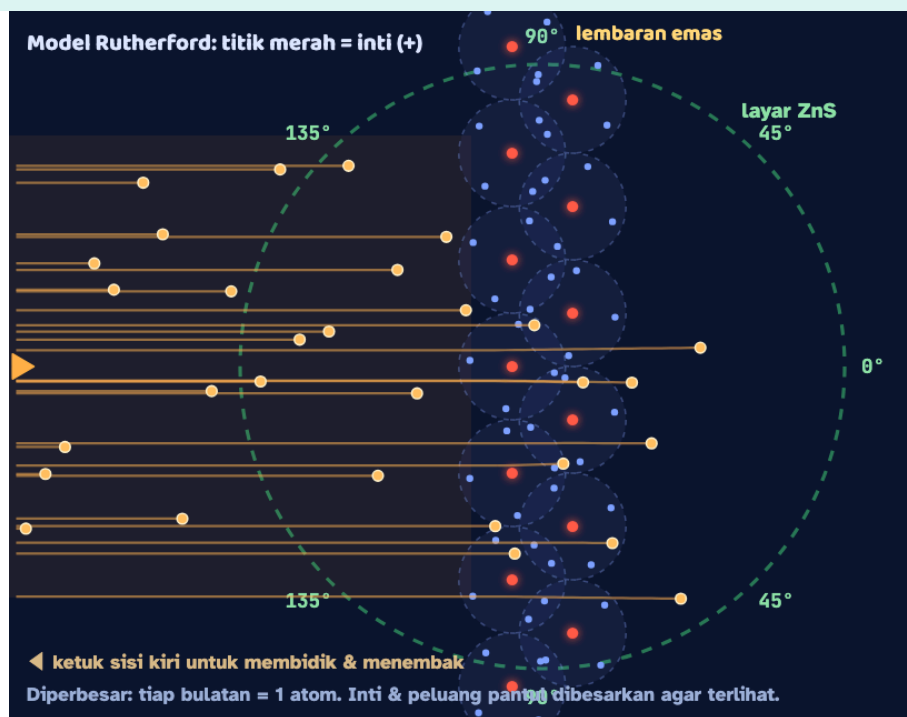


DEFINISI • INTI ATOM

Inti atom (nukleus) adalah pusat atom yang sangat kecil, bermuatan positif, dan memuat lebih dari 99,9% massa atom. Elektron berada di sekitar inti, di ruang yang jauh lebih luas.

Rutherford lalu mengusulkan **model atom inti** (1911), sering disebut **model tata surya**: inti mungil di tengah seperti Matahari, dan elektron-elektron beredar mengelilinginya seperti planet. Kelak (1917–1919) Rutherford juga menemukan bahwa muatan positif inti dibawa oleh partikel yang ia namai **proton**.

Bahasa sederhana • Bayangkan kamu melempar bola kasti ke arah jaring nyamuk. Hampir semua bola lolos lewat lubang-lubangnya. Tetapi kalau di jaring itu tersembunyi beberapa kelereng besi yang sangat kecil, sesekali bolamu memantul balik saat tepat mengenainya. Begitulah cara Rutherford "melihat" inti atom tanpa pernah melihatnya!



Hasil hitungan

0 partikel α tembus lurus ($< 10^\circ$)

0 (0%)

dibelokkan ($10^\circ - 90^\circ$)

0 (0%)

memantul ($> 90^\circ$)

0 (0%)

Tekan ► Jalankan

atau ketuk kanvas.

Ditembakkan

0

Tembus lurus ($< 10^\circ$)

—

Dibelokkan ($10^\circ - 90^\circ$)

—

Memantul ($> 90^\circ$)

0 partikel

Sudut terakhir

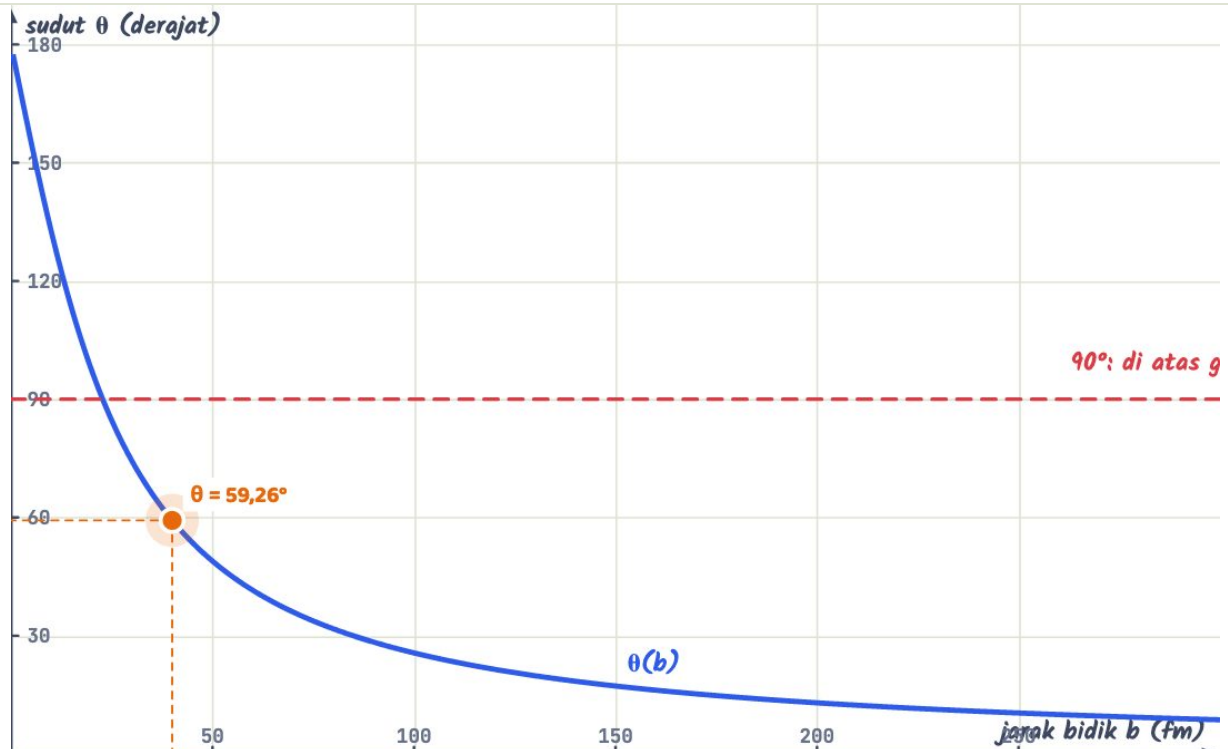
—

Tekan ► **Jalankan** untuk menghujani lembaran dengan partikel α , atau ketuk sisi kiri kanvas untuk menembak satu partikel. Bandingkan hasil hitungan model **Thomson** dan **Rutherford**. Bisakah kamu membidik tepat ke inti sampai partikelnya memantul? Ubah energi α dan jenis logam: kapan pantulan makin sering?

Mengapa hanya sedikit partikel yang memantul? Partikel α baru dibelokkan tajam bila lewat *sangat dekat* dengan inti. Jarak tegak lurus antara arah datang partikel dan inti disebut **jarak bidik** b . Geser titik oranye pada grafik ini:

$$\tan \frac{\theta}{2} = \frac{d_0}{2b}, \quad d_0 = \frac{2Z \times 1,44 \text{ MeV} \cdot \text{fm}}{E_\alpha}$$

$$Z = 79, E_\alpha = 5 \text{ MeV}, d_0 = 45,5 \text{ fm}; \quad b = 40 \text{ fm} \Rightarrow \theta = 59,26^\circ$$



emas

jarak terdekat (tembakan lurus) d_0
45,5 fm

sudut hamburan θ
59,3 °

jarak bidik untuk $\theta = 90^\circ$
22,8 fm

1 fm (femtometer) = 10^{-15} m. Pada emas dengan α 5 MeV, partikel harus lewat kurang dari ± 23 fm dari inti agar memantul. Padahal jari-jari atom emas ± 144.000 fm! Karena itulah pantulan sangat jarang.



SEBERAPA DEKAT A KE INTI?

Pada tembakan lurus ($b = 0$), partikel α melambat karena ditolak inti, berhenti sesaat, lalu berbalik. Di titik terdekat d_0 , seluruh energi kinetiknya berubah menjadi energi potensial listrik:

$$E_{\alpha} = \frac{k(2e)(Ze)}{d_0} \Rightarrow d_0 = \frac{2Z \times 1,44 \text{ MeV}}{E_{\alpha}}$$

($ke^2 = 1,44 \text{ MeV}\cdot\text{fm}$.) Untuk α 7,7 MeV (dipakai Geiger–Marsden) dan emas ($Z = 79$): $d_0 = 2 \times 79 \times 1,44 / 7,7 \approx 30 \text{ fm}$. Jadi inti emas paling besar berjari-jari $\pm 30 \text{ fm}$, ribuan kali lebih kecil daripada atomnya. (Nilai modern: $\pm 7 \text{ fm}$.)



AWAS JEBAKAN

Atom **bukan** bola padat yang penuh materi. Hampir seluruh volumenya adalah ruang kosong yang dihuni elektron yang sangat ringan. Meja terasa keras bukan karena atomnya penuh, melainkan karena awan elektron atom-atom tanganmu dan atom-atom meja saling menolak.



TAMU DARI MASA LALU • ERNEST RUTHERFORD (1871–1937)

Rutherford, anak petani dari Selandia Baru, mengenang hasil percobaan itu sebagai peristiwa paling luar biasa dalam hidupnya: seakan-akan menembakkan peluru meriam ke selembar kertas tisu, lalu pelurunya memantul dan mengenai penembaknya. Lucunya, fisikawan yang suka bercanda bahwa fisika adalah ilmu paling hebat ini justru menerima **Nobel Kimia** 1908 untuk penelitiannya tentang unsur radioaktif.

▼ Mengapa atom Rutherford seharusnya runtuh?

Menurut fisika klasik (teori Maxwell), muatan listrik yang bergerak melingkar selalu memancarkan gelombang elektromagnetik dan kehilangan energi. Elektron yang mengitari inti seharusnya terus memancarkan cahaya, lintasannya menyusut seperti spiral, lalu jatuh ke inti dalam waktu kurang dari sepemiliar detik. Kalau benar begitu, tidak akan ada atom yang stabil, termasuk atom-atom tubuhmu! Selain itu, cahaya yang dipancarkan seharusnya berwarna kontinu (pelangi utuh), bukan garis-garis tertentu. Dua masalah inilah yang dipecahkan Niels Bohr.



5.4 Bohr: tangga energi dan spektrum garis



Tebak Dulu!

Kuah sayur asin meluap dan menetes ke api kompor gas yang biru. Nyala api di bagian itu akan berubah menjadi warna apa?

Biru yang lebih terang, karena apinya makin panas.

Kuning-jingga terang.

Hijau, karena ada sayuran.

Tidak berubah, karena air memadamkan warna.

Jawabannya: kuning-jingga! Garam dapur mengandung natrium. Panas api "mengangkat" elektron atom natrium ke tingkat energi lebih tinggi. Saat turun kembali, elektron melepas cahaya kuning dengan panjang gelombang 589 nm. Warna ini adalah "tanda tangan" natrium, dan model Bohr menjelaskan asalnya.

Cahaya punya sidik jari

Cahaya Matahari yang dilewatkan prisma terurai menjadi pelangi utuh: **spektrum kontinu**. Tetapi gas hidrogen yang dialiri listrik dalam tabung berpendar ungu kemerahan, dan bila dilihat lewat prisma, cahayanya hanya berupa **empat garis berwarna** yang terpisah. Setiap unsur memiliki pola garis sendiri, seperti sidik jari atau kode batang (*barcode*) di kemasan belanjaan.

Spektrum kontinu (lampu pijar, Matahari): pelangi utuh



Spektrum emisi hidrogen: hanya garis-garis terang



Spektrum absorpsi hidrogen: garis gelap di posisi yang sama



Garis-garis hidrogen di daerah tampak disebut **deret Balmer**: merah (656 nm), biru kehijauan (486 nm), nila (434 nm), dan ungu (410 nm). Gas hidrogen yang dingin *menyerap* warna-warna yang sama persis.



DEFINISI · SPEKTRUM GARIS

Spektrum emisi (spektrum garis) adalah kumpulan garis cahaya terang dengan panjang gelombang tertentu yang dipancarkan atom suatu unsur saat dipanaskan atau dialiri listrik. Pola garisnya khas untuk setiap unsur.

Model atom Bohr (1913)

Fisikawan muda Denmark, **Niels Bohr**, yang pernah belajar bersama Rutherford, menggabungkan model inti dengan gagasan baru Max Planck dan Albert Einstein bahwa cahaya datang dalam paket energi bernama **foton**.

Energi satu foton sebanding dengan frekuensinya: $E = hf = \frac{hc}{\lambda}$.



POSTULAT BOHR

1. Elektron hanya boleh berada pada lintasan (kulit) tertentu dengan energi tertentu, disebut **tingkat energi**, diberi nomor $n = 1, 2, 3, \dots$ (kulit K, L, M, N, ...). Selama berada di sana, elektron **tidak** memancarkan energi.
2. Elektron dapat berpindah tingkat. Naik ke tingkat lebih tinggi bila **menyerap** energi yang tepat sama dengan selisih tingkat. Turun ke tingkat lebih rendah sambil **memancarkan** satu foton: $\Delta E = E_{\text{awal}} - E_{\text{akhir}} = \frac{hc}{\lambda}$.
3. Tingkat terendah ($n = 1$) disebut **keadaan dasar**. Tingkat yang lebih tinggi disebut **keadaan tereksitasi**.

Bahasa sederhana · Bayangkan tangga rumah panggung. Kamu bisa berdiri di anak tangga pertama, kedua, atau ketiga, tetapi tidak bisa melayang di antara dua anak tangga. Elektron juga begitu: ia hanya boleh "berdiri" di tingkat energi tertentu. Saat melompat turun, kelebihan energinya keluar sebagai cahaya.

Untuk atom hidrogen, Bohr menghitung energi setiap tingkat dengan rumus yang sangat sederhana. Tanda negatif berarti elektron *terikat* pada inti; energi nol berarti elektron baru saja lepas dari atom.

$$E_n = -\frac{13,6}{n^2} \text{ eV} \qquad \Delta E = \frac{hc}{\lambda}$$

$$E_n = -\frac{13,6 Z^2}{n^2} \text{ eV}$$

Makin jauh tingkatnya dari inti (n makin besar), energinya makin mendekati nol: elektron makin longgar terikat.

n Nomor kulit

Z Nomor atom

E_n Energi elektron eV

ENERGI ELEKTRON

-13,6
eV

🚢 keadaan dasar (paling stabil)

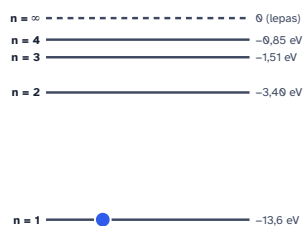
energi ionisasi hidrogen: 13,6 eV = 1.312 kJ/mol

Elektron di kulit $n = 1$ berenergi **-13,6 eV**. Untuk melepaskannya dari atom diperlukan **13,6 eV**, atau **1.312,196 kJ** untuk satu mol atom. Jari-jari orbit Bohr-nya $\approx$ **0,053 nm**.

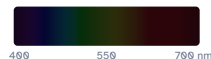
Cek satuan: eV (elektronvolt); 1 eV = $1,602 \times 10^{-19}$ J, dan 1 eV per atom = 96,485 kJ/mol

RUMUS HIDUP: GESER NILAINYA DAN KUMPULKAN KARTUNYA DI [AURUMGEN.MY.ID/CHEMIPEDIA#RM-BOHR-ENERGI-TINGKAT](https://aurumgen.my.id/chemipedia#rm-bohr-energi-tingkat)

Tingkat energi atom hidrogen (tidak berskala)

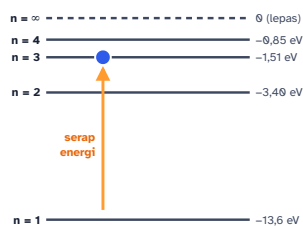


dilihat lewat spektroskop

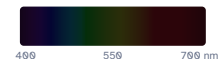


Langkah 1. Elektron atom hidrogen biasanya menempati tingkat energi terendah, $n = 1$: **keadaan dasar**.

Tingkat energi atom hidrogen (tidak berskala)

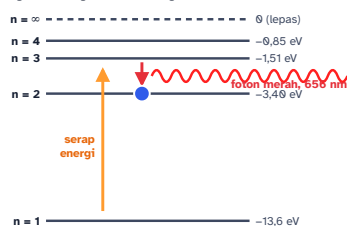


dilihat lewat spektroskop



Langkah 2. Atom menyerap energi (panas nyala atau listrik), dan elektron melompat ke $n = 3$: **keadaan tereksitasi**. Ia hanya menerima energi yang tepat sama dengan selisih tingkat.

Tingkat energi atom hidrogen (tidak berskala)

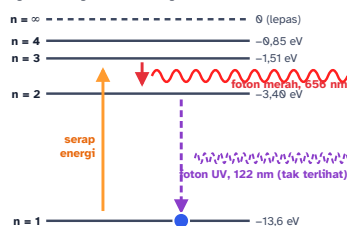


dilihat lewat spektroskop

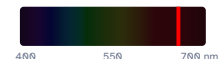


Langkah 3. Keadaan tereksitasi tidak stabil. Elektron turun ke $n = 2$ sambil melepas foton $\Delta E = 3,40 - 1,51 = 1,89$ eV, yaitu cahaya merah $\lambda = 656$ nm.

Tingkat energi atom hidrogen (tidak berskala)

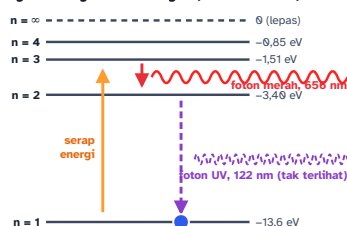


dilihat lewat spektroskop



Langkah 4. Elektron turun lagi ke $n = 1$ dan melepas foton 10,2 eV ($\lambda = 122$ nm). Ini ultraviolet: tidak terlihat mata, tetapi terekam alat.

Tingkat energi atom hidrogen (tidak berskala)



dilihat lewat spektroskop



garis-garis = sidik jari hidrogen

Langkah 5. Miliaran atom melompat dengan cara berbeda ($4 \rightarrow 2$, $5 \rightarrow 2$, $6 \rightarrow 2$, ...). Spektroskop menampilkan garis-garis terang di posisi yang selalu sama: **sidik jari hidrogen**.

Selisih energi menentukan warna. Lompatan kecil menghasilkan foton berenergi rendah (merah atau inframerah), sedangkan lompatan besar menghasilkan foton berenergi tinggi (ungu atau ultraviolet).

$$\lambda = \frac{hc}{\Delta E}$$

Makin besar lompatan energi elektron, makin pendek gelombang cahaya yang dilepaskan: dari merah ke ungu, lalu ultraviolet.

 ΔE

Selisih energi tingkat eV

 λ

Panjang gelombang foton nm

PANJANG GELOMBANG FOTON

656,1

nm

H α : garis merah hidrogen (3 $\rightarrow$ 2)

Foton **1,89 eV** ($= 3,028 \times 10^{-19}$ J) memiliki $\lambda = 656,1$ nm, berwarna **merah**. Frekuensinya **$4,57 \times 10^{14}$ Hz**.

Cek satuan: $(\text{J s} \times \text{m/s}) \div \text{J} = \text{m}$, lalu $\times 10^9 = \text{nm}$ ✓

RUMUS HIDUP: GESER NILAINYA DAN KUMPULKAN KARTUNYA DI [AURUMGEN.MY.ID/CHEMIPEDIA#RM-FOTON-HC-LAMBDA](https://aurumgen.my.id/chemipedia#rm-foton-hc-lambda)



TRIK KAK TIRTA • ANGKA AJAIB 1240

Karena $hc = 1240$ eV·nm, kamu tidak perlu repot dengan pangkat sepuluh:

$$\lambda \text{ (nm)} \approx \frac{1240}{\Delta E \text{ (eV)}}$$

Contoh: $2,48 \text{ eV} \rightarrow 1240 \div 2,48 = 500 \text{ nm}$ (hijau). Hafalkan juga urutan warna dari energi rendah ke tinggi: "**Me-Ji-Ku-Hi-Bi-Ni-U**" (merah, jingga, kuning, hijau, biru, nila, ungu).

CONTOH Energi elektron di kulit M

Elektron atom hidrogen berada di kulit $n = 3$. Berapa energinya, dan berapa energi yang dibutuhkan untuk melepaskannya dari atom?

1 $E_3 = -\frac{13,6}{3^2} = -\frac{13,6}{9} = -1,51 \text{ eV}.$

2 Lepas dari atom berarti naik ke $E_\infty = 0$. Energi yang dibutuhkan $= 0 - (-1,51) = 1,51 \text{ eV}.$

$E_3 = -1,51 \text{ eV}$; untuk melepaskannya perlu **1,51 eV**, jauh lebih kecil daripada 13,6 eV dari keadaan dasar. Elektron di kulit luar lebih mudah lepas.

KERJAKAN BERSAMA Warna garis $4 \rightarrow 2$

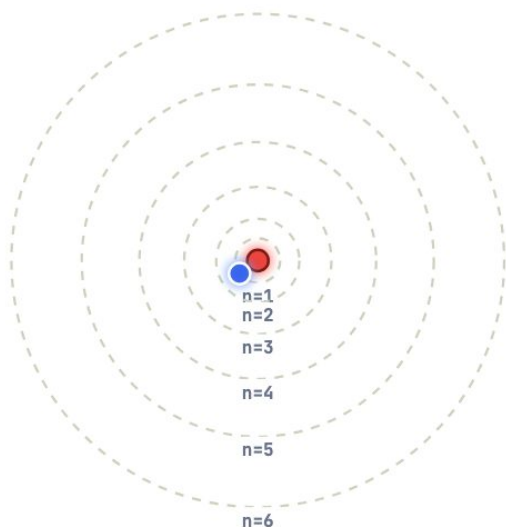
Elektron hidrogen turun dari $n = 4$ ke $n = 2$. Hitung energi foton dan panjang gelombangnya. Apa warnanya?

1 $E_4 = -13,6/16 = -0,85 \text{ eV}$ dan $E_2 = -13,6/4 = -3,40 \text{ eV}.$

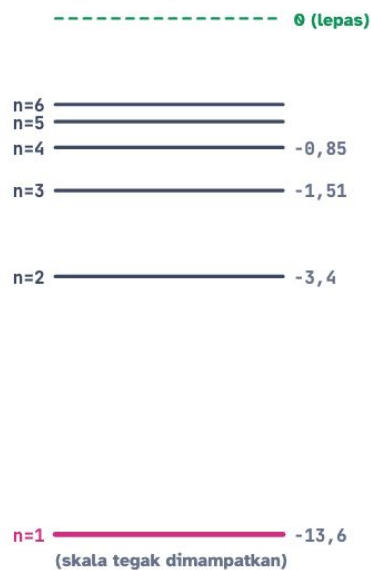
2 $\Delta E = E_4 - E_2 = -0,85 - (-3,40) = 2,55 \text{ eV}.$

3 $\lambda = \frac{1240}{2,55} = 486 \text{ nm}.$

Foton 2,55 eV dengan $\lambda \approx 486 \text{ nm}$: garis biru kehijauan ($H\beta$) dalam deret Balmer.

Atom hidrogen (jari-jari = n^2 , tidak berskala)

Tingkat energi (eV)



Spektroskop: garis yang pernah dipancarkan



UV · Lyman



cahaya tampak (380–750 nm) · Balmer



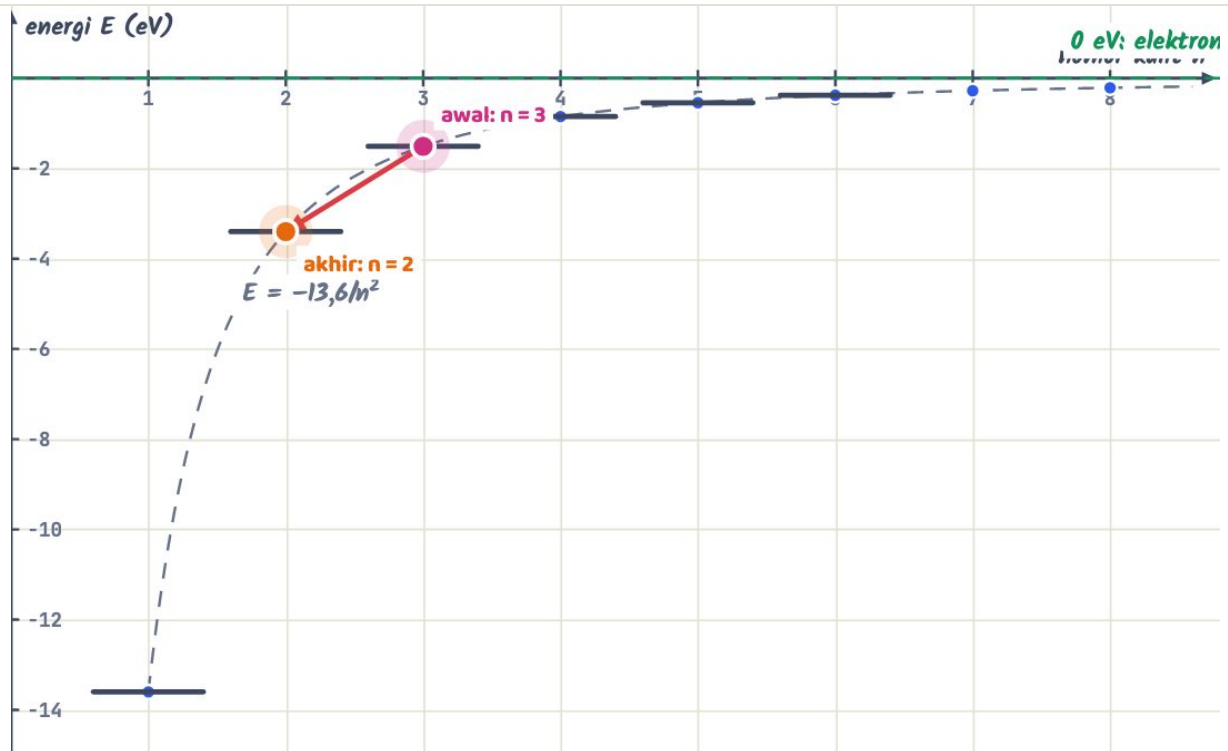
IR · Paschen dst.

Kulit sekarang n
1Energi elektron
-13,6 eVTransisi terakhir
— ΔE
— λ foton
—Deret / warna
keadaan dasar

Ketuk sebuah lintasan atau tingkat energi (atau pilih di menu) untuk memindahkan elektron. Saat turun, foton berwarna nyata terbang keluar dan garisnya tercatat di spektroskop. Nyalakan **Lampu hidrogen** untuk melihat jutaan lompatan acak. Garis apa saja yang muncul di daerah cahaya tampak? Lompatan mana yang menghasilkan garis merah?

$$E_n = -\frac{13,6}{n^2} \text{ eV}$$

$$E_{\text{awal}} = -1,51 \text{ eV}, \quad E_{\text{akhir}} = -3,4 \text{ eV}, \quad \Delta E = 1,89 \text{ eV}$$



deret Balmer (sebagian besar cahaya tampak)

656 nm, merah

 ΔE

1,889 eV

 λ foton

656,5 nm

proses

emisi: foton dilepas

Seret titik magenta (tingkat awal) dan titik oranye (tingkat akhir). Perhatikan: makin tinggi tingkatnya, makin rapat jaraknya. Itulah sebabnya garis-garis deret Balmer makin berdesakan di dekat ungu.



ADU CEPAT

 $\Delta E \rightarrow \lambda$ dengan angka 1240ADU CEPAT • MAINKAN DI AURUMGEN.MY.ID/CHEMIPEDIA#BAB-5

Latihan kilat 60 detik dengan soal acak dan rekor pribadi.

 $\lambda \text{ (nm)} = 1240 \div \Delta E \text{ (eV)}$. Contoh: 2,48 eV $\rightarrow$ 500 nm.

**RUMUS RYDBERG, ION MIRIP HIDROGEN, DAN ENERGI IONISASI**

Untuk ion yang hanya punya satu elektron (He^+ , Li^{2+} , ...) inti bermuatan $+Z$ menarik elektron lebih kuat: $E_n = -13,6 Z^2/n^2$ eV. Panjang gelombang garisnya mengikuti **rumus Rydberg**:

$$\frac{1}{\lambda} = R_H Z^2 \left(\frac{1}{n_{\text{akhir}}^2} - \frac{1}{n_{\text{awal}}^2} \right), \quad R_H = 1,097$$

Garis-garis setiap deret makin rapat dan akhirnya menyatu di **batas konvergensi**. Untuk deret Lyman (turun ke $n = 1$) batasnya 91,2 nm, yaitu foton yang energinya tepat cukup untuk melepaskan elektron dari keadaan dasar: $1240/91,2 = 13,6$ eV per atom, atau $13,6 \times 96,485 = 1312$ kJ/mol. Inilah **energi ionisasi pertama** hidrogen yang akan kamu temui lagi di Bab 8.

Uji nyala: warna rahasia logam

Kalau Bohr benar, setiap unsur punya tangga energi yang berbeda, sehingga warna cahayanya juga berbeda. Inilah dasar **uji nyala**: sedikit garam logam pada kawat nikrom atau platina yang bersih dimasukkan ke nyala pembakar. Panas nyala mengeksitasi elektron ion logam, lalu elektron itu turun sambil memancarkan warna khas.

Ion logam	Contoh garam	Warna nyala	Garis/pita utama (nm)	Catatan
Li Li^+	LiCl	merah tua (krimson)	671	mirip stronsium; bedakan dengan spektroskop
Na Na^+	NaCl (garam dapur)	kuning-jingga terang	589	sangat kuat; lampu jalan natrium
K K^+	KCl	ungu muda (lila)	766 (merah tua) & 404 (ungu)	mudah tertutup kuning natrium; lihat lewat kaca kobalt
Ca Ca^{2+}	CaCl_2	merah bata (jingga kemerahan)	pita ± 622 & ± 554	dari kapur dan cangkang telur
Sr Sr^{2+}	SrCl_2	merah terang (krimson)	pita ± 606 – 682 & 461	kembang api dan suar merah
Ba Ba^{2+}	BaCl_2	hijau pucat (hijau apel)	pita ± 513 – 524 & 554	kembang api hijau; garamnya beracun

Cu
 Cu^{2+}

CuCl_2

hijau kebiruan

$\pm 510\text{--}522$ & pita
 $420\text{--}450$

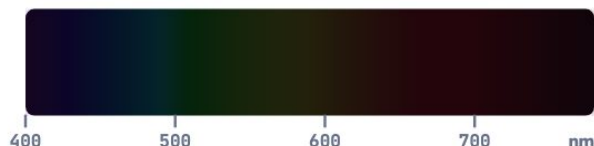
kembang api biru (dengan
klorida)

LAB MINI Uji Nyala: Warna Rahasia Logam

LAB MINI INTERAKTIF • COBA SENDIRI DI AURUMGEN.MY.ID/CHEMIPEDIA#BAB-5

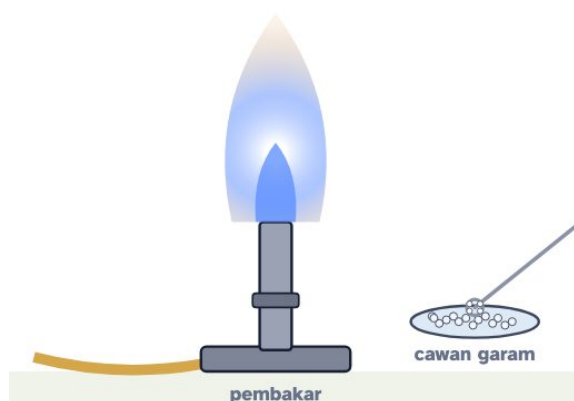
 seret ujung kawat ke nyala

Spektroskop



Natrium klorida, NaCl

Garis ganda 589,0 & 589,6 nm
(garis D natrium), sangat terang.
Sama dengan cahaya lampu jalan natrium.



Ion logam
 Na^+

Warna nyala
biru pucat (belum ada garam di nyala)

Garis terkuat
—

ΔE garis itu
—

Pilih garam, lalu seret ujung kawat ke dalam nyala (atau tekan  **Celupkan ke nyala**). Amati warna nyala dan garis-garisnya di spektroskop. Coba campuran NaCl + KCl: ke mana perginya warna ungu kalium? Nyalakan **kaca kobalt**! Lalu uji kemampuanmu dengan **garam misteri**.



KESELAMATAN

Uji nyala dengan pembakar hanya dilakukan di laboratorium sekolah bersama guru. Pakai kacamata pelindung, ikat rambut panjang, dan jauhkan kertas serta botol spiritus dari api. Garam barium dan stronsium beracun bila tertelan, dan garam tembaga mencemari air. Ambil secuil saja dengan kawat bersih, jangan dicicipi, cuci tangan sesudahnya, dan buang sisa garam ke wadah limbah yang disediakan guru. Di rumah, jangan menaburkan bahan apa pun ke kompor kecuali mengamati percikan garam dapur yang tidak sengaja.



Mudah menyala
(spiritus)



Toksik (garam
barium)



Berbahaya bagi
lingkungan (garam
tembaga)

COBA SENDIRI Energi di balik cahaya kuning natrium

Lampu jalan natrium memancarkan cahaya kuning dengan $\lambda = 589 \text{ nm}$. Hitung selisih energi tingkat elektron natrium yang menghasilkan cahaya itu dalam eV dan dalam kJ/mol. ($h = 6,626 \times 10^{-34} \text{ J s}$; $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m/s}$; $N_A = 6,022 \times 10^{23}$)

1 Energi satu foton: $E = \frac{hc}{\lambda} = \frac{6,626 \times 10^{-34} \times 3,00 \times 10^8}{589 \times 10^{-9}} = 3,37 \times 10^{-19} \text{ J}$.

2 Dalam eV: $3,37 \times 10^{-19} / 1,602 \times 10^{-19} = 2,11 \text{ eV}$. (Cek dengan trik 1240: $1240/589 = 2,11$ ✓)

3 Untuk satu mol foton: $3,37 \times 10^{-19} \times 6,022 \times 10^{23} = 2,03 \times 10^5 \text{ J} = 203 \text{ kJ/mol}$.

$\Delta E \approx 2,11 \text{ eV}$ per atom atau **203 kJ/mol**, setara dengan energi ikatan kimia yang lemah. Panas nyala cukup untuk mengeksitasi elektron natrium, tetapi foton kuningnya tidak cukup kuat untuk membakar kulit seperti ultraviolet.



KIMIA NUSANTARA · LANGIT TAHUN BARU DAN LAMPU JALAN

Saat kembang api malam Tahun Baru meledak di langit kota-kota Indonesia, kamu sebenarnya sedang menonton model Bohr! Merah berasal dari garam **Sr** stronsium, hijau dari **Ba** barium, biru dari **Cu** tembaga, kuning dari natrium, dan ungu dari campuran stronsium dan tembaga. Biru adalah warna tersulit, karena senyawa tembaga pembawa warnanya mudah rusak pada suhu terlalu tinggi. Lampu jalan kuning-jingga yang dulu banyak menerangi jalan raya adalah lampu uap natrium; kini banyak yang diganti lampu LED putih yang lebih hemat listrik.



TAMU DARI MASA LALU · BUNSEN, KIRCHHOFF, DAN BOHR

Sekitar 1859, **Robert Bunsen** (penemu pembakar Bunsen yang nyalanya hampir tak berwarna) dan **Gustav Kirchhoff** membuat spektroskop pertama. Dalam dua tahun, mereka menemukan dua unsur baru hanya dari garis spektrumnya: sesium (garis biru, Latin *caesius* = biru langit) dan rubidium (garis merah tua, *rubidus*). Setengah abad kemudian, **Niels Bohr** menjelaskan asal garis-garis itu dan meraih Nobel Fisika 1922.

TABEL PERIODIK HIDUP

Unsur yang ditemukan lewat garis spektrum

Warnai menurut

Tahun ditemukan ▼

1 H 1766																	5 B 1808	6 C kuno	7 N 1772	8 O 1774	9 F 1671										
3 Li 1817	4 Be 1798																	13 Al kuno	14 Si 1854	15 P 1669	16 S kuno	17 Cl 1774									
11 Na 1807	12 Mg 1808																	31 Ga 1875	32 Ge 1886	33 As kuno	34 Se 1817	35 Br 1826									
19 K 1807	20 Ca kuno	21 Sc 1879	22 Ti 1791	23 V 1801	24 Cr 1797	25 Mn 1774	26 Fe kuno	27 Co 1735	28 Ni 1751	29 Cu kuno	30 Zn 1746	31 Ga 1875	32 Ge 1886	33 As kuno	34 Se 1817	35 Br 1826	49 In 1863	50 Sn kuno	51 Sb kuno	52 Te 1782	53 I 1811										
37 Rb 1861	38 Sr 1798	39 Y 1794	40 Zr 1789	41 Nb 1801	42 Mo 1778	43 Tc 1937	44 Ru 1827	45 Rh 1803	46 Pd 1803	47 Ag kuno	48 Cd 1817	49 In 1863	50 Sn kuno	51 Sb kuno	52 Te 1782	53 I 1811	81 Tl 1861	82 Pb kuno	83 Bi 1753	84 Po 1898	85 At 1940										
55 Cs 1860	56 Ba 1808	71 Lu 1907	72 Hf 1923	73 Ta 1802	74 W 1783	75 Re 1925	76 Os 1803	77 Ir 1803	78 Pt 1735	79 Au kuno	80 Hg kuno	81 Tl 1861	82 Pb kuno	83 Bi 1753	84 Po 1898	85 At 1940	113 Nh 2004	114 Fl 1998	115 Mc 2003	116 Lv 2000	117 Ts 2010										
87 Fr 1939	88 Ra 1898	103 Lr 1961	104 Rf 1964	105 Db 1967	106 Sg 1974	107 Bh 1976	108 Hs 1984	109 Mt 1982	110 Ds 1994	111 Rg 1994	112 Cn 1996	113 Nh 2004	114 Fl 1998	115 Mc 2003	116 Lv 2000	117 Ts 2010															
																		57 La 1839	58 Ce 1803	59 Pr 1885	60 Nd 1885	61 Pm 1945	62 Sm 1879	63 Eu 1901	64 Gd 1880	65 Tb 1843	66 Dy 1886	67 Ho 1878	68 Er 1843	69 Tm 1879	70 Yb 1878
																		89 Ac 1899	90 Th 1828	91 Pa 1913	92 U 1789	93 Np 1940	94 Pu 1940	95 Am 1944	96 Cm 1944	97 Bk 1949	98 Cf 1950	99 Es 1952	100 Fm 1952	101 Md 1955	102 No 1957

1.650  2.010 Tahun ditemukan

Warna menunjukkan tahun penemuan. Enam unsur yang menyala ditemukan berkat garis spektrumnya: sesium (1860), rubidium dan talium (1861, garis hijau), indium (1863, garis nila), helium (1868, di spektrum Matahari sebelum ditemukan di Bumi), dan galium (1875). Ketuk unsurnya untuk membaca kisahnya.

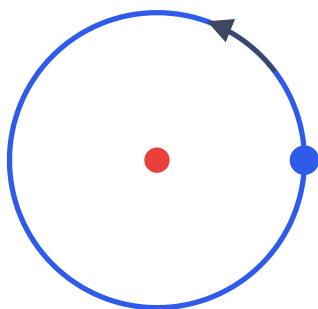
Model Bohr sukses besar untuk hidrogen: ramalannya cocok dengan garis spektrum sampai beberapa angka penting. Namun model ini gagal meramalkan spektrum atom berelektron banyak, bahkan helium yang hanya punya dua elektron. Model Bohr juga tidak menjelaskan *mengapa* elektron hanya boleh berada di tingkat tertentu. Jawabannya datang dari sifat elektron yang paling aneh: ia juga sebuah gelombang.

5.5 Model mekanika kuantum: awan elektron

Tiga gagasan besar pada 1920-an mengubah cara kita membayangkan elektron:

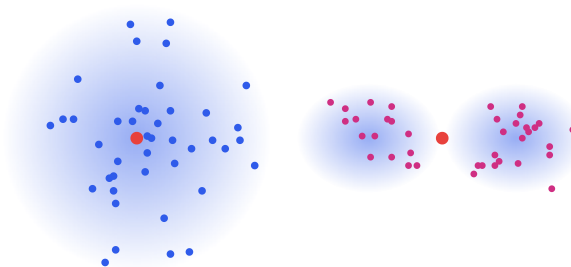
- **Louis de Broglie** (1924): setiap partikel yang bergerak juga bersifat gelombang, dengan panjang gelombang $\lambda = \frac{h}{mv}$. Untuk elektron, panjang gelombang ini seukuran atom!
- **Erwin Schrödinger** (1926): menulis persamaan gelombang untuk elektron dalam atom. Penyelesaiannya disebut **orbital** dan otomatis menghasilkan tingkat-tingkat energi Bohr untuk hidrogen.
- **Werner Heisenberg** (1927): **prinsip ketidakpastian**. Posisi dan kecepatan elektron tidak dapat diketahui tepat sekaligus. Jadi, lintasan elektron yang pasti seperti orbit planet tidak bisa digambar.

Bohr: orbit (lintasan pasti)



elektron di jalur melingkar yang pasti

Kuantum: orbital (awan peluang)



orbital 1s (bola)

orbital 2p (dua cuping)

Setiap titik menandai tempat elektron "tertangkap" bila posisinya diukur berkali-kali. Makin rapat titiknya, makin besar peluang elektron berada di sana. Bentuk orbital s, p, d, dan f dibahas di Bab 7.



DEFINISI • ORBITAL

Orbital adalah daerah di sekitar inti tempat peluang menemukan elektron paling besar (biasanya digambar sebagai daerah yang memuat $\pm 90\%$ peluang). Dalam **model mekanika kuantum**, elektron digambarkan sebagai **awan elektron**, bukan titik yang beredar di lintasan.

Bahasa sederhana • Pernah memotret kipas angin yang sedang berputar? Bilahnya tampak seperti cakram kabur. Kamu tahu bilahnya ada di suatu tempat di dalam cakram itu, tetapi tidak tahu tepatnya di mana pada saat tertentu. Awan elektron mirip cakram kabur itu: kita hanya tahu di mana elektron *kemungkinan besar* berada.



AWAS JEBAKAN

Elektron **tidak** mengitari inti seperti planet mengitari Matahari pada lintasan yang pasti. "Orbit" adalah lintasan dalam model Bohr, sedangkan "orbital" adalah awan peluang dalam model kuantum. Kata "kulit" (K, L, M, N) tetap dipakai untuk menyebut tingkat energi utama n .



GELOMBANG ELEKTRON YANG PAS MELINGKAR

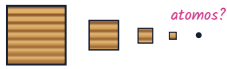
Elektron hidrogen di $n = 1$ bergerak dengan kelajuan $\pm 2,19 \times 10^6$ m/s. Panjang gelombang de Broglie-nya:

$$\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{6,626 \times 10^{-34}}{9,109 \times 10^{-31} \times 2,19 \times 10^6} = 3,32$$

Keliling orbit Bohr pertama $= 2\pi \times 0,0529$ nm $= 0,332$ nm, tepat satu panjang gelombang! Di kulit n , keliling lintasan memuat tepat n gelombang ($2\pi r = n\lambda$), seperti senar gitar yang hanya bergetar dengan nada tertentu. Itulah alasan tersembunyi mengapa energi elektron "berjenjang". Sebagai pembandingan, bola kasti 0,15 kg yang dilempar 40 m/s punya $\lambda \approx 10^{-34}$ m, terlalu kecil untuk teramati, sehingga benda sehari-hari tidak tampak bergelombang.

Mari rangkum seluruh perjalanan. Perhatikan bahwa setiap model baru tidak membuang semua model lama; model baru memperbaiki bagian yang gagal menjelaskan hasil percobaan.

Model	Tahun	Bukti utama	Gambaran atom	Kelemahan
Dalton	1803–1808	hukum kekekalan massa, perbandingan tetap & berganda	bola pejal tak terbagi	tak menjelaskan listrik, elektron, isotop
Thomson	1897/1904	sinar katode (rasio e/m)	bola positif bertabur elektron	gagal menjelaskan α yang memantul
Rutherford	1911	hamburan sinar α (Geiger–Marsden)	inti mungil positif; elektron beredar; hampir kosong	elektron seharusnya jatuh ke inti; tak menjelaskan spektrum garis
Bohr	1913	spektrum garis hidrogen	elektron di tingkat energi tertentu	hanya cocok untuk atom/ion berelektron tunggal
Mekanika kuantum	1926	sifat gelombang elektron	awan peluang (orbital)	model terbaik saat ini; matematikanya rumit

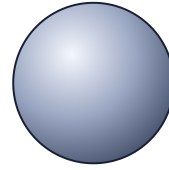


Demokritos • ±400 SM

Gagasan filsafat: materi yang dibelah terus akan berhenti pada butiran "atomos". Belum ada percobaan yang mendukung.



Langkah 1. Gagasan atom lahir dari pertanyaan sederhana: sampai kapan materi bisa dibelah? Jawaban Demokritos masih berupa tebakan cerdas.

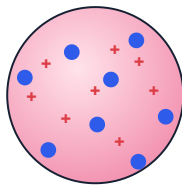


Dalton • 1803–1808

Bukti: kekekalan massa dan perbandingan tetap/berganda. Atom = bola pejal tak terbagi, seperti bola biliar mini.



Langkah 2. Dalton mengubah tebakan itu menjadi teori ilmiah berdasarkan data timbangan. Reaksi kimia = penataan ulang bola-bola atom.

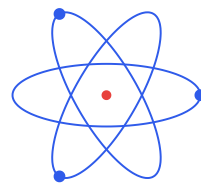


Thomson • 1897 & 1904

Bukti: sinar katode (elektron). Bola positif yang merata, bertabur elektron negatif, seperti roti kismis/semangka.



Langkah 3. Penemuan elektron membuktikan atom punya bagian. Thomson menaruh elektron di dalam bola bermuatan positif.

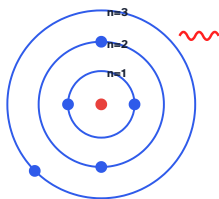


Rutherford • 1911

Bukti: hamburan sinar alfa. Inti mungil, positif, berat; elektron beredar di sekitarnya. Atom hampir seluruhnya kosong.



Langkah 4. Partikel α yang memantul memaksa Rutherford memusatkan muatan positif dan massa atom di inti yang sangat kecil.



Bohr • 1913

Bukti: spektrum garis hidrogen. Elektron di tingkat energi tertentu; lompatan antartingkat menyerap atau melepas foton.



Langkah 5. Bohr menjelaskan spektrum garis: elektron hanya boleh berada di tingkat energi tertentu.



Mekanika kuantum • 1926

Bukti: elektron bersifat gelombang. Elektron = awan peluang (orbital), bukan titik di lintasan yang pasti.



Langkah 6. Model mekanika kuantum menggambarkan elektron sebagai awan peluang (orbital). Inilah model yang dipakai kimiawan sekarang.



TRIK KAK TIRTA • URUTAN MODEL ATOM

Ingat Kimo yang pelit berbagi kue lapis: "**D**ia **T**idak **R**ela **B**agi **K**ue" = **D**alton, **T**hompson, **R**utherford, **B**ohr, **K**uantum. Lalu pasangan setiap nama dengan "senjatanya": timbangan, sinar katode, lembaran emas, spektrum garis, gelombang elektron.

MITOS

"Elektron mengitari inti seperti planet di lintasan yang pasti."

MITOS

"Atom itu padat, makanya batu terasa keras."

FAKTA

Itu gambaran model Bohr yang sudah diperbaiki. Menurut model kuantum, posisi elektron hanya bisa dinyatakan sebagai peluang di dalam orbital (awan elektron).

FAKTA

Hampir seluruh volume atom adalah ruang kosong. Batu terasa keras karena awan elektron atom-atomnya saling menolak dan terikat kuat, bukan karena atomnya penuh materi.

MITOS

"Model atom lama sudah salah, jadi tidak perlu dipelajari."

MITOS

"Warna kembang api berasal dari apinya yang lebih panas."

FAKTA

Setiap model menjelaskan sebagian data dengan baik. Model Dalton masih dipakai untuk menyetarakan reaksi, dan model Bohr tetap berguna untuk spektrum hidrogen dan kulit elektron.

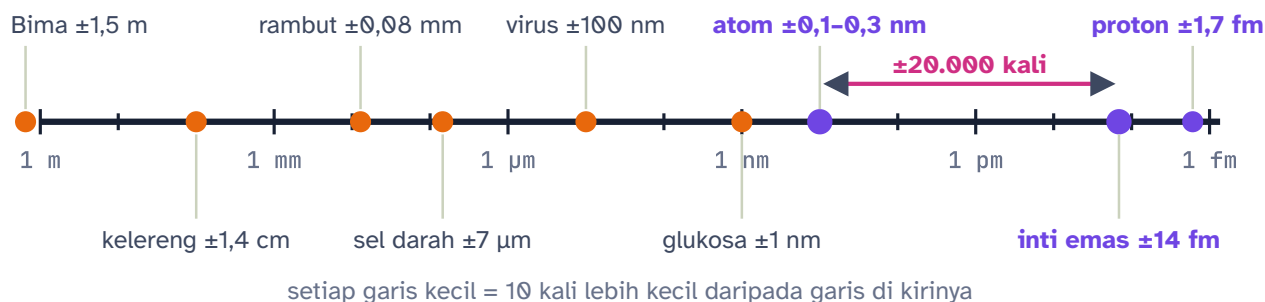
FAKTA

Warnanya berasal dari ion logam: elektron yang tereksitasi turun kembali dan memancarkan panjang gelombang khas. Stronsium merah, barium hijau, tembaga biru.

5.6 Seberapa kecil atom itu?

Diameter atom berkisar antara 0,1 dan 0,5 nanometer ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$). Atom hidrogen berdiameter $\pm 0,1 \text{ nm}$ dan atom emas $\pm 0,29 \text{ nm}$. Inti atomnya jauh lebih kecil lagi: hanya beberapa femtometer ($1 \text{ fm} = 10^{-15} \text{ m}$). Diameter atom kira-kira **10.000 sampai 100.000 kali** diameter intinya.

Bahasa sederhana • Sehelai rambutmu tebalnya $\pm 0,08 \text{ mm}$. Kalau atom emas dijejerkan melintang di atas rambut itu, dibutuhkan sekitar 280 ribu atom! Padahal hampir seluruh isi setiap atom itu adalah ruang kosong.



Penggaris logaritmik: setiap langkah ke kanan berarti 10 kali lebih kecil. Jarak dari atom ke intinya sama jauhnya dengan jarak dari sebutir kelereng ke sebuah sel darah merah!



KIMIA NUSANTARA · ATOM SELUAS STADION GBK

Bayangkan inti sebuah atom emas sebesar kelereng ($\pm 1,4$ cm) yang diletakkan di titik tengah lapangan Stadion Utama Gelora Bung Karno di Jakarta. Pada skala itu, atom emasnya berdiameter ± 290 m: elektron-elektron terluarnya berada kira-kira di sekitar tribun paling atas, ± 145 m dari kelereng. Seluruh ruang di antara kelereng dan tribun itu nyaris kosong, padahal kelereng itulah yang memuat lebih dari 99,9% massa atom!

$$D_{\text{atom}} = d_{\text{inti}} \times k$$

Diameter atom kira-kira puluhan ribu kali diameter intinya. Perbesar intinya, lalu lihat seberapa luas 'rumah' elektronnya.

 d_{inti}

Diameter model inti cm

 k

Perbandingan diameter atom : inti kali

 D_{atom}

Diameter model atom m

DIAMETER MODEL ATOM

288

m



kira-kira seukuran Stadion Utama GBK

Inti sebesar **1,4 cm** → atomnya selebar **288 m**, kira-kira **2,747** kali panjang lapangan sepak bola. Volume atomnya $\pm 8,742 \times 10^{12}$ kali volume intinya: hampir semuanya ruang kosong!

Satuan Nusantara: $\approx 2,2 \times$ tinggi Monas $\cdot \approx 2,7 \times$ panjang lapangan sepak bola $\cdot \approx 6\%$ dari tinggi Puncak Jaya

Cek satuan: cm $\times$ (tanpa satuan) $\div 100 = \text{m}$ ✓

RUMUS HIDUP: GESER NILAINYA DAN KUMPULKAN KARTUNYA DI [AURUMGEN.MY.ID/CHEMIPEDIA#RM-SKALA-INTI-ATOM](https://aurumgen.my.id/chemipedia#rm-skala-inti-atom)

Jari-jari atom emas 0,144 nm, sedangkan jari-jari intinya $\pm 7,0$ fm. Jika inti diperbesar menjadi kelereng berdiameter 1,4 cm, berapa diameter atom pada skala yang sama?

1 Samakan satuan: $0,144 \text{ nm} = 1,44 \times 10^{-10} \text{ m}$ dan $7,0 \text{ fm} = 7,0 \times 10^{-15} \text{ m}$.

2 Perbandingan: $k = \frac{1,44 \times 10^{-10}}{7,0 \times 10^{-15}} \approx 2,06 \times 10^4$ (sekitar 20.600 kali).

3 Diameter model atom = $1,4 \text{ cm} \times 20.600 = 28.800 \text{ cm} \approx 290 \text{ m}$.

Atomnya selebar $\pm 290 \text{ m}$, seukuran stadion besar. Perbandingan volumenya $k^3 \approx 9 \times 10^{12}$: inti menempati kurang dari sepertriliun volume atom.



FAKTA UNIK DARI KIMO

Karena hampir seluruh massa atom terkumpul di inti yang mungil, materi inti luar biasa padat: $\pm 2 \times 10^{17} \text{ kg}$ per meter kubik. Satu sendok teh materi inti murni akan bermassa sekitar **satu miliar ton**, lebih berat daripada semua kendaraan di Indonesia! Materi sepadat itu ada di alam semesta, yaitu di dalam bintang neutron.

Bisakah atom dilihat? Mikroskop cahaya tidak bisa, karena gelombang cahaya tampak (400–700 nm) ribuan kali lebih panjang daripada atom. Namun sejak 1981, **mikroskop penerowongan** (*scanning tunneling microscope*) dapat "meraba" permukaan logam dengan jarum setajam satu atom dan menampilkan atom-atomnya sebagai bukit-bukit kecil. Ilmuwan bahkan pernah menyusun puluhan atom satu per satu membentuk tulisan. Setelah dua ribu tahun, tebakan Demokritos akhirnya bisa "dipotret".

Kimia di sekitarmu



Kembang api Tahun Baru

Merah dari stronsium, hijau dari barium, biru dari tembaga, kuning dari natrium. Setiap warna adalah lompatan elektron tertentu.



Lampu jalan natrium

Lampu uap natrium memancarkan hampir hanya cahaya kuning 589 nm. Karena itu, di bawahnya mobil merah tampak gelap kecokelatan.



Observatorium Bosscha

Di Lembang, astronom memecah cahaya bintang menjadi spektrum. Garis-garisnya mengungkap unsur penyusun bintang yang jaraknya triliunan kilometer.



Papan reklame neon

Gas neon dalam tabung bertegangan tinggi berpendar merah-jingga. Warna lain diperoleh dari gas lain atau lapisan serbuk berpendar di kaca.



Mikroskop elektron

Laboratorium riset di universitas dan BRIN memakai berkas elektron, yang bersifat gelombang, untuk memotret virus dan partikel nano.



Detektor asap

Sebagian detektor asap di gedung dan hotel memakai sedikit amerisium-241 yang memancarkan partikel alfa, sama seperti pada percobaan Rutherford.

Cek Cepat

Percobaan yang membuktikan bahwa atom memiliki inti kecil bermuatan positif adalah ...

percobaan sinar katode Thomson

hamburan sinar alfa oleh lembaran emas

percobaan tetes minyak Millikan

uji nyala Bunsen dan Kirchhoff

Elektron atom hidrogen turun dari $n = 4$ ke $n = 2$. Foton yang dipancarkan berwarna ...

merah (656 nm)

ungu (410 nm)

biru kehijauan (486 nm)

ultraviolet (122 nm)

Menurut model mekanika kuantum, orbital adalah ...

daerah di sekitar inti dengan peluang terbesar menemukan elektron

lintasan berbentuk lingkaran tempat elektron beredar

jalur elips seperti orbit planet

bagian inti tempat proton berada

Kunci Cek Cepat: 1. B · 2. C · 3. A



Tantangan Rumah: spektroskop dari CD bekas

Bahan: 1 keping CD/DVD bekas, kotak kardus kecil (bekas pasta gigi atau teh celup), gunting, selotip hitam, dua potong kertas karton, pensil warna, serta lampu-lampu di rumah (lampu neon/LED, senter HP).

1. Minta orang dewasa memotong CD menjadi potongan $\pm 3 \times 3$ cm. Tutup tepi potongan yang tajam dengan selotip.
2. Di satu ujung kotak, buat celah tegak yang sangat sempit (± 1 mm) dengan menempelkan dua potong karton yang hampir bersentuhan.
3. Di ujung lain, tempelkan potongan CD di dalam kotak, sisi mengkilap menghadap celah, dimiringkan $\pm 45^\circ$. Buat lubang intip di sisi atas kotak dekat CD.
4. Arahkan celah ke lampu neon atau LED, lalu intip. Putar kotak perlahan sampai pita warna tampak jelas.
5. Ulangi untuk layar HP berwarna kuning dan langit biru siang hari. Gambar setiap spektrum dengan pensil warna.

Keselamatan: jangan pernah mengarahkan spektroskop atau matamu langsung ke Matahari, karena dapat merusak retina secara permanen. Pemotongan CD dilakukan orang dewasa. Jangan membongkar atau memecahkan lampu neon hemat energi, karena berisi sedikit uap raksa.

Pertanyaan: Sumber cahaya mana yang memberi pelangi utuh, dan mana yang berupa garis-garis terpisah? Mengapa layar HP yang tampak kuning ternyata tidak memancarkan cahaya kuning sama sekali?



RINGKASAN KILAT

Bab 5 dalam 3 menit

✓ Kamu sekarang bisa...

- menceritakan perkembangan model atom **Dalton, Thomson, Rutherford, Bohr**, dan **mekanika kuantum** beserta percobaan yang melahirkannya

- menjelaskan bukti adanya **elektron** (sinar katode) dan **inti atom** (hamburan sinar alfa)
- menghitung energi elektron pada **tingkat energi Bohr** dan panjang gelombang **foton** yang dipancarkan saat elektron berpindah tingkat
- menghubungkan **spektrum garis** dan warna **uji nyala** dengan lompatan elektron
- membandingkan ukuran inti dengan ukuran atom dan menjelaskan mengapa atom hampir seluruhnya **ruang kosong**

Istilah kunci

atom Atom Elektron partikel alfa Inti atom Spektrum emisi foton
tingkat energi keadaan dasar keadaan tereksitasi uji nyala Orbital
model mekanika kuantum

Rumus penting

$$E_n = -\frac{13,6 Z^2}{n^2} \text{ eV}$$

Energi elektron pada tingkat Bohr. Makin jauh tingkatnya dari inti (n makin besar), energinya makin mendekati nol: elektron makin longgar terikat.

$$\lambda = \frac{hc}{\Delta E}$$

Panjang gelombang foton dari selisih energi.

Makin besar lompatan energi elektron, makin pendek gelombang cahaya yang dilepaskan: dari merah ke ungu, lalu ultraviolet.

$$D_{\text{atom}} = d_{\text{inti}} \times k$$

Kalau inti atom diperbesar.... Diameter atom kira-kira puluhan ribu kali diameter intinya. Perbesar intinya, lalu lihat seberapa luas 'rumah' elektronnya.

Jangan sampai terjebak

- "Tak terbagi dalam reaksi kimia" tidak sama dengan "tak punya bagian".
- Atom bukan bola padat yang penuh materi.
- Uji nyala dengan pembakar hanya dilakukan di laboratorium sekolah bersama guru.

 **Tangga Latihan:** 24 soal bab ini (Lv 1 Pemula sampai Lv 6 Olimpiade) ada di PDF Bank Soal dan di aurumgen.my.id/chemipedia#soal?bab=5

Teka-teki untuk Bab 6

Semua atom karbon punya 6 proton di intinya. Tetapi ada atom karbon yang "lebih berat", dan "jam atom" seperti inilah yang dipakai arkeolog untuk menentukan umur temuan purbakala. Bagaimana mungkin atom-atom satu unsur punya massa berbeda, padahal Dalton bilang atom satu unsur identik?

▼ Intip petunjuk

Inti atom tidak hanya berisi proton. Pada 1932, James Chadwick menemukan partikel netral di dalam inti: **neutron**. Karbon-12 punya 6 neutron, sedangkan karbon-14 punya 8 neutron. Atom satu unsur dengan jumlah neutron berbeda disebut **isotop**. Karbon-14 cocok untuk benda berumur sampai ± 50.000 tahun; untuk lapisan fosil Sangiran yang berumur jutaan tahun, ilmuwan memakai "jam isotop" lain, misalnya argon pada abu vulkanik. Semua itu dibahas di Bab 6.

06

Partikel Atom, Isotop & Massa Atom: Menimbang yang Tak Terlihat

Semua atom karbon punya 6 proton, tetapi tidak semuanya sama berat. Ada karbon "gemuk" yang bisa menjadi jam penunjuk umur, dan ada klorin yang massanya 35,45, bukan bilangan bulat. Mari membongkar isi atom dan menimbanginya!

Setelah bab ini, kamu bisa

- menyebutkan **muatan, massa relatif, dan letak** proton, neutron, dan elektron;
- menentukan jumlah proton, neutron, dan elektron dari **notasi nuklida** A_ZX , untuk atom maupun **ion**;
- membedakan **isotop, isobar, dan isoton**, serta isotop stabil dan radioaktif;
- menghitung **massa atom relatif (Ar)** sebagai rata-rata berbobot dari kelimpahan isotop, dan sebaliknya;
- membaca **spektrum massa** (klorin, brom, magnesium) dan menjelaskan cara kerja spektrometer massa.

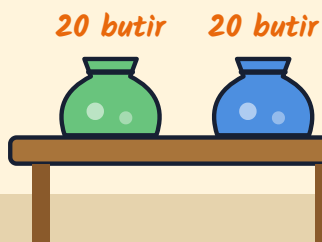
KEMBAR YANG BEDA BERAT

KOMIK · 4 PANEL

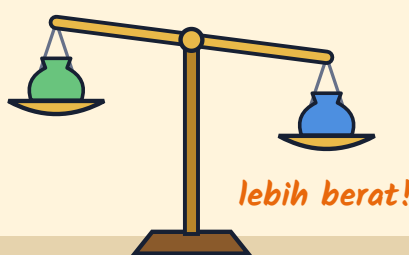
Sabtu sore, di teras rumah Laras

BIMA

Laras, dua kantong ini sama-sama berisi 20 kelereng. Jumlahnya sama, jadi beratnya pasti sama, dong!

**LARAS**

Jangan menebak, Bim, kita timbang! ... Lho, miring! Kantong biru lebih berat. Jumlahnya sama, kok massanya beda?



KAK TIRTA

Kelereng biru ternyata berinti gotri besi.
Dari luar kembar, dalamnya beda. Atom juga punya "kembar" seperti ini. Namanya **isotop**!



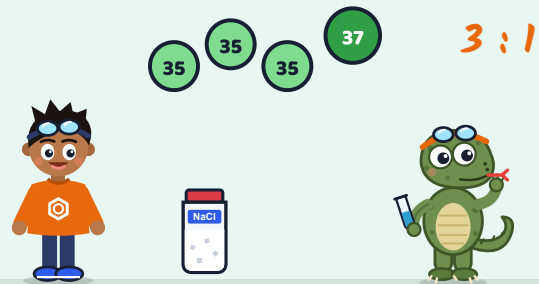
Kimo ikut nimbrung...

KIMO

Klorin di garam dapurmu juga campuran dua kembar: Cl-35 dan Cl-37, kira-kira 3 : 1.

BIMA

Rata-rata 35 dan 37 itu 36... eh, benarkah?



Tebak Dulu!

Di tabel periodik, massa atom relatif klorin tertulis 35,45. Mengapa angkanya tidak bulat?

Karena atom klorin punya "setengah proton" atau "setengah neutron".

Karena timbangan para ilmuwan kurang teliti.

Karena 35,45 adalah rata-rata dari campuran atom Cl-35 dan Cl-37.

Karena massa elektron menambah 0,45 pada nomor massa 35.

Jawabannya: rata-rata campuran isotop. Tidak ada satu pun atom klorin bermassa 35,45. Sekitar 3 dari 4 atom klorin adalah Cl-35, sisanya Cl-37. Rata-ratanya lebih dekat ke 35, persis seperti nilai rata-rata kelas yang lebih dekat ke nilai kebanyakan siswa. Tidak ada setengah proton, dan elektron terlalu ringan untuk menambah 0,45. Bab ini mengajarkan cara menghitungnya.

6.1 Tiga partikel penyusun atom

Di Bab 5 kamu sudah mengikuti para ilmuwan membongkar atom. Hasilnya, setiap atom tersusun atas tiga jenis **partikel subatom**. Dua di antaranya, **proton** dan **neutron**, berdesakan di **inti atom** yang sangat mungil. Partikel ketiga, **elektron**, bergerak di ruang luas di sekeliling inti.

Bahasa sederhana • Bayangkan atom seperti sebuah desa. Di tengahnya ada balai desa yang sangat padat, yaitu inti. Di balai itu tinggal warga bermuatan positif (proton) dan warga netral (neutron). Di sekelilingnya, warga yang sangat ringan dan bermuatan negatif (elektron) berlarian ke sana kemari. Desa ini hampir seluruhnya berupa lapangan kosong!

Partikel	Lambang	Muatan relatif	Massa relatif	Massa sebenarnya	Letak	Ditemukan
Proton	${}_1^1\text{p}$ atau p^+	+1	1	$1,673 \times 10^{-27} \text{ kg}$	inti	Rutherford, 1919
Neutron	${}_0^1\text{n}$ atau n^0	0	1	$1,675 \times 10^{-27} \text{ kg}$	inti	Chadwick, 1932
Elektron	${}_{-1}^0\text{e}$ atau e^-	-1	$\frac{1}{1836} (\approx 0,0005)$	$9,109 \times 10^{-31} \text{ kg}$	di luar inti (kulit/awan elektron)	Thomson, 1897

Dua hal penting dari tabel itu:

- **Muatan proton dan elektron sama besar** ($1,602 \times 10^{-19}$ coulomb) tetapi berlawanan tanda. Jadi atom yang punya jumlah proton dan elektron sama bersifat **netral**.
- **Proton dan neutron hampir sama berat, elektron sangat ringan.** Kalau satu proton seberat sekarung beras 50 kg, satu neutron kira-kira 50,07 kg, sedangkan satu elektron hanya ± 27 gram, kira-kira dua sendok makan gula pasir.

Akibatnya, lebih dari 99,9% massa atom terkumpul di inti. Pada atom karbon, keenam elektronnya hanya menyumbang $\pm 0,03\%$ massa. Saat menimbang atom, elektron hampir boleh diabaikan.



TAMU DARI MASA LALU • PARTIKEL TANPA MUATAN

Pada 1920 Ernest Rutherford menduga ada partikel netral di dalam inti, sebab massa inti jauh lebih besar daripada jumlah protonnya. Partikel tanpa muatan sangat sulit ditangkap karena tidak ditarik atau ditolak oleh listrik. Pada 1932 **James Chadwick** menembaki logam berilium dengan partikel alfa. Keluarlah "sinar" tak bermuatan yang mampu menendang proton keluar dari lilin parafin. Chadwick membuktikan bahwa sinar itu adalah partikel netral yang massanya hampir sama dengan proton: **neutron**. Ia meraih Nobel Fisika 1935.

6.2 Nomor atom, nomor massa, dan ion

Setiap warga Indonesia punya NIK di KTP-nya. Atom juga punya "KTP", yaitu **jumlah protonnya**. Semua atom dengan 6 proton pasti karbon. Semua atom dengan 8 proton pasti oksigen. Tambah satu proton saja, unsurnya berubah!



DEFINISI · NOMOR ATOM DAN NOMOR MASSA

Nomor atom (Z) adalah jumlah proton dalam inti. Nomor atom menentukan jenis unsur.

Nomor massa (A) adalah jumlah proton ditambah neutron dalam inti. Proton dan neutron bersama-sama disebut **nukleon**. Atom dengan Z dan A tertentu disebut **nuklida**.

Keduanya ditulis dalam **notasi nuklida**. Nomor massa di kiri atas, nomor atom di kiri bawah, dan muatan (bila ada) di kanan atas:

$${}^A_Z\text{X}^{\text{muatan}} \quad N = A - Z$$

nomor massa A

= proton + neutron = 35

35

nomor atom Z

= jumlah proton = 17

17

Cl

muatan ion: 1-

kelebihan 1 elektron

-

lambang unsur

Cl = klorin

Ion klorida dari garam dapur, ${}^{35}_{17}\text{Cl}^-$: 17 proton, $35 - 17 = 18$ neutron, dan $17 + 1 = 18$ elektron.



TRIK KAK TIRTA · A DI ATAS

"A di Atas, Z di bawah." Angka besar di atas selalu nomor massa, angka kecil di bawah selalu nomor atom. Lalu ingat tiga peran partikel: **proton = KTP** (tidak boleh diganti, menentukan unsur), **neutron = berat badan** (boleh beda, unsurnya tetap), **elektron = jaket** (boleh dilepas atau ditambah, membentuk ion).



Tebak Dulu!

Atom natrium berubah menjadi ion Na^+ di dalam garam dapur. Apa yang terjadi pada atom itu?

Natrium mendapat satu proton tambahan, jadi muatannya positif.

Natrium melepaskan satu elektron, jadi protonnya lebih banyak satu.

Natrium kehilangan satu neutron.

Natrium mendapat satu elektron.

Jawabannya: melepaskan satu elektron. Ion terbentuk karena atom melepas atau menerima elektron. Proton tidak ikut berpindah dalam reaksi kimia. Seandainya natrium mendapat proton, ia berubah menjadi magnesium! Natrium punya 11 proton dan 11 elektron. Setelah melepas 1 elektron tinggal 10 elektron, sehingga muatannya $11 - 10 = +1$.

Atom bisa melepas atau menerima elektron. Hasilnya adalah **ion**, partikel bermuatan listrik. Proton dan neutronnya tidak berubah sedikit pun.



DEFINISI • KATION DAN ANION

Kation adalah ion bermuatan positif. Kation terbentuk saat atom **melepas** elektron, sehingga proton lebih banyak daripada elektron. Contoh: Na^+ , Mg^{2+} , Al^{3+} .

Anion adalah ion bermuatan negatif. Anion terbentuk saat atom **menerima** elektron, sehingga elektron lebih banyak daripada proton. Contoh: Cl^- , O^{2-} , N^{3-} .



ATURAN • MENGHITUNG PARTIKEL DARI NOTASI

$$p = Z \quad n = A - Z \quad e = Z - (\text{muatan ion})$$

Untuk atom netral, muatannya 0, jadi $e = p$. Untuk Al^{3+} : $e = 13 - (+3) = 10$. Untuk O^{2-} : $e = 8 - (-2) = 10$.

Notasi	Proton	Neutron	Elektron	Jenis
${}_{11}^{23}\text{Na}$	11	12	11	atom netral
${}_{11}^{23}\text{Na}^+$	11	12	10	kation

$^{16}_8\text{O}^{2-}$	8	8	10	anion
$^{27}_{13}\text{Al}^{3+}$	13	14	10	kation
$^{35}_{17}\text{Cl}^{-}$	17	18	18	anion
$^{56}_{26}\text{Fe}^{3+}$	26	30	23	kation (karat besi)



AWAS JEBAKAN

Ion terbentuk dengan menambah atau mengurangi **elektron**, bukan proton. Muatan positif berarti *kekurangan* elektron. Ingat seperti utang: kehilangan sesuatu yang negatif membuatmu makin "positif". Mengubah jumlah proton berarti mengubah unsurnya, dan itu hanya terjadi pada reaksi inti (Bab 37), bukan reaksi kimia biasa.

RUMUS HIDUP Proton, neutron, elektron dari notasi

$$n = A - Z \quad e = Z - q$$

Nomor atom memberi jumlah proton. Nomor massa dikurangi nomor atom memberi jumlah neutron. Elektron sama dengan proton dikurangi muatan ion.

A Nomor massa

Z Nomor atom

q Muatan ion

n Jumlah neutron

JUMLAH NEUTRON

18

neutron

anion: elektron lebih banyak daripada proton

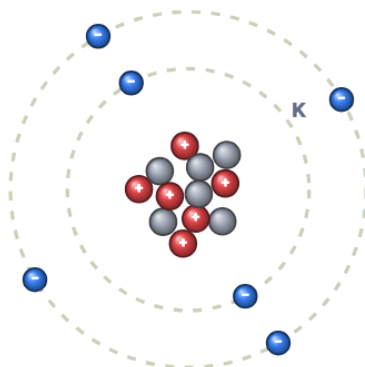
ion klorida dari garam dapur

Partikel ini punya **17** proton, **18** neutron, dan **18** elektron. (Tanda — berarti mustahil.)

Cek satuan: semua besaran berupa bilangan cacah (banyaknya partikel)

RUMUS HIDUP: GESER NILAINYA DAN KUMPULKAN KARTUNYA DI [AURUMGEN.MY.ID/CHEMIPEDIA#RM-PARTIKEL-NOTASI](https://aurumgen.my.id/chemipedia#RM-PARTIKEL-NOTASI)

✓ Tantangan 1/12: Buat atom karbon-12 yang netral (^{12}C).



susunan elektron: 2, 4

12

6 C

Karbon-12

-

6 proton

+

-

6 neutron

+

-

6 elektron

+

muatan 0 • netral

inti stabil ✓

Unsur

Karbon-12

Notasi

 $^{12}_6\text{C}$

Nomor massa A

12

Muatan

0 (netral)

Jenis

atom netral

Inti

inti stabil ✓

Geser slider atau ketuk tombol – dan + di gambar. Perhatikan: apa yang berubah saat kamu menambah **proton**? Bagaimana kalau hanya **neutron**? Atau hanya **elektron**? Kerjakan tantangan di pita kuning, misalnya "buat ion O^{2-} ", lalu tekan ⌂ untuk tantangan berikutnya. Label "inti" memberi tahu apakah inti rakitanmu stabil atau radioaktif.

CONTOH

Membaca notasi ion

Tentukan jumlah proton, neutron, dan elektron dalam ion $^{27}_{13}\text{Al}^{3+}$ dan ion $^{32}_{16}\text{S}^{2-}$.

1 Al^{3+} : proton = $Z = 13$; neutron = $27 - 13 = 14$; elektron = $13 - 3 = 10$.

2 S^{2-} : proton = 16; neutron = $32 - 16 = 16$; elektron = $16 + 2 = 18$.

Al^{3+} : 13 p, 14 n, 10 e. S^{2-} : 16 p, 16 n, 18 e. Perhatikan: muatan hanya mengubah jumlah elektron, inti tetap sama.



KELUARGA 10 ELEKTRON

O^{2-} , F^{-} , Ne, Na^{+} , Mg^{2+} , dan Al^{3+} sama-sama punya **10 elektron**. Partikel dengan jumlah elektron sama disebut **isoelektronik**. Susunan elektronnya sama dengan neon, gas mulia yang sangat stabil. Di Bab 7 dan Bab 10 kamu akan melihat mengapa banyak ion "ingin" meniru gas mulia.



ADU CEPAT

Adu Cepat: hitung neutron

ADU CEPAT • MAINKAN DI AURUMGEN.MY.ID/CHEMIPEDIA#BAB-6

Latihan kilat 60 detik dengan soal acak dan rekor pribadi.

$n = A - Z$: angka atas dikurangi angka bawah.



ADU CEPAT

Adu Cepat: hitung elektron ion

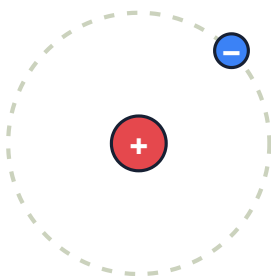
ADU CEPAT • MAINKAN DI AURUMGEN.MY.ID/CHEMIPEDIA#BAB-6

Latihan kilat 60 detik dengan soal acak dan rekor pribadi.

$e = Z - \text{muatan}$. Muatan $2+$ berarti 2 elektron lepas; muatan $2-$ berarti 2 elektron masuk.

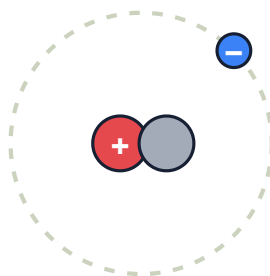
6.3 Isotop: kembar yang beda berat

Kembali ke kelereng Bima. Dua kelereng bisa tampak kembar dari luar tetapi berbeda isinya. Atom juga begitu. Semua atom hidrogen punya 1 proton, tetapi ada yang intinya hanya berisi proton, ada yang ditemani 1 neutron, dan ada yang ditemani 2 neutron.



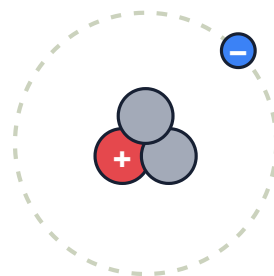
protium ^1H

1 p · 0 n · $\pm 99,98\%$



deuterium ^2H (D)

1 p · 1 n · $\pm 0,015\%$



tritium ^3H (T)

1 p · 2 n · radioaktif

Tiga isotop hidrogen. Semuanya punya 1 proton dan 1 elektron, jadi sifat kimianya sama. Yang berbeda hanya jumlah neutron, sehingga massanya berbeda. Tritium meluruh dengan waktu paruh 12,3 tahun.



DEFINISI · ISOTOP, ISOBAR, ISOTON

Isotop: atom-atom dari unsur yang sama (nomor atom Z sama) tetapi nomor massanya berbeda karena jumlah neutronnya berbeda. Contoh: $^{12}_6\text{C}$, $^{13}_6\text{C}$, $^{14}_6\text{C}$.

Isobar: atom-atom unsur berbeda yang nomor massanya sama. Contoh: $^{14}_6\text{C}$ dan $^{14}_7\text{N}$; $^{40}_{18}\text{Ar}$, $^{40}_{19}\text{K}$, dan $^{40}_{20}\text{Ca}$.

Isoton: atom-atom unsur berbeda yang jumlah neutronnya sama. Contoh: $^{13}_6\text{C}$ dan $^{14}_7\text{N}$ (sama-sama 7 neutron).



TRIK KAK TIRTA · HURUF TERAKHIR YANG SAMA

Lihat huruf penting di setiap nama: isoto**P** → Proton sama; isob**A**r → nomor massa **A** sama; isoto**N** → Neutron sama.

Bahasa sederhana · Isotop itu seperti saudara kembar yang memakai baju sama (elektron sama) dan punya nama keluarga sama (proton sama), tetapi berat badannya berbeda (neutron berbeda). Karena bajunya sama, cara mereka bergaul dengan atom lain juga sama.

Mengapa sifat kimia isotop sama? Reaksi kimia hanya melibatkan **elektron**, terutama elektron terluar. Isotop-isotop satu unsur punya jumlah dan susunan elektron yang sama, jadi bereaksi dengan cara yang sama. Garam dari Cl-35 dan garam dari Cl-37 sama asinnya. Yang berbeda adalah **sifat fisika** yang bergantung pada massa: massa jenis, titik didih, dan kecepatan berdifusi.



AIR BERAT: ES YANG TENGGELAM

Air berat, D_2O , dibuat dari deuterium. Rasanya tidak bisa dibedakan dari air biasa, tetapi massa jenisnya $\pm 1,11$ g/mL, titik didihnya $101,4$ °C, dan titik bekunya $3,8$ °C. Es batu air berat **tenggelam** di dalam air biasa! Air berat dipakai di beberapa reaktor nuklir untuk memperlambat neutron.

Coba ikuti animasi ini. Perhatikan kapan unsurnya tetap, dan kapan unsurnya berganti.



?
6 C

$Z = 6 \rightarrow$ pasti **KARBON**

$$p = 6 \cdot n = 0 \cdot e = 0$$

(bayangkan dulu inti berisi proton saja)

Langkah 1. Mulai dari inti berisi 6 proton (merah). Jumlah proton menentukan unsur: $Z = 6$ berarti **karbon**. (Inti sungguhan selalu butuh neutron sebagai "lem"; ini baru bayangan.)



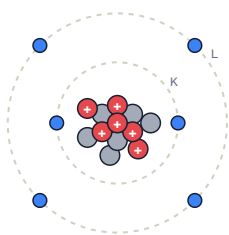
12
6 C

$$A = p + n = 6 + 6 = 12$$

$$p = 6 \cdot n = 6 \cdot e = 0$$

inti karbon-12

Langkah 2. Masukkan 6 neutron (abu-abu). Nomor massa $A = 6 + 6 = 12$. Kita punya inti **karbon-12**.



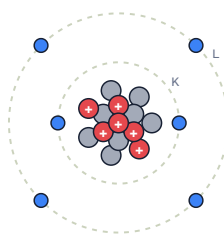
12
6 C

atom netral: muatan 0

$$p = 6 \cdot n = 6 \cdot e = 6$$

6 muatan (+) dan 6 muatan (-)

Langkah 3. Tambahkan 6 elektron di kulit K (2) dan kulit L (4). Muatan $6+$ dan $6-$ saling meniadakan: atom $^{12}_6\text{C}$ yang **netral**.



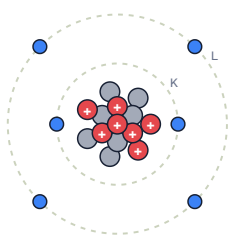
14
6 C

masih **KARBON** (Z tetap 6)

$$p = 6 \cdot n = 8 \cdot e = 6$$

isotop karbon, radioaktif

Langkah 4. Tambahkan 2 neutron lagi. Proton tetap 6, jadi atom ini **masih karbon**, yaitu $^{14}_6\text{C}$, isotop karbon. Kelebihan neutron membuat intinya tidak stabil (radioaktif).



14
7 N⁺

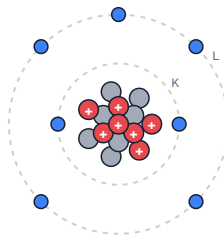
$$n \rightarrow p^+ + e^- \text{ (sinar } \beta^-)$$

$$p = 7 \cdot n = 7 \cdot e = 6$$

proton bertambah: unsur **BERUBAH!**

sinar β^- : elektron cepat keluar dari inti

Langkah 5. Suatu saat satu neutron berubah menjadi proton sambil menembakkan elektron cepat (sinar beta). Kini ada **7 proton**: unsurnya berubah menjadi **nitrogen**! Elektronnya masih 6, jadi untuk sementara ia ion N^+ .



14
7 N

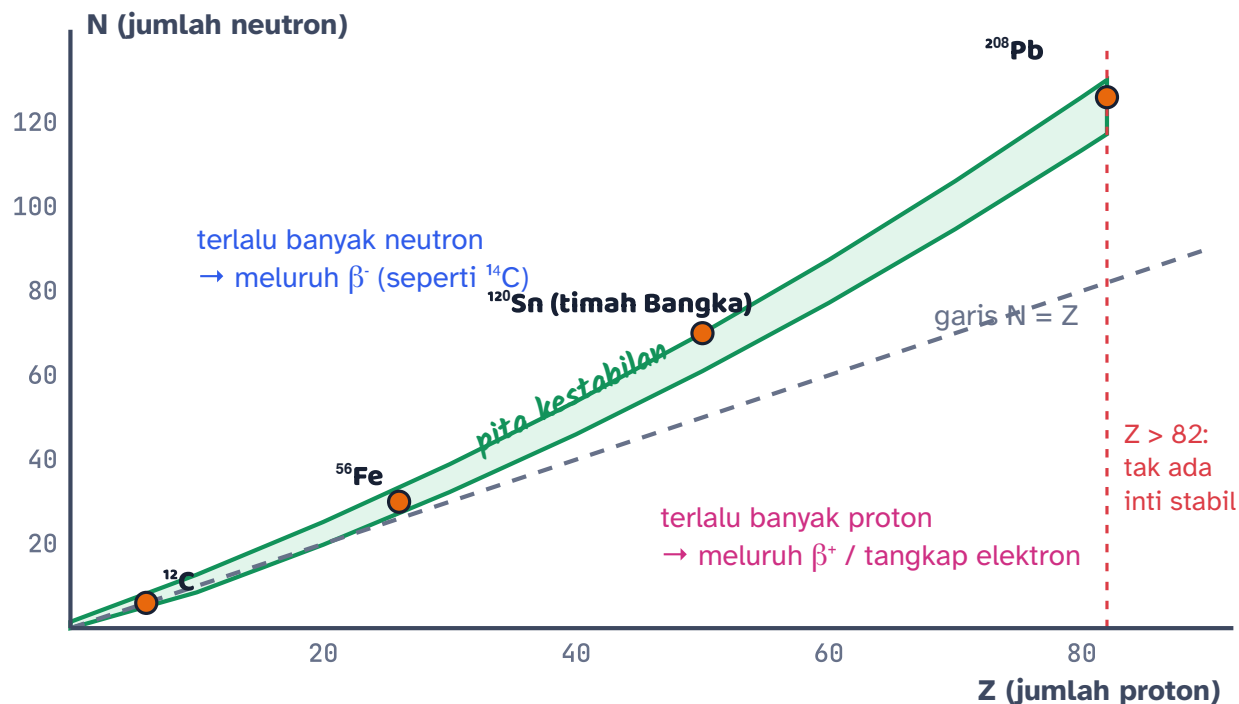
nitrogen-14, atom netral

$$p = 7 \cdot n = 7 \cdot e = 7$$

isobar karbon-14: A sama, Z beda

Langkah 6. Ion itu segera menangkap satu elektron dari sekitarnya: $^{14}_7\text{N}$ netral. Karbon-14 dan nitrogen-14 adalah **isobar**. Begitulah karbon-14 di fosil perlahan "menghilang" menjadi nitrogen.

Ada isotop yang intinya **stabil**, tidak berubah selamanya. Ada pula yang intinya tidak stabil sehingga meluruh sambil memancarkan radiasi. Isotop seperti ini disebut **isotop radioaktif** atau radioisotop. Dari ± 3.000 nuklida yang sudah dikenal, hanya sekitar 250 yang stabil. Inti stabil berkumpul di sebuah "pita" yang sempit.



Pita kestabilan. Inti ringan stabil bila jumlah neutron $\approx$ jumlah proton. Inti berat butuh neutron lebih banyak (timbal-208: 126 neutron untuk 82 proton) karena neutron menambah "lem" tanpa menambah tolak-menolak listrik antarproton.



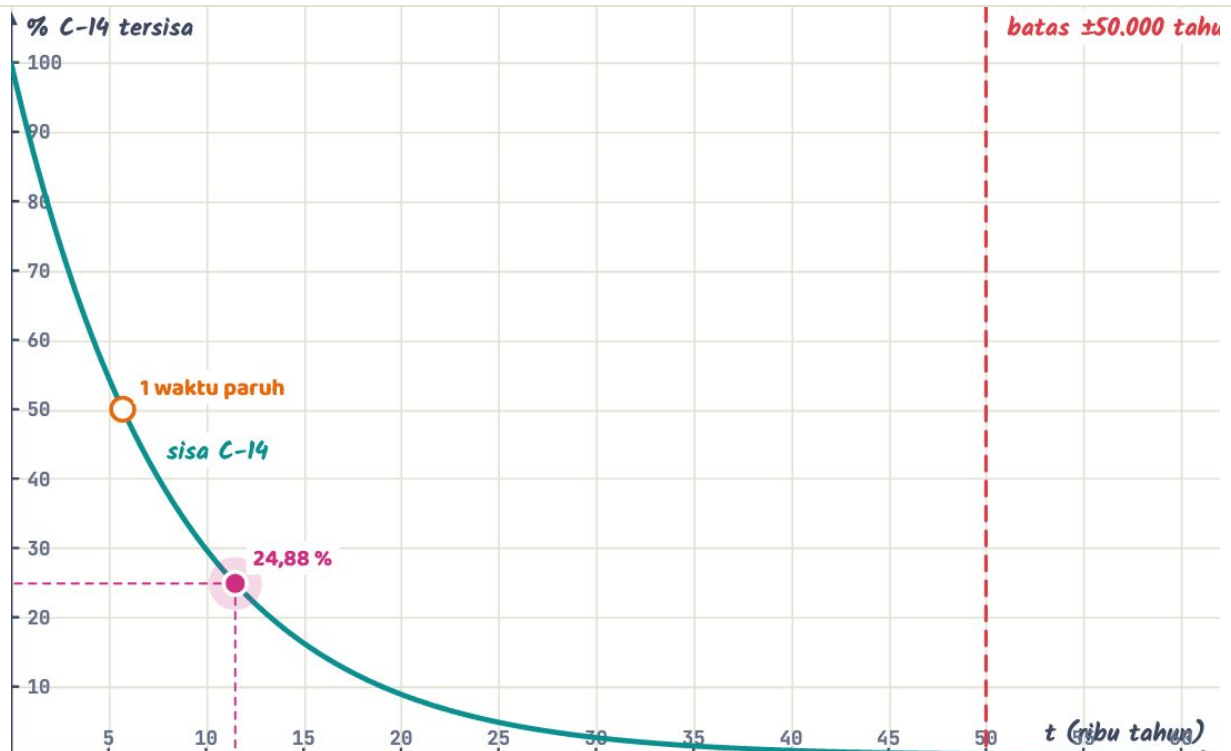
TAMU DARI MASA LALU · NAMA DARI "TEMPAT YANG SAMA"

Pada 1913 kimiawan Inggris **Frederick Soddy** menyadari bahwa beberapa zat hasil peluruhan radioaktif bermassa berbeda tetapi sifat kimianya sama persis, sehingga harus menempati kotak yang sama di tabel periodik. Atas usul dokter Margaret Todd, ia menamainya *isotop*, dari bahasa Yunani *isos* (sama) dan *topos* (tempat). Soddy meraih Nobel Kimia 1921. Pada tahun yang sama, J.J. Thomson menemukan bahwa gas neon biasa pun tersusun atas dua jenis atom, bermassa 20 dan 22.

Isotop radioaktif meluruh dengan laju yang tetap, diukur dengan **waktu paruh** ($t_{1/2}$): waktu yang dibutuhkan sampai separuh atomnya meluruh. Inilah dasar "jam atom" untuk menanggali benda purba. Karbon-14 terus terbentuk di udara atas saat neutron dari sinar kosmik menabrak nitrogen. Tumbuhan menyerapnya lewat CO_2 , dan hewan memakan tumbuhan. Setelah makhluk hidup mati, pasokan karbon-14 berhenti dan yang tersisa meluruh dengan waktu paruh 5.730 tahun.

$$\frac{N}{N_0} = \left(\frac{1}{2}\right)^{t/5730}$$

$$t = 11,5 \text{ ribu tahun} \Rightarrow \text{sisa } ^{14}\text{C} = 24,88 \%$$



dua waktu paruh: tinggal seperempat

sisa C-14

24,88 %

banyaknya waktu paruh

2,01

Seret titik magenta. Setiap 5.730 tahun, sisa karbon-14 tinggal separuhnya. Mulai umur berapa sisanya terlalu sedikit untuk diukur dengan teliti?



KIMIA NUSANTARA · MENANGGALI MANUSIA PURBA SANGIRAN

Situs Sangiran di Sragen, Jawa Tengah, menyimpan fosil *Homo erectus* yang berumur ratusan ribu hingga lebih dari satu juta tahun. Karbon-14 tidak sanggup menanggalinya: setelah ± 50.000 tahun, karbon-14 yang tersisa sudah terlalu sedikit. Para peneliti memakai jam isotop lain yang jauh lebih lambat, yaitu **kalium-40** (waktu paruh 1,25 miliar tahun) yang meluruh menjadi **argon-40** di dalam lapisan abu gunung api yang mengapit fosil. Sementara itu, lukisan tangan di gua-gua Maros-Pangkep, Sulawesi Selatan, yang berumur lebih dari 40.000 tahun ditanggali dengan isotop **uranium dan torium** pada kerak kapur yang menutupinya. Isotop adalah kalender sejarah Nusantara!



AWAS JEBAKAN

Karbon-14 tidak bisa menangali semua benda tua. Ia hanya untuk bahan yang pernah hidup (kayu, arang, tulang, kain) dan berumur kurang dari ± 50.000 tahun. Batuan, fosil jutaan tahun, dan dinosaurus ditanggali dengan isotop lain seperti kalium-40 atau uranium-238.

CONTOH Isotop, isobar, atau isoton?

Tentukan hubungan setiap pasangan: (a) $^{35}_{17}\text{Cl}$ dan $^{37}_{17}\text{Cl}$; (b) $^{40}_{19}\text{K}$ dan $^{40}_{20}\text{Ca}$; (c) $^{39}_{19}\text{K}$ dan $^{40}_{20}\text{Ca}$.

- 1 (a) Z sama-sama 17, A berbeda (35 dan 37) $\rightarrow$ **isotop**.
- 2 (b) A sama-sama 40, Z berbeda $\rightarrow$ **isobar**.
- 3 (c) Neutron: $39 - 19 = 20$ dan $40 - 20 = 20$. Jumlah neutron sama $\rightarrow$ **isoton**.

(a) isotop, (b) isobar, (c) isoton. Kuncinya: hitung dulu Z , A , dan $N = A - Z$ untuk kedua atom, lalu lihat mana yang sama.

6.4 Menimbang atom: satuan massa atom dan A_r

Satu atom karbon-12 bermassa $1,993 \times 10^{-23}$ gram. Menuliskan angka sekecil itu setiap hari sangat merepotkan. Kimiawan memakai cara yang lebih cerdas: membandingkan massa atom dengan sebuah **anak timbangan standar**, sama seperti pedagang membandingkan barang dengan anak timbangan di pasar.



DEFINISI · SATUAN MASSA ATOM DAN MASSA ATOM RELATIF

Satuan massa atom (sma, lambang u atau Da) adalah $\frac{1}{12}$ massa satu atom karbon-12:

$$1 \text{ u} = \frac{1}{12} \times 1,993 \times 10^{-23} \text{ g} = 1,6605 \times 10^{-24} \text{ g}$$

Massa atom relatif (A_r) suatu unsur adalah massa rata-rata satu atom unsur itu dibandingkan dengan $\frac{1}{12}$ massa satu atom karbon-12:

$$A_r \text{ X} = \frac{\text{massa rata-rata 1 atom X}}{\frac{1}{12} \times \text{massa 1 atom } ^{12}\text{C}}$$

Karena berupa perbandingan, A_r **tidak bersatuan**.

Bahasa sederhana · Bayangkan kamu menimbang semua benda dengan "satuan kelereng". Kalau sebuah bola beratnya sama dengan 12 kelereng, kita sebut beratnya 12. Atom juga ditimbang dengan "kelereng atom", yaitu seperdua belas atom karbon-12. Atom besi kira-kira seberat 56 kelereng atom, jadi A_r besi ± 56 .

RUMUS HIDUP Ar dari massa satu atom

$$A_r = \frac{m_{\text{atom}}}{1,6605 \times 10^{-24} \text{ g}}$$

Ar menjawab pertanyaan: satu atom unsur ini berapa kali lebih berat daripada seperdua belas atom karbon-12?

m_{atom}

Massa rata-rata satu atom $\times 10^{-24} \text{ g}$

A_r

Massa atom relatif

MASSA ATOM RELATIF

55,84

 besi

Satu atom ini **55,84** kali lebih berat daripada 1 u, jadi satu mol atomnya bermassa **55,84** gram.

Cek satuan: $\text{g} \div \text{g} = \text{tanpa satuan}$ (karena itu disebut relatif)

RUMUS HIDUP: GESER NILAINYA DAN KUMPULKAN KARTUNYA DI AURUMGEN.MY.ID/CHEMIPEDIA#RM-AR-DARI-MASSA-ATOM

Tetapi hampir setiap unsur di alam adalah **campuran isotop**. Klorin di garam Madura, air laut, maupun air PDAM selalu berisi $\pm 75,8\%$ atom Cl-35 dan $\pm 24,2\%$ atom Cl-37. Maka A_r yang tertulis di tabel periodik adalah **rata-**

rata berbobot: setiap isotop "bersuara" sebanyak kelimpahannya.



ATURAN • AR SEBAGAI RATA-RATA BERBOBOT

$$A_r = \frac{\sum(\text{massa isotop} \times \text{kelimpahan } \%)}{100}$$

Untuk klorin: $A_r = \frac{34,969 \times 75,8 + 36,966 \times 24,2}{100} = 35,45$.

Kalau massa isotop didekati dengan nomor massanya (35 dan 37), hasilnya $35,48 \approx 35,5$, nilai yang sering dipakai di buku sekolah.

RUMUS HIDUP

Ar rata-rata dua isotop

$$A_r = \frac{m_1 p_1 + m_2 (100 - p_1)}{100}$$

Massa atom relatif adalah rata-rata berbobot: setiap massa isotop dikali persen kelimpahannya, dijumlahkan, lalu dibagi 100.

m_1 Massa isotop 1

p_1 Kelimpahan isotop 1 %

m_2 Massa isotop 2

A_r Massa atom relatif

MASSA ATOM RELATIF
35,452

klorin!

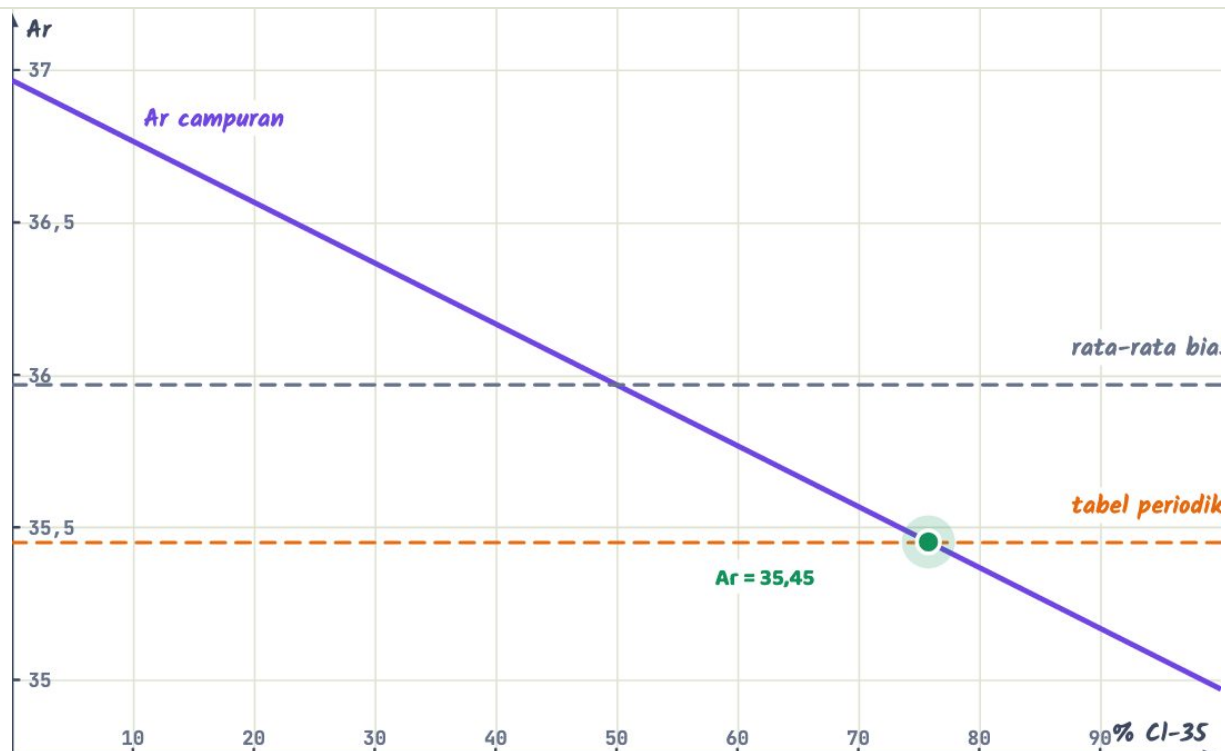
Dari setiap 100 atom: **75,8** atom bermassa **34,969** dan **24,2** atom bermassa **36,966**.
Rata-ratanya **35,452**.

Cek satuan: massa $\times$ % $\div$ 100 = massa relatif (tanpa satuan)

RUMUS HIDUP: GESER NILAINYA DAN KUMPULKAN KARTUNYA DI [AURUMGEN.MY.ID/CHEMIPEDIA#RM-AR-DUA-ISOTOP](https://aurumgen.my.id/chemipedia#rm-ar-dua-isotop)

$$A_r = \frac{34,969 p + 36,966 (100 - p)}{100}$$

$$p = 75,8\% \text{ Cl-35} \Rightarrow A_r = 35,452$$



komposisi alami klorin di Bumi

Ar

35,452

% Cl-37

24,2 %

Seret titik hijau. Semakin banyak Cl-35, semakin dekat Ar ke 35. Ar hanya sama dengan rata-rata biasa (35,97) kalau kedua isotop sama banyak.



AWAS JEBAKAN

A_r bukan nomor massa isotop yang paling umum. A_r adalah rata-rata berbobot sehingga biasanya tidak bulat: klorin 35,45, tembaga 63,55, magnesium 24,31. Nomor massa (A) selalu bilangan bulat karena menghitung partikel, sedangkan A_r adalah massa rata-rata. Jangan menulis $A = 35,5$!

Tembaga di alam terdiri atas Cu-63 (massa isotop 62,93; kelimpahan 69,15%) dan Cu-65 (massa isotop 64,93; kelimpahan 30,85%). Hitung A_r tembaga.

- 1 Kalikan setiap massa dengan kelimpahannya: $62,93 \times 69,15 = 4351,6$ dan $64,93 \times 30,85 = 2003,1$.
- 2 Jumlahkan lalu bagi 100: $A_r = \frac{4351,6 + 2003,1}{100} = 63,55$.
- 3 Cek kewajaran: hasilnya di antara 62,93 dan 64,93, dan lebih dekat ke Cu-63 yang lebih melimpah ✓

A_r tembaga = 63,55 (di buku sekolah sering dibulatkan 63,5).

Boron punya dua isotop: B-10 (massa 10,01) dan B-11 (massa 11,01). A_r boron = 10,81. Berapa persen kelimpahan B-10?

- 1 Misalkan kelimpahan B-10 = $x\%$, maka B-11 = $(100 - x)\%$.
- 2 Tulis persamaan rata-rata: $\frac{10,01x + 11,01(100 - x)}{100} = 10,81$.
- 3 Sederhanakan: $10,01x + 1101 - 11,01x = 1081 \rightarrow -1,00x = -20 \rightarrow x = 20$.
- 4 Cek: $(10,01 \times 20 + 11,01 \times 80)/100 = 10,81$ ✓

Kelimpahan B-10 = 20% dan B-11 = 80%. Trik cepat: A_r 10,81 berjarak 0,20 dari 11,01 dan 0,80 dari 10,01, jadi perbandingannya terbalik, 20 : 80.



TAMU DARI MASA LALU · BERGANTI ANAK TIMBANGAN

John Dalton (1803) memakai hidrogen sebagai patokan, A_r H = 1. Kemudian para kimiawan beralih ke oksigen = 16 karena oksigen bersenyawa dengan hampir semua unsur. Masalahnya, para fisikawan memakai "oksigen-16 = 16", sedangkan kimiawan memakai campuran isotop oksigen alami = 16. Dua tabel yang sedikit berbeda membuat kacau! Pada 1960–1961, fisikawan (IUPAP) dan kimiawan (IUPAC) sepakat memakai satu patokan bersama: **karbon-12 = tepat 12**. Patokan itu masih kita pakai sampai sekarang.



MENGAPA AR BEBERAPA UNSUR DITULIS SEBAGAI RENTANG?

Kelimpahan isotop sedikit berbeda menurut asal sampel. Karbon dari tumbuhan sedikit lebih "ringan" daripada karbon dari batu kapur, karena fotosintesis lebih suka $^{12}\text{CO}_2$. Karena itu IUPAC kini menuliskan A_r , hidrogen, karbon, oksigen, dan beberapa unsur lain sebagai rentang, misalnya karbon [12,0096; 12,0116]. Untuk perhitungan sekolah, nilai 12,011 sudah sangat memadai.

MITOS

"Ar klorin 35,5 berarti ada atom klorin yang bermassa 35,5."

MITOS

"Elektron jauh lebih kecil, jadi muatannya juga lebih kecil daripada proton."

FAKTA

Tidak ada satu pun atom klorin bermassa 35,5. Yang ada hanya atom bermassa ± 35 dan ± 37 . Angka 35,5 adalah rata-rata, seperti "rata-rata keluarga punya 2,5 anak".

FAKTA

Muatan elektron dan proton sama besar ($1,602 \times 10^{-19}$ C), hanya tandanya berlawanan. Yang jauh berbeda adalah massanya: proton ± 1836 kali lebih berat.

MITOS

"Isotop radioaktif selalu buatan manusia dan pasti berbahaya."

MITOS

"Karbon-14 bisa menentukan umur fosil Sangiran."

FAKTA

Isotop radioaktif alami ada di sekitar kita: kalium-40 di pisang dan tubuhmu, karbon-14 di semua makhluk hidup. Jumlahnya sangat kecil dan aman. Bahaya bergantung pada dosis.

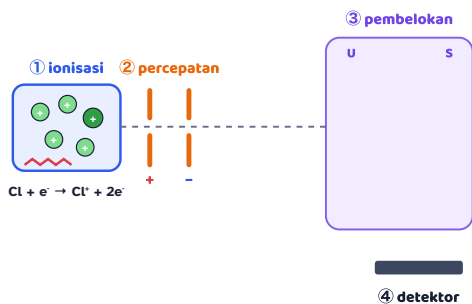
FAKTA

Fosil Sangiran berumur ratusan ribu sampai lebih dari sejuta tahun. Karbon-14 sudah habis setelah ± 50.000 tahun. Umurnya ditentukan dengan isotop lain, misalnya kalium-40 $\rightarrow$ argon-40 di lapisan abu gunung api.

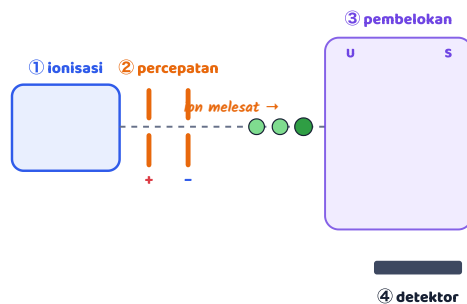
6.5

Spektrometer massa: timbangan atom

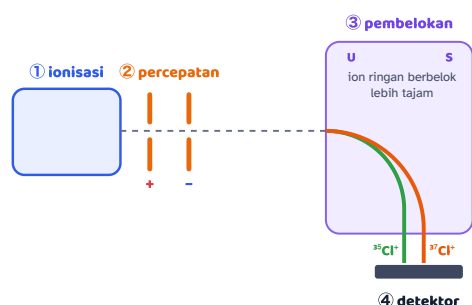
Dari mana kita tahu klorin berisi 75,8% Cl-35? Jawabannya dari alat bernama **spektrometer massa**. Alat ini memisahkan partikel bermuatan menurut perbandingan massa terhadap muatannya, m/z , lalu menghitung berapa banyak partikel untuk setiap m/z . Prinsipnya mirip melempar bola pingpong dan bola tenis yang sama cepat ke arah angin samping: bola ringan lebih mudah dibelokkan.



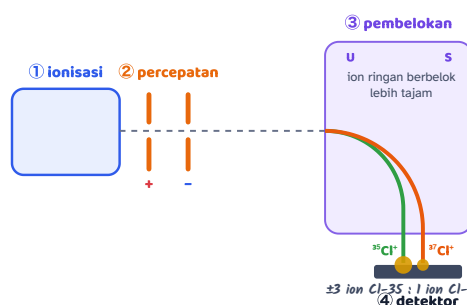
Langkah 1. Ionisasi. Sampel diuapkan, lalu ditembak elektron dari filamen panas. Elektron penembak menendang satu elektron dari setiap atom, sehingga terbentuk ion positif: $\text{Cl}(\text{g}) + e^- \rightarrow \text{Cl}^+(\text{g}) + 2e^-$.



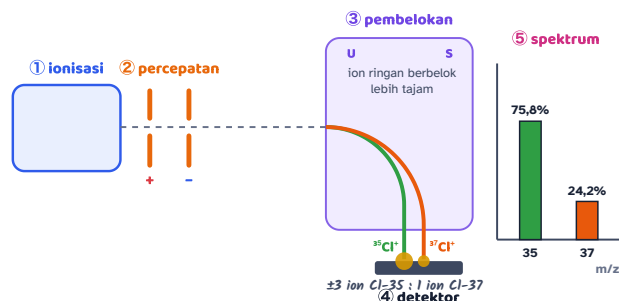
Langkah 2. Percepatan. Ion positif ditarik oleh pelat bermuatan negatif dan melesat menjadi berkas ion yang sangat cepat.



Langkah 3. Pembelokan. Medan magnet membelokkan berkas ion. Ion yang lebih ringan (atau bermuatan lebih besar) berbelok **lebih tajam**. Berkas $^{35}\text{Cl}^+$ dan $^{37}\text{Cl}^+$ pun terpisah.



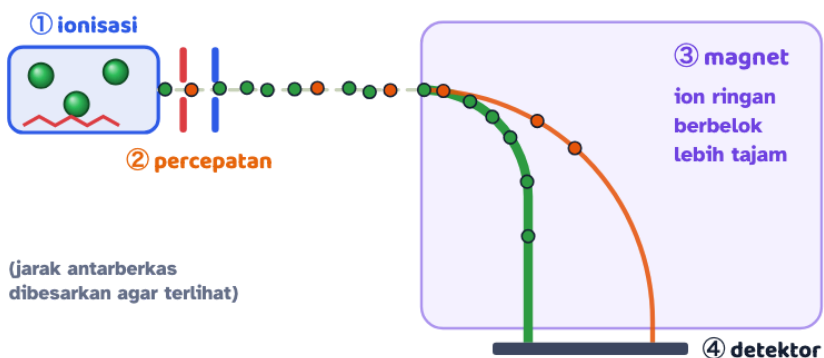
Langkah 4. Deteksi. Setiap ion yang menabrak detektor menghasilkan arus listrik kecil. Semakin banyak ion, semakin besar arusnya. Ion Cl-35 kira-kira tiga kali lebih banyak.



Langkah 5. Spektrum massa. Komputer menggambar tinggi sinyal terhadap m/z . Tinggi puncak sebanding dengan kelimpahan isotop. Dari spektrum ini kita langsung menghitung A_r .

Dengan Lab Mini berikut, kamu menjadi operator spektrometer massa. Pilih unsur, amati berkas ionnya berbelok, lalu "curangi" kelimpahannya untuk melihat A_r berubah.

Spektrometer massa • Klorin (Cl)



Ar rata-rata

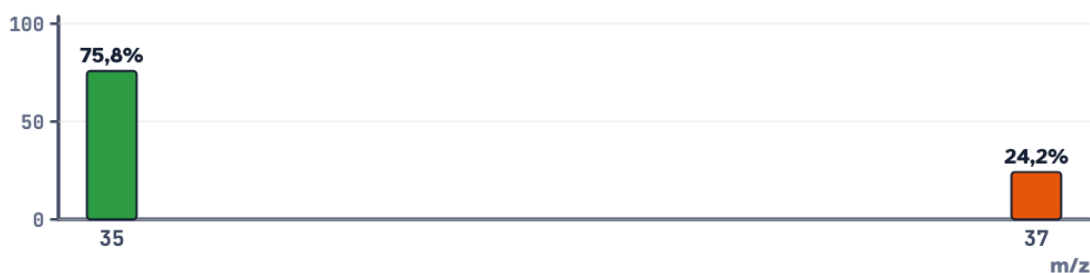
35,452

$$\Sigma (\text{massa} \times \%) \div 100$$

$$^{35}\text{Cl } 34,969 \times 75,8\%$$

$$^{37}\text{Cl } 36,966 \times 24,2\%$$

⑤ spektrum massa (tinggi = kelimpahan %) • seret puncaknya!



Ar (rata-rata berbobot)

35,452

Ar dengan nomor massa

35,48

Ar di tabel periodik

35,45

Isotop terbanyak

Cl-35 (75,8%)

Keadaan

kelimpahan alami

Pilih unsur dan amati: berapa berkas ion yang muncul? Lalu **seret puncak** pada spektrum (atau geser slider kelimpahan) dan perhatikan A_r di kotak kanan. Nyalakan "ion molekul X_2^+ " untuk klorin dan brom: mengapa muncul tiga puncak? Nyalakan "unsur misteri", minta temanmu memilih unsur, lalu tebak unsurnya dari spektrum!

Membaca spektrum massa itu seperti membaca grafik nilai ulangan: posisi puncak memberi tahu **massa** isotop, tinggi puncak memberi tahu **banyaknya**.

Spektrum massa magnesium menunjukkan puncak pada m/z 24, 25, dan 26 dengan tinggi relatif 79,0 : 10,0 : 11,0. Hitung A_r magnesium (anggap massa isotop = nomor massa).

- 1 Jumlah tinggi puncak: $79,0 + 10,0 + 11,0 = 100,0$, jadi tinggi relatif sudah sama dengan persen kelimpahan.

- 2
$$A_r = \frac{24 \times 79,0 + 25 \times 10,0 + 26 \times 11,0}{100} = \frac{1896 + 250 + 286}{100} = 24,32.$$

A_r magnesium $\approx 24,3$. Kalau jumlah tinggi puncak tidak 100, bagi dengan jumlah tinggi seluruh puncak, bukan dengan 100.

Gas klorin terdiri atas molekul Cl_2 . Spektrum massanya memiliki puncak ion molekul Cl_2^+ pada m/z 70, 72, dan 74. Jelaskan asalnya dan hitung perbandingan tingginya. (Cl-35 = 75%, Cl-37 = 25%)

- 1 Ada tiga kombinasi: $^{35}\text{Cl}-^{35}\text{Cl}$ (m/z 70), $^{35}\text{Cl}-^{37}\text{Cl}$ (72), dan $^{37}\text{Cl}-^{37}\text{Cl}$ (74).
- 2 Peluang setiap atom: $\frac{3}{4}$ untuk Cl-35 dan $\frac{1}{4}$ untuk Cl-37.
- 3 70: $\frac{3}{4} \times \frac{3}{4} = \frac{9}{16}$. 72: $2 \times \frac{3}{4} \times \frac{1}{4} = \frac{6}{16}$ (dikali 2 karena 35-37 dan 37-35 sama-sama mungkin). 74: $\frac{1}{4} \times \frac{1}{4} = \frac{1}{16}$.

Perbandingan tinggi puncak 70 : 72 : 74 = 9 : 6 : 1. Pola ini menjadi "sidik jari" senyawa yang mengandung dua atom klorin. Untuk Br_2 (Br-79 $\approx$ Br-81 $\approx$ 50%) polanya 158 : 160 : 162 = 1 : 2 : 1.



KIMIA NUSANTARA · ISOTOP DI LADANG DAN DI DALAM TANAH

Peneliti BRIN (dahulu BATAN) memakai isotop untuk pertanian dan air. Benih padi, kedelai, dan sorgum disinari sinar gamma dari isotop **kobalt-60** untuk memicu mutasi, lalu dipilih yang paling unggul. Dari cara ini lahir berbagai varietas unggul yang ditanam petani Indonesia. Pupuk yang "ditandai" isotop nitrogen-15 dipakai untuk mengukur berapa banyak pupuk yang benar-benar diserap tanaman. Di bidang hidrologi, perbandingan isotop alami **deuterium dan oksigen-18** dalam air, yang diukur dengan spektrometer massa, menunjukkan dari mana air tanah berasal. Tritium dan karbon-14 menunjukkan berapa lama air itu sudah tersimpan di dalam tanah.



LANJUT · IB & OLIMPIADE

PUNCAK M+1: MENGHITUNG ATOM KARBON DARI SPEKTRUM

Sekitar 1,1% atom karbon adalah karbon-13. Akibatnya, molekul organik selalu menunjukkan puncak kecil satu satuan di kanan ion molekul (M), disebut puncak $M + 1$. Semakin banyak atom karbon, semakin besar peluang molekul memuat satu atom karbon-13:

$$n_C \approx \frac{\text{tinggi puncak } (M + 1)}{\text{tinggi puncak } M} \times \frac{100}{1,1}$$

Contoh: benzena, C_6H_6 , punya puncak M pada m/z 78 dan puncak $M + 1$ pada 79 yang tingginya $\pm 6,6\%$ dari M . Maka $n_C \approx 6,6/1,1 = 6$ ✓

Spektrometer modern (dipakai di silabus IB) sering berjenis **waktu terbang** (*time-of-flight*, TOF): semua ion diberi energi kinetik yang sama, lalu "berlomba" sepanjang tabung. Ion ringan lebih cepat dan tiba lebih dulu di detektor, dengan waktu tempuh $t \propto \sqrt{m/z}$. Di Bab 39 kamu akan memakai spektrum massa untuk menebak struktur molekul dari pecahan-pecahannya.

6.6 Lanjut: defek massa dan energi ikat inti

Ada satu keanehan kecil. Massa isotop klorin-35 adalah 34,969, bukan 35. Padahal ia tersusun atas 17 proton, 18 neutron, dan 17 elektron yang masing-masing bermassa sedikit *lebih* dari 1 u (kecuali elektron). Ke mana perginya massa itu?



LANJUT · IB & OLIMPIADE

MASSA YANG BERUBAH MENJADI "LEM" INTI

Hitung massa penyusun atom helium-4 (2 proton, 2 neutron, 2 elektron). Massa 2 atom hidrogen-1 (proton + elektron) adalah $2 \times 1,00783$ u, dan massa 2 neutron $2 \times 1,00867$ u:

$$m_{\text{penyusun}} = 2(1,00783) + 2(1,00867) = 4,03300 \text{ u} \quad m_{^4\text{He}} = 4,00260 \text{ u}$$

Selisihnya, $\Delta m = 0,03040$ u, disebut **defek massa**. Massa itu tidak lenyap: ia berubah menjadi energi saat inti terbentuk, sesuai rumus Einstein $E = \Delta m c^2$. Energi ini, yaitu **energi ikat inti**, harus diberikan kembali bila kita ingin membongkar inti menjadi nukleon-nukleon terpisah. Setiap 1 u setara dengan 931,5 MeV:

$$E_{\text{ikat}} = 0,03040 \times 931,5 = 28,3 \text{ MeV} \Rightarrow \frac{E_{\text{ikat}}}{A} = \frac{28,3}{4} = 7,08 \text{ MeV per nukleon}$$

Sebagai pembandingan, memutus satu ikatan kimia hanya butuh beberapa elektronvolt (eV). Energi inti jutaan kali lebih besar! Inilah sebabnya satu gram bahan bakar nuklir menghasilkan energi setara berton-ton batu bara.

$$\frac{E_{\text{ikat}}}{A} = \frac{\Delta m \times 931,5 \text{ MeV}}{A}$$

Setiap 1 u massa yang 'hilang' saat inti terbentuk berubah menjadi 931,5 MeV energi pengikat. Bagi dengan jumlah nukleon untuk melihat seberapa kokoh inti itu.

Δm Defek massa u

A Jumlah nukleon

E/A Energi ikat per nukleon MeV

ENERGI IKAT PER NUKLEON

7,08

MeV

$\approx$ helium-4 (partikel alfa)

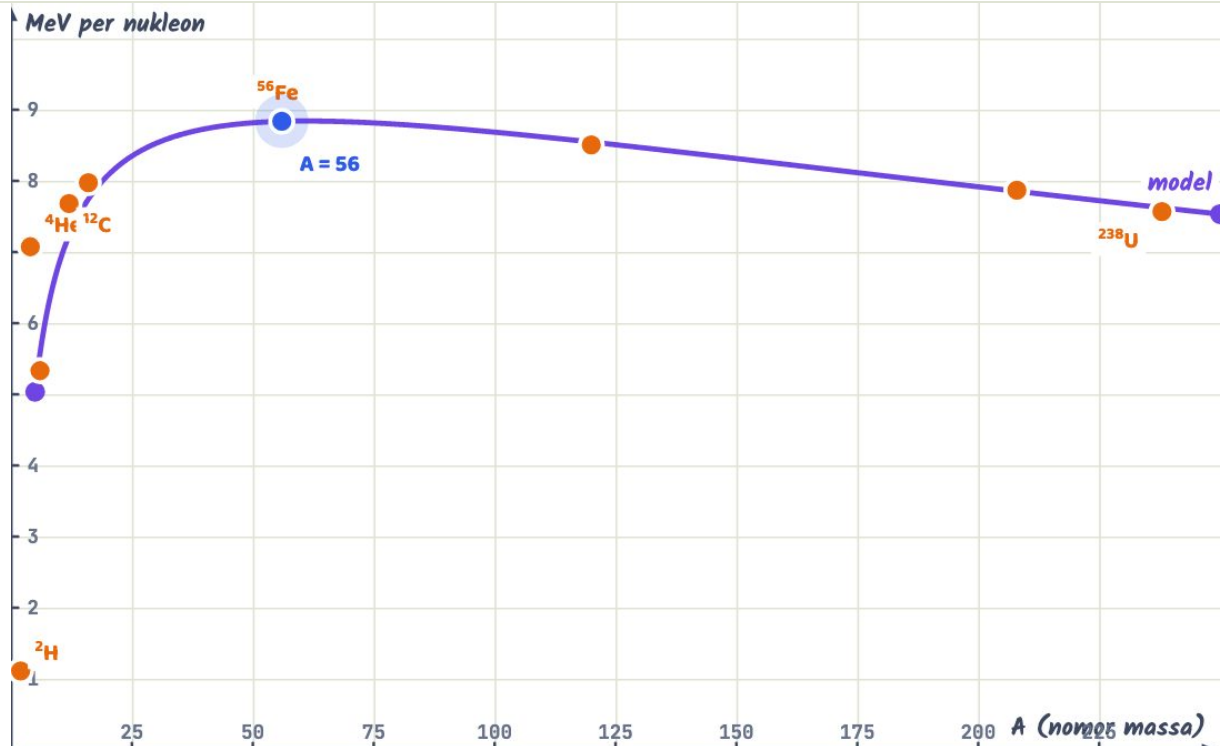
Energi ikat total = **28,318 MeV**, yaitu **$4,536 \times 10^{-12}$** joule untuk satu inti saja.

Cek satuan: u $\times$ (MeV/u) $\div$ nukleon = MeV per nukleon

RUMUS HIDUP: GESER NILAINYA DAN KUMPULKAN KARTUNYA DI AURUMGEN.MY.ID/CHEMIPEDIA#RM-ENERGI-IKAT-NUKLEON

$$\frac{E_{\text{ikat}}}{A} \text{ (MeV per nukleon) terhadap } A$$

Garis ungu adalah model tetes cairan; titik oranye adalah data inti nyata.



puncak kurva: besi dan nikel, inti paling kokoh

E/A menurut model

8,84 MeV

Seret titik biru sepanjang kurva. Inti di puncak kurva paling sulit dibongkar. Ke arah mana inti ringan dan inti berat "ingin" bergerak supaya makin kokoh?

Kurva ini menjelaskan dua sumber energi terbesar di alam semesta. Inti ringan seperti hidrogen **bergabung** (fusi) menjadi helium di Matahari, sedangkan inti berat seperti uranium-235 **membelah** (fisi) di reaktor nuklir. Keduanya bergerak menuju puncak kurva di sekitar besi dan melepaskan energi. Ceritanya berlanjut di Bab 37.

Kimia di sekitarmu



Kalender fosil

Umur fosil Sangiran ditentukan dari isotop kalium-40 dan argon-40 di abu gunung api, sedangkan arang dan tulang yang lebih muda dari ± 50.000 tahun memakai karbon-14.



Padi varietas unggul

Sinar gamma dari kobalt-60 memicu mutasi pada benih. Peneliti BRIN memilih tanaman yang lebih genjah, tahan hama, atau tahan rebah.



Asal-usul air tanah

Perbandingan deuterium dan oksigen-18 dalam air sumur dan mata air menunjukkan dari mana air itu berasal, penting untuk mengelola air tanah kota.



Kedokteran nuklir

Teknesium-99m (waktu paruh 6 jam) dipakai untuk memotret organ tubuh, dan iodine-131 untuk mengobati kelenjar tiroid. Sebagian radioisotop ini diproduksi di reaktor riset Serpong.



Pisang yang sedikit radioaktif

Sekitar 0,012% atom kalium adalah kalium-40 yang radioaktif. Pisang, kentang, dan tubuhmu sendiri mengandungnya dalam jumlah kecil yang aman.



Timah Bangka, juara isotop

Timah (Sn) punya 10 isotop stabil, terbanyak di antara semua unsur. Spektrum massanya seperti deretan pagar, dan Ar-nya 118,71.



Cek Cepat

Atom ${}^{40}_{20}\text{Ca}$ melepas 2 elektron menjadi ion Ca^{2+} . Berapa jumlah proton ion itu?

18

20

22

40

Manakah pasangan isobar?

^{12}C dan ^{13}C

$^{13}_6\text{C}$ dan $^{14}_7\text{N}$

$^{14}_6\text{C}$ dan $^{14}_7\text{N}$

^{16}O dan $^{16}\text{O}^{2-}$

Galium hanya punya isotop Ga-69 dan Ga-71, dengan $A_r = 69,7$. Isotop mana yang lebih melimpah?

Ga-69

Ga-71

Sama banyak

Tidak bisa ditentukan

Kunci Cek Cepat: 1. B · 2. C · 3. A

Tantangan Rumah: unsur "Kacangium"

Bahan: kacang merah dan kacang hijau (atau kedelai), timbangan dapur digital, 3 mangkuk kecil, kertas dan pensil.

1. Hitung 40 butir kacang merah dan timbang. Bagi dengan 40 untuk mendapat massa rata-rata satu butir. Lakukan hal yang sama untuk 40 butir kacang hijau.
2. Anggap keduanya dua "isotop" dari unsur khayalan Kacangium. Campurkan 30 butir kacang merah dan 10 butir kacang hijau, sehingga kelimpahannya 75% : 25%, mirip klorin.
3. Hitung "Ar" Kacangium dengan rumus rata-rata berbobot: $(\text{massa merah} \times 75 + \text{massa hijau} \times 25) \div 100$.
4. Cek: timbang seluruh campuran lalu bagi dengan 40. Apakah hasilnya sama dengan langkah 3?
5. Ubah komposisi menjadi 20 : 20, lalu 10 : 30. Catat bagaimana "Ar" bergeser.

Keselamatan: lakukan bersama orang dewasa. Jangan memakan kacang yang sudah dipegang-pegang selama percobaan. Jauhkan butiran kacang dari adik balita karena bisa tertelan dan menyumbat napas. Bila ada anggota keluarga yang alergi kacang, ganti dengan kancing baju dua ukuran. Cuci tangan setelah selesai, dan cuci kacang yang bersih sebelum dimasak.

Pertanyaan: Mengapa "Ar" Kacangium lebih dekat ke massa kacang merah pada komposisi 30 : 10? Apa persamaan dan perbedaan model ini dengan isotop sungguhan?

RINGKASAN KILAT Bab 6 dalam 3 menit

☒ Kamu sekarang bisa...

- menyebutkan **muatan, massa relatif, dan letak** proton, neutron, dan elektron
- menentukan jumlah proton, neutron, dan elektron dari **notasi nuklida** ${}^A_Z\text{X}$, untuk atom maupun **ion**
- membedakan **isotop, isobar, dan isoton**, serta isotop stabil dan radioaktif
- menghitung **massa atom relatif (Ar)** sebagai rata-rata berbobot dari kelimpahan isotop, dan sebaliknya
- membaca **spektrum massa** (klorin, brom, magnesium) dan menjelaskan cara kerja spektrometer massa

Istilah kunci

partikel subatom

inti atom

Nomor atom

Nomor massa

nukleon

nuklida

ion

Kation

Anion

isoelektronik

Isotop

Isobar

Isoton

stabil

isotop radioaktif

waktu paruh

Rumus penting

$$n = A - Z \quad e = Z - q$$

Proton, neutron, elektron dari notasi. Nomor atom memberi jumlah proton. Nomor massa dikurangi nomor atom memberi jumlah neutron. Elektron sama dengan proton dikurangi muatan ion.

$$A_r = \frac{m_{\text{atom}}}{1,6605 \times 10^{-24} \text{ g}}$$

Ar dari massa satu atom. Ar menjawab pertanyaan: satu atom unsur ini berapa kali lebih berat daripada seperdua belas atom karbon-12?

$$A_r = \frac{m_1 p_1 + m_2 (100 - p_1)}{100}$$

Ar rata-rata dua isotop. Massa atom relatif adalah rata-rata berbobot: setiap massa isotop dikali persen kelimpahannya, dijumlahkan, lalu dibagi 100.

$$\frac{E_{\text{ikat}}}{A} = \frac{\Delta m \times 931,5 \text{ MeV}}{A}$$

Energi ikat per nukleon dari defek massa.

Setiap 1 u massa yang 'hilang' saat inti terbentuk berubah menjadi 931,5 MeV energi pengikat. Bagi dengan jumlah nukleon untuk melihat seberapa kokoh inti itu.

⚠ Jangan sampai terjebak

- Ion terbentuk dengan menambah atau mengurangi elektron, bukan proton.
- Karbon-14 tidak bisa menanggali semua benda tua.
- A_r bukan nomor massa isotop yang paling umum.

📄 Tangga Latihan: 24 soal bab ini (Lv 1 Pemula sampai Lv 6 Olimpiade) ada di PDF Bank Soal dan di aurumgen.my.id/chemipedia#soal?bab=6

🧩 Teka-teki untuk Bab 7

Natrium hanya punya 1 elektron di kulit terluarnya dan sangat "royal" memberikannya: ia mudah menjadi Na^+ . Padahal natrium punya 11 elektron. Bagaimana kita tahu elektron mana yang paling luar, dan di "lantai" mana ia tinggal?

▼ Intip petunjuk

Coba cabut elektron natrium satu per satu. Elektron pertama lepas dengan mudah ($\pm 5,1 \text{ eV}$), tetapi elektron kedua butuh energi hampir 10 kali lipat ($\pm 47 \text{ eV}$)! Lonjakan itu menandakan elektron kedua berada di kulit yang lebih dalam. Di Bab 7 kamu akan menginap di "Hotel Elektron" dan menyusun konfigurasi 2, 8, 1 untuk natrium.

07 Hotel Elektron: Di Mana Elektron Menginap?

Natrium punya 11 elektron, tetapi hanya satu yang rela dilepas. Mengapa yang satu itu istimewa? Jawabannya ada di sebuah "hotel" mungil di sekeliling inti, lengkap dengan lantai, sayap, kamar, dan aturan check-in yang sangat ketat.

Setelah bab ini, kamu bisa

- menuliskan **konfigurasi elektron per kulit** (K, L, M, N) dan memakai kapasitas kulit $2n^2$;
- menjelaskan **subkulit s, p, d, f** serta bentuk **orbital** sebagai awan peluang, bukan lintasan;
- menyusun konfigurasi elektron dan **diagram orbital** dengan aturan **Aufbau**, larangan **Pauli**, dan aturan **Hund**, termasuk pengecualian kromium dan tembaga;
- menentukan **empat bilangan kuantum** (n, l, m_l, m_s) sebuah elektron;
- menghubungkan **elektron valensi** dengan golongan, periode, dan blok, menulis **konfigurasi ion**, serta membaca **energi ionisasi berturutan** sebagai bukti adanya kulit.

HOTEL ELEKTRON

KOMIK • 4 PANEL

Pentas drama kelas: "Hotel Elektron"

BIMA

Kak, aku elektron ke-11 milik natrium. Minta kamar di lantai 1 yang paling dekat inti, ya!

KAK TIRTA

Maaf, lantai 1 cuma muat 2 tamu dan lantai 2 muat 8. Semuanya sudah penuh!

★ HOTEL ELEKTRON ★

1s	2s	2p
○	○	○
3s	3p	4s
○	○	○

LARAS

Aku catat kapasitasnya: 2, 8, 18, 32. Polanya $2n^2$! Lantai ke- n menampung paling banyak $2n^2$ tamu.



KAK TIRTA

Aturan pertama: isi kamar termurah dulu (Aufbau). Kedua: tamu menyebar dulu, baru berbagi kamar, seperti penumpang angkot yang memilih bangku kosong (Hund).

**KIMO**

Ketiga: satu kamar paling banyak dua tamu yang berputar berlawanan, $\uparrow\downarrow$. Itu larangan Pauli!

BIMA

Jadi alamatku: lantai 3, sayap s, kamar tunggal, putaran ke atas...

**Tebak Dulu!**

Kalium ($Z = 19$) punya 19 elektron. Kulit M (kulit ketiga) sanggup menampung 18 elektron. Di mana elektron ke-19 menginap?

Di kulit M, karena kulit M baru terisi 8 dan masih punya banyak tempat.

Di kulit L, karena elektron selalu ingin dekat dengan inti.

Di kulit N (kulit keempat), sehingga susunannya 2, 8, 8, 1.

Tidak punya tempat, sehingga atom kalium tidak stabil.

Jawabannya: di kulit N. Aneh, ya? Kulit M memang masih "punya kamar", tetapi kamar sisanya (subkulit 3d) lebih mahal energinya daripada kamar 4s di lantai berikutnya. Elektron selalu memilih kamar termurah. Bab ini membongkar daftar harga kamar itu.

7.1 Lantai-lantai hotel: kulit K, L, M, N

Di Bab 5 kita berkenalan dengan model atom Bohr: elektron bergerak di sekitar inti pada tingkat-tingkat energi tertentu. Sekarang mari kita lihat atom sebagai sebuah hotel. Inti yang bermuatan positif adalah lobinya. Elektron yang bermuatan negatif tertarik ke lobi, tetapi tidak bisa semuanya berdesakan di sana. Mereka menginap di **kulit elektron**, yaitu "lantai-lantai" energi di sekeliling inti.

Bahasa sederhana • Bayangkan gedung bertingkat dengan lobi di tengah. Lantai 1 paling dekat lobi tetapi kamarnya hanya sedikit, cukup untuk 2 tamu. Lantai 2 lebih luas, muat 8 tamu. Lantai 3 muat 18, lantai 4 muat 32. Tamu selalu mengisi lantai bawah dulu karena paling dekat dengan lobi dan "paling murah" energinya. Tamu di lantai teratas paling jauh dari lobi, jadi paling mudah pergi. Merekalah yang ikut bereaksi!

Kulit pertama diberi huruf **K**, lalu **L**, **M**, **N**, dan seterusnya. Nomor kulit disebut n . Semakin besar n , semakin jauh elektron dari inti, semakin tinggi energinya, dan semakin lemah tarikan inti padanya.



DEFINISI • KULIT ELEKTRON

Kulit elektron adalah tingkat energi utama tempat elektron berada, bernomor $n = 1, 2, 3, \dots$ (kulit K, L, M, N, ...). Kulit ke- n dapat menampung paling banyak $2n^2$ elektron.

Kulit	n	Kapasitas $2n^2$	Analogi hotel
K	1	$2(1)^2 = 2$	lantai 1: kamar sedikit, paling dekat lobi
L	2	$2(2)^2 = 8$	lantai 2
M	3	$2(3)^2 = 18$	lantai 3
N	4	$2(4)^2 = 32$	lantai 4: luas, jauh dari lobi

$$N_{\text{maks}} = 2n^2$$

Kulit ke- n menampung paling banyak dua kali kuadrat nomor kulitnya.

 n

Nomor kulit

 N_{maks}

Elektron maksimum elektron

ELEKTRON MAKSIMUM

18

elektron

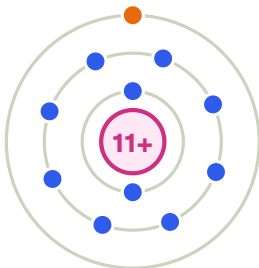
kulit M: 18 kursi, tetapi pada kalium dan kalsium baru terisi 8

Kulit **M** ($n = 3$) punya **3** subkulit dan **9** orbital, sehingga menampung paling banyak **18** elektron.

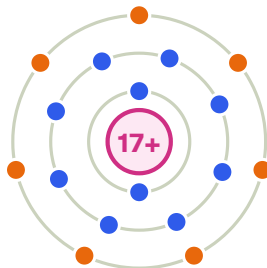
Cek satuan: tanpa satuan: jumlah elektron

RUMUS HIDUP: GESER NILAINYA DAN KUMPULKAN KARTUNYA DI AURUMGEN.MY.ID/CHEMIPEDIA#RM-KAPASITAS-KULIT

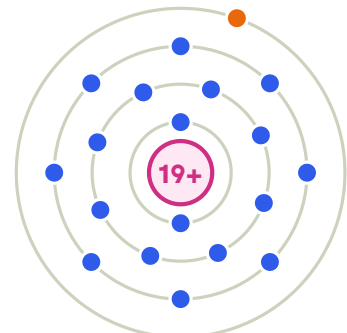
Untuk **20 unsur pertama** (hidrogen sampai kalsium) ada cara cepat yang diajarkan di SMP: isi kulit K sampai 2, kulit L sampai 8, lalu kulit M sampai 8, dan sisanya ke kulit N. Kulit terluar tidak pernah berisi lebih dari 8 elektron. Coba ketuk chip unsur ini untuk melihat model atomnya: **Na** **Cl** **K** **Ca**.



Natrium • 2, 8, 1



Klorin • 2, 8, 7



Kalium • 2, 8, 8, 1

Model kulit (model Bohr) natrium, klorin, dan kalium. Elektron oranye adalah elektron kulit terluar, yaitu **elektron valensi**. Natrium dan kalium sama-sama punya 1 elektron valensi, sehingga sifat kimianya mirip.



AWAS JEBAKAN

Kalium bukan 2, 8, 9! Walaupun kulit M sanggup menampung 18 elektron, elektron ke-19 justru masuk ke kulit N. Begitu pula kalsium: 2, 8, 8, 2. Baru mulai unsur ke-21 (skandium), kulit M kembali diisi sampai 18. Alasannya baru terlihat jelas setelah kita mengenal subkulit di 7.2 dan 7.3.

CONTOH Konfigurasi kulit tiga unsur

Tuliskan susunan elektron per kulit untuk magnesium ($Z = 12$), belerang ($Z = 16$), dan kalsium ($Z = 20$). Berapa elektron valensi masing-masing?

1 Magnesium, 12 elektron: K diisi 2, L diisi 8, sisa 2 ke M $\rightarrow 2, 8, 2$.

2 Belerang, 16 elektron: K 2, L 8, sisa 6 ke M $\rightarrow 2, 8, 6$.

3 Kalsium, 20 elektron: K 2, L 8, M 8, sisa 2 ke N $\rightarrow 2, 8, 8, 2$.

Elektron valensi: Mg = 2, S = 6, Ca = 2. Magnesium dan kalsium sama-sama punya 2 elektron valensi, jadi keduanya "sekeluarga" (golongan 2) dan sama-sama membentuk ion bermuatan $2+$.

ADU CEPAT Elektron di kulit terluar ($Z = 1-20$)

ADU CEPAT • MAINKAN DI [AURUMGEN.MY.ID/CHEMIPEDIA#BAB-7](https://aurumgen.my.id/chemipedia#BAB-7)

Latihan kilat 60 detik dengan soal acak dan rekor pribadi.

Isi kulit berurutan: 2, lalu 8, lalu 8, lalu sisanya. Contoh $Z = 13$: 2, 8, 3 $\rightarrow$ jawabannya 3.

7.2 Sayap dan kamar: subkulit s, p, d, f dan bentuk orbital

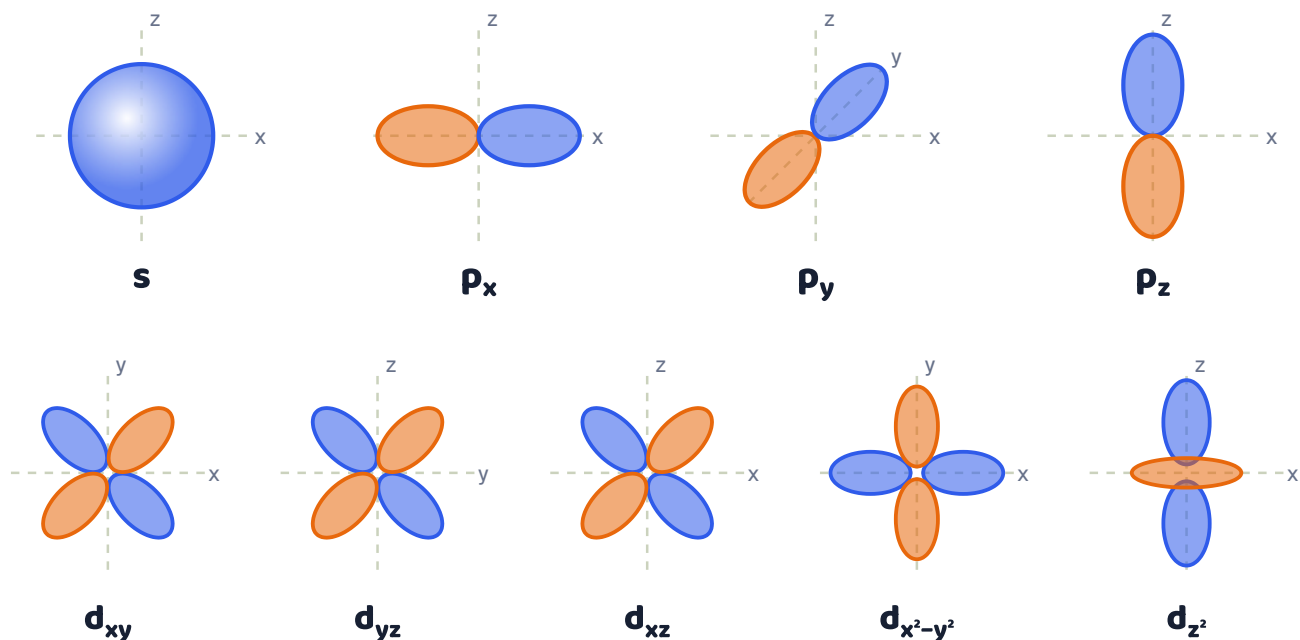
Model kulit menjelaskan banyak hal, tetapi tidak bisa menjawab teka-teki kalium tadi. Para ilmuwan menemukan bahwa setiap lantai hotel ternyata terbagi lagi menjadi beberapa **sayap** yang harganya berbeda. Sayap itu disebut **subkulit**, diberi huruf **s**, **p**, **d**, dan **f**. Setiap sayap berisi beberapa **kamar** yang disebut **orbital**.

- Kulit ke- n punya n subkulit: kulit K hanya punya 1s; kulit L punya 2s dan 2p; kulit M punya 3s, 3p, dan 3d; kulit N punya 4s, 4p, 4d, dan 4f.
- Subkulit s punya 1 orbital, p punya 3, d punya 5, dan f punya 7.
- Setiap orbital menampung **paling banyak 2 elektron**.



DEFINISI • ORBITAL

Orbital adalah daerah di sekitar inti tempat peluang menemukan elektron paling besar. Gambarnya biasanya berupa batas yang memuat $\pm 90\%$ peluang keberadaan elektron. Satu orbital menampung paling banyak dua elektron. Orbital **bukan** lintasan: kita tidak bisa tahu jalur pasti sebuah elektron, hanya peluangnya berada di suatu tempat.



Bentuk orbital s, p, dan d (gambar batas $\pm 90\%$ peluang). Warna biru dan oranye menandai **fase** (tanda + dan -) gelombang elektron, bukan muatan. Orbital f (7 buah) bentuknya lebih rumit lagi. Lihat awannya berputar di Lab Mini **Awan Orbital** pada 7.4.

Subkulit	Nilai l	Jumlah orbital ($2l + 1$)	Elektron maks $2(2l + 1)$	Bentuk orbital	Asal huruf
s	0	1	2	bola	<i>sharp</i>
p	1	3	6	halter (dua cuping)	<i>principal</i>
d	2	5	10	daun semanggi (4 cuping), satu halter bercincin	<i>diffuse</i>
f	3	7	14	rumit, banyak cuping	<i>fundamental</i>

$$e_{\text{maks}} = 2(2l + 1)$$

Subkulit dengan bilangan kuantum azimut l punya $2l + 1$ orbital; setiap orbital memuat dua elektron.

 l

Bilangan kuantum azimut

 e_{maks}

Elektron maksimum subkulit elektron

ELEKTRON MAKSIMUM SUBKULIT

6

elektron

Subkulit **p** punya **3** orbital (kamar), dengan nilai m_l dari **-1** sampai **1**. Daya tampungnya **6** elektron, sehingga blok **p** di tabel periodik selebar **6** kolom.

Cek satuan: orbital $\times$ 2 elektron/orbital = elektron ✓

RUMUS HIDUP: GESER NILAINYA DAN KUMPULKAN KARTUNYA DI [AURUMGEN.MY.ID/CHEMIPEDIA#RM-ORBITAL-SUBKULIT](https://aurumgen.my.id/chemipedia#rm-orbital-subkulit)

Sekarang angka $2n^2$ dari 7.1 jadi masuk akal. Kulit M ($n = 3$) punya subkulit 3s, 3p, dan 3d, berarti $1 + 3 + 5 = 9 = 3^2$ orbital. Setiap orbital memuat 2 elektron, jadi kulit M memuat $2 \times 9 = 18$ elektron.



TAMU DARI MASA LALU

Huruf s, p, d, dan f bukan singkatan acak. Pada akhir abad ke-19, para ahli spektroskopi mengelompokkan garis-garis spektrum logam alkali menjadi deret *sharp* (tajam), *principal* (utama), *diffuse* (kabur), dan *fundamental*. Belakangan diketahui setiap deret berasal dari elektron yang melompat dari atau ke subkulit tertentu, dan huruf depannya tetap dipakai sampai sekarang. Gambaran orbital sebagai "awan peluang" lahir pada 1926, ketika **Erwin Schrödinger** menulis persamaan gelombang untuk elektron.

7.3 Aturan check-in: Aufbau, Pauli, dan Hund

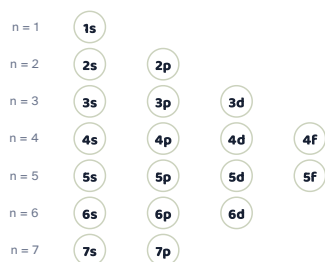
Resepsionis Hotel Elektron sangat disiplin. Setiap tamu baru diantar ke kamar menurut tiga aturan. Susunan elektron yang mematuhi ketiganya disebut **konfigurasi elektron keadaan dasar**, yaitu susunan dengan energi serendah mungkin.



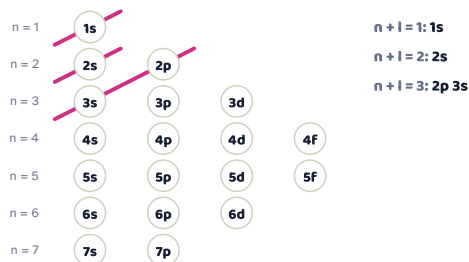
ATURAN • TIGA ATURAN PENGISIAN ELEKTRON

1. **Prinsip Aufbau** (bahasa Jerman: "membangun"): elektron mengisi subkulit dengan energi terendah lebih dahulu. Urutannya: 1s, 2s, 2p, 3s, 3p, **4s, 3d**, 4p, 5s, 4d, 5p, 6s, 4f, 5d, 6p, 7s, 5f, 6d, 7p.
2. **Larangan Pauli**: tidak ada dua elektron dalam satu atom yang keempat bilangan kuantumnya sama. Akibatnya, satu orbital memuat paling banyak **dua** elektron dengan spin **berlawanan** ($\uparrow\downarrow$).
3. **Aturan Hund**: pada orbital-orbital yang setara energinya (misalnya tiga orbital 2p), elektron menempati orbital kosong satu per satu dengan spin **searah** dulu, baru kemudian berpasangan.

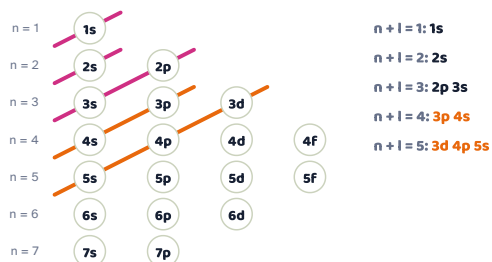
Dari mana urutan Aufbau yang "melompat-lompat" itu? Ada cara mudah: tulis subkulit dalam baris-baris menurut kulitnya, lalu tarik panah diagonal. Ikuti animasinya.



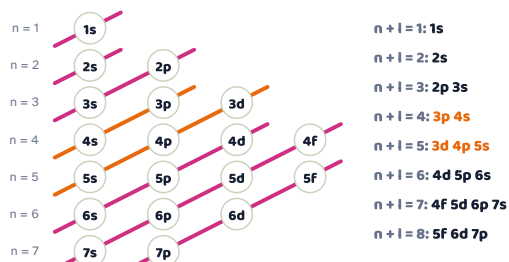
Langkah 1. Setiap baris adalah satu kulit. Kulit ke- n punya n subkulit (sampai f). Kulit yang lebih tinggi dari 4 sebenarnya punya subkulit g dan seterusnya, tetapi tidak pernah terisi pada atom yang dikenal.



Langkah 2. Panah diagonal pertama melewati 1s, lalu 2s, lalu 2p dan 3s. Subkulit pada satu panah punya nilai $n + l$ yang sama ($s: l = 0, p: 1, d: 2, f: 3$).



Langkah 3. Perhatikan panah oranye: 4s ($n + l = 4$) diisi **sebelum** 3d ($n + l = 5$). Itulah sebabnya elektron ke-19 kalium masuk ke 4s, bukan ke 3d!



Langkah 4. Panah berikutnya: 4d 5p 6s, lalu 4f 5d 6p 7s, lalu 5f 6d 7p. Pada satu panah, subkulit dengan n lebih kecil diisi lebih dulu.



1s 2s 2p 3s 3p 4s 3d 4p 5s 4d 5p 6s 4f 5d 6p 7s 5f 6d 7p

Langkah 5. Hasilnya, urutan Aufbau lengkap. Cukup hafalkan cara menggambar diagonalnya, bukan urutannya!



TRIK KAK TIRTA • ATURAN $n + l$

"Hitung harga kamarnya dengan $n + l$!" Subkulit dengan $n + l$ lebih kecil diisi dulu. Kalau sama, yang n -nya lebih kecil menang. Contoh: $4s \rightarrow 4 + 0 = 4$; $3d \rightarrow 3 + 2 = 5$. Jadi 4s lebih murah. Lalu $3d$ ($3 + 2 = 5$) melawan $4p$ ($4 + 1 = 5$): seri, tetapi 3d punya n lebih kecil, jadi 3d dulu. Satu lagi: cara cepat menulis konfigurasi panjang adalah memakai **notasi gas mulia**. Kalium = $[\text{Ar}] 4s^1$, artinya "susunan argon, lalu tambah $4s^1$ ".

Konfigurasi elektron ditulis dengan lambang subkulit dan jumlah elektronnya sebagai pangkat. Contoh: natrium (11 elektron) = $1s^2 2s^2 2p^6 3s^1$, atau singkatnya $[\text{Ne}] 3s^1$. Untuk melihat letak setiap elektron, kita memakai **diagram orbital**: satu kotak = satu orbital, satu panah = satu elektron, arah panah = arah spin.

Karbon ($Z = 6$) · $1s^2 2s^2 2p^2$



Nitrogen ($Z = 7$) · $1s^2 2s^2 2p^3$



Oksigen ($Z = 8$) · $1s^2 2s^2 2p^4$



Lihat nitrogen: tiga elektron 2p tidak berdesakan di satu kamar, tetapi menyebar ke tiga kamar dengan spin searah, seperti penumpang angkot yang memilih bangku kosong dulu. Baru pada oksigen, elektron ke-8 terpaksa berbagi kamar. Elektron yang sendirian di kamarnya disebut **elektron tak berpasangan**.

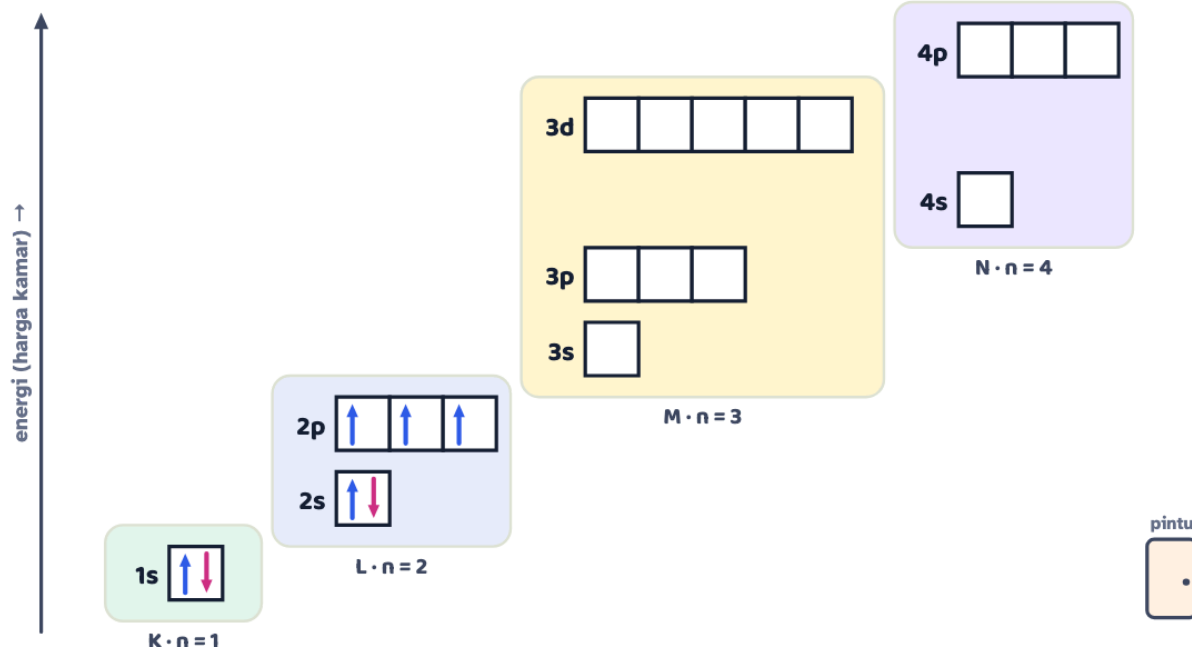


AWAS JEBAKAN

Diagram $2p^4$ oksigen adalah $[\uparrow\downarrow][\uparrow][\uparrow]$, **bukan** $[\uparrow\downarrow][\uparrow\downarrow][\]$. Menurut aturan Hund, kamar kosong harus diisi dulu sebelum elektron berpasangan. Kesalahan ini membuat jumlah elektron tak berpasangan oksigen salah hitung (seharusnya 2, bukan 0).



✓ Keadaan dasar: Aufbau, Pauli, dan Hund dipatuhi.



Atom/ion

N (nitrogen)

Konfigurasi

 $1s^2 2s^2 2p^3$

Notasi gas mulia

 $[\text{He}] 2s^2 2p^3$

Per kulit

K 2 • L 5

Elektron tak berpasangan

3 → paramagnetik

Tekan **+** **Tamu masuk** berkali-kali dan lihat elektron diantar ke kamar termurah. Ketuk **sisi kiri/kanan sebuah kamar** untuk menaruh atau mengusir elektron sendiri. Coba langgar aturan: taruh dua panah searah di satu kamar (pilih spin " $\uparrow$ saja"), atau isi 3s sebelum 2p penuh. Apa kata resepsionis? Lanjutkan sampai elektron ke-24 dan ke-29: ada kejutan untuk kromium dan tembaga! Pilih sebuah **inti** (misalnya Fe) lalu tekan **-** untuk membuat ion.

Tuliskan konfigurasi elektron besi ($Z = 26$), notasi gas mulia, susunan per kulit, dan jumlah elektron tak berpasangannya.

- 1 Isi menurut urutan Aufbau sampai 26 elektron: $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^6$. Cek: $2 + 2 + 6 + 2 + 6 + 2 + 6 = 26$ ✓
- 2 Delapan belas elektron pertama sama dengan argon, jadi notasi gas mulia $[Ar] 4s^2 3d^6$. Boleh juga ditulis menurut nomor kulit: $[Ar] 3d^6 4s^2$.
- 3 Per kulit: $K = 2$, $L = 2 + 6 = 8$, $M = 2 + 6 + 6 = 14$, $N = 2$. Jadi 2, 8, 14, 2 (bukan 2, 8, 8, 8!).
- 4 Diagram $3d^6$ menurut Hund: lima elektron pertama menyebar $\uparrow\uparrow\uparrow\uparrow\uparrow$, elektron keenam berpasangan: $\uparrow\downarrow\uparrow\uparrow\uparrow\uparrow$.

Besi: $[Ar] 4s^2 3d^6$, per kulit 2, 8, 14, 2, dengan 4 elektron tak berpasangan. Elektron tak berpasangan inilah salah satu syarat sifat magnet besi yang kita kenal sehari-hari.

7.4 Bilangan kuantum: alamat lengkap setiap elektron

Setiap tamu hotel punya alamat lengkap: lantai berapa, sayap mana, kamar nomor berapa. Elektron juga punya alamat yang terdiri atas empat bilangan, yaitu **bilangan kuantum**. Tiga bilangan pertama muncul dari persamaan Schrödinger, sedangkan yang keempat menyatakan spin elektron.

Bilangan kuantum	Lambang	Nilai yang boleh	Menyatakan	Di Hotel Elektron
utama	n	$1, 2, 3, \dots$	kulit (ukuran & energi utama orbital)	lantai
azimut	l	$0, 1, \dots, n - 1$	subkulit (bentuk orbital): $0 = s, 1 = p, 2 = d, 3 = f$	sayap
magnetik	m_l	$-l, \dots, 0, \dots, +l$	orbital tertentu (arah orbital dalam ruang)	nomor kamar
spin	m_s	$+\frac{1}{2}$ atau $-\frac{1}{2}$	arah spin elektron ($\uparrow$ atau $\downarrow$)	arah putaran tamu



DEFINISI • BILANGAN KUANTUM

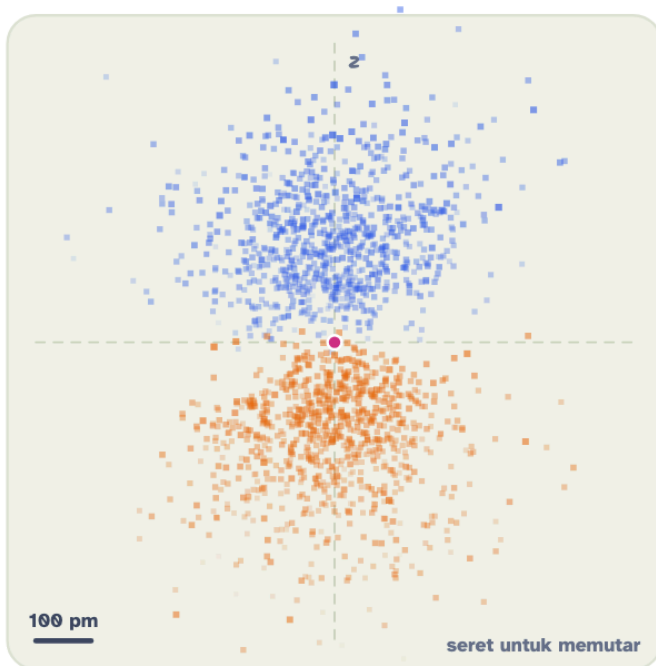
Bilangan kuantum adalah empat bilangan (n, l, m_l, m_s) yang menyatakan keadaan sebuah elektron dalam atom: kulitnya, subkulitnya, orbitalnya, dan spinnya. Menurut larangan Pauli, tidak ada dua elektron dalam satu atom yang keempat bilangan kuantumnya sama persis.

Contoh: kulit $n = 2$ boleh punya $l = 0$ (2s) dan $l = 1$ (2p), tetapi **tidak** boleh $l = 2$. Itulah sebabnya tidak ada "2d" atau "1p". Untuk $l = 1$, nilai m_l boleh $-1, 0$, atau $+1$: tiga kamar p.

LAB MINI

Awan Orbital: ketik alamat, lihat kamarnya

LAB MINI INTERAKTIF • COBA SENDIRI DI AURUMGEN.MY.ID/CHEMIPEDIA#BAB-7



Kartu alamat elektron

$n = 2$ kulit L (lantai 2)

$l = 1$ subkulit p (sayap)

$m_l = 0$ kamar ke-2 dari 3

$m_s = +\frac{1}{2}$ spin $\uparrow$

subkulit 2p: 3 kamar



Aturan alamat:

- $l = 0, 1, \dots, n - 1$
- $m_l = -l, \dots, 0, \dots, +l$
- $m_s = +\frac{1}{2}$ atau $-\frac{1}{2}$ (maks. 2 per kamar)

Orbital

2p (orbital pz)

Simpul radial ($n - l - 1$)

0

Simpul sudut (l)

1

Jari-jari awan 90% (atom H)

422 pm

Elektron terakhir milik (urutan Aufbau)

Z = 6 • C (karbon)

Geser n, l , dan m_l . Titik-titik adalah **tempat elektron mungkin ditemukan** pada atom hidrogen: makin rapat, makin besar peluangnya. Biru dan oranye menandai fase gelombang (+ dan -). Seret awannya untuk memutar. Coba alamat terlarang seperti $n = 1, l = 1$. Perhatikan juga **simpul**: permukaan tempat peluang elektron nol. Berapa simpul pada 3s?



TAMU DARI MASA LALU · ELEKTRON YANG "BERPUTAR"

Pada 1922, **Otto Stern** dan **Walther Gerlach** menembakkan berkas atom perak melewati magnet yang tidak seragam. Mereka kaget: berkas itu terbelah tepat menjadi **dua**. Pada 1925, **George Uhlenbeck** dan **Samuel Goudsmit** mengusulkan bahwa elektron punya sifat magnet bawaan yang disebut *spin*, dengan dua kemungkinan arah saja. Pada tahun yang sama, **Wolfgang Pauli** merumuskan larangannya (ia meraih Nobel Fisika 1945), dan **Friedrich Hund** menyusun aturan pengisian orbital setara pada pertengahan 1920-an.

Untuk soal "bilangan kuantum elektron terakhir", buku-buku di Indonesia memakai kesepakatan berikut: kotak orbital diberi nilai m_l dari $-l$ (kiri) sampai $+l$ (kanan), dan elektron pertama di setiap kamar ber-spin $m_s = +\frac{1}{2}$ ($\uparrow$).



AWAS JEBAKAN

Nilai m_s untuk panah $\uparrow$ hanyalah **kesepakatan**. Sebagian buku memakai $\uparrow = -\frac{1}{2}$, dan sebagian mengisi m_l dari $+l$. Bacalah kesepakatan yang dipakai soal. Yang **bukan** kesepakatan: l selalu kurang dari n , dan m_l selalu di antara $-l$ dan $+l$.

KERJAKAN BERSAMA

Alamat elektron terakhir oksigen

Tentukan keempat bilangan kuantum elektron terakhir atom oksigen ($Z = 8$).

- 1 Konfigurasi: $1s^2 2s^2 2p^4$. Elektron terakhir berada di $2p$, jadi $n = 2$ dan $l = 1$.
- 2 Diagram $2p^4$ dengan kotak $m_l = -1, 0, +1$: tiga elektron pertama mengisi $\uparrow$ di ketiga kotak, elektron keempat kembali ke kotak $m_l = -1$ sebagai $\downarrow$.
- 3 Jadi elektron terakhir: $m_l = -1$ dan $m_s = -\frac{1}{2}$.

$$n = 2, l = 1, m_l = -1, m_s = -\frac{1}{2}.$$

Elektron terakhir sebuah atom netral memiliki bilangan kuantum $n = 4$, $l = 1$, $m_l = 0$, $m_s = -\frac{1}{2}$. Unsur apakah itu?

- 1 $n = 4$ dan $l = 1$ berarti elektron terakhir di subkulit 4p.
- 2 $m_s = -\frac{1}{2}$ berarti elektron itu sudah berpasangan, jadi ketiga kotak sudah terisi $\uparrow$ (3 elektron). Kotak $m_l = -1$ mendapat $\downarrow$ (elektron ke-4), lalu kotak $m_l = 0$ mendapat $\downarrow$ (elektron ke-5).
- 3 Jadi subkulit terakhir 4p⁵: [Ar] 4s² 3d¹⁰ 4p⁵. Jumlah elektron = 18 + 2 + 10 + 5 = 35.

Z = 35, yaitu Br (bromin), halogen cair berwarna coklat kemerahan.



LANJUT · IB & OLIMPIADE

FUNGSI GELOMBANG, PELUANG, DAN SIMPUL

Persamaan Schrödinger untuk atom hidrogen menghasilkan **fungsi gelombang** ψ_{n,l,m_l} . Fungsi ini sendiri tidak bisa diukur, tetapi kuadratnya, $|\psi|^2$, adalah **rapat peluang** menemukan elektron. Pada atom hidrogen, energinya hanya bergantung pada n : $E_n = -\frac{13,6 \text{ eV}}{n^2}$. Pada atom berelektron banyak, elektron saling tolak dan saling "melindungi" dari inti, sehingga energi juga bergantung pada l . Itulah asal urutan 4s sebelum 3d.

Orbital punya **simpul**, yaitu permukaan dengan peluang nol. Jumlah **simpul radial** (kulit bola) = $n - l - 1$, jumlah **simpul sudut** (bidang atau kerucut) = l , sehingga total simpul = $n - 1$. Contoh: 3p punya 1 simpul radial dan 1 bidang simpul. Fase + dan - di kedua sisi simpul penting saat orbital bertumpang tindih membentuk ikatan (Bab 11 dan 12).

7.5 Elektron valensi, golongan, pengecualian, dan konfigurasi ion

Kimia sebuah unsur terutama ditentukan oleh elektron di kulit terluar atau subkulit yang sedang terisi: **elektron valensi**. Hebatnya, konfigurasi elektron langsung memberi tahu alamat unsur di tabel periodik.

- **Periode** = nomor kulit terbesar (n terbesar) yang berisi elektron.
- **Blok** = subkulit yang terakhir diisi menurut Aufbau (s, p, d, atau f).
- **Golongan** dihitung dari elektron valensi, seperti pada tabel di bawah.

Konfigurasi terluar	Blok	Golongan (1-18)	Golongan (A/B)	Contoh
---------------------	------	-----------------	----------------	--------

ns^{1-2}	s	= jumlah elektron ns (1 atau 2)	IA, IIA	Na [Ne] $3s^1$: periode 3, golongan 1 (IA)
$ns^2 np^{1-6}$	p	= 10 + (elektron ns + np)	IIIA–VIIIA = ns + np	Cl [Ne] $3s^2 3p^5$: periode 3, golongan 17 (VIIA)
$ns^{1-2} (n-1)d^{1-10}$	d	= elektron ns + (n-1)d	IIIB–VIIIIB, IB, IIB	Fe [Ar] $4s^2 3d^6$: periode 4, golongan 8 (VIIIIB)
$ns^2 (n-2)f^{1-14}$	f	lanthanida & aktinida	—	U [Rn] $5f^3 6d^1 7s^2$: aktinida

Helium ($1s^2$) adalah pengecualian kecil: secara konfigurasi ia blok s, tetapi diletakkan di golongan 18 karena kulitnya penuh dan sifatnya mirip gas mulia lain.

TABEL PERIODIK HIDUP

Blok s, p, d, f: tabel periodik adalah peta subkulit

Warnai menurut

Blok s/p/d/f

Cari unsur (nama/lambang/nomor)...

1 H s

3 Li s 4 Be s

11 Na s 12 Mg s

19 K s 20 Ca s 21 Sc d 22 Ti d 23 V d 24 Cr d 25 Mn d 26 Fe d 27 Co d 28 Ni d 29 Cu d 30 Zn d 31 Ga p 32 Ge p 33 As p 34 Se p 35 Br p

37 Rb s 38 Sr s 39 Y d 40 Zr d 41 Nb d 42 Mo d 43 Tc d 44 Ru d 45 Rh d 46 Pd d 47 Ag d 48 Cd d 49 In p 50 Sn p 51 Sb p 52 Te p 53 I p

55 Cs s 56 Ba s 71 Lu d 72 Hf d 73 Ta d 74 W d 75 Re d 76 Os d 77 Ir d 78 Pt d 79 Au d 80 Hg d 81 Tl p 82 Pb p 83 Bi p 84 Po p 85 At p

87 Fr s 88 Ra s 103 Lr d 104 Rf d 105 Db d 106 Sg d 107 Bh d 108 Hs d 109 Mt d 110 Ds d 111 Rg d 112 Cn d 113 Nh p 114 Fl p 115 Mc p 116 Lv p 117 Ts p

57 La f 58 Ce f 59 Pr f 60 Nd f 61 Pm f 62 Sm f 63 Eu f 64 Gd f 65 Tb f 66 Dy f 67 Ho f 68 Er f 69 Tm f 70 Yb f

89 Ac f 90 Th f 91 Pa f 92 U f 93 Np f 94 Pu f 95 Am f 96 Cm f 97 Bk f 98 Cf f 99 Es f 100 Fm f 101 Md f 102 No f

blok s

blok p

blok d

blok f

Lebar setiap blok sama dengan daya tampung subkulitnya: blok s 2 kolom, p 6 kolom, d 10 kolom, f 14 kolom. Ketuk unsur untuk melihat konfigurasi dan diagram orbitalnya. Cari kromium (Cr) dan tembaga (Cu):

Chemipedia · © 2026 dr. Rachmat Hidayat, M.Sc, PhD · Editor: Abdulla Hanif Hidayat

212

Pengecualian: kromium dan tembaga

Aturan Aufbau meramalkan kromium $4s^2 3d^4$ dan tembaga $4s^2 3d^9$. Hasil pengukuran (spektroskopi dan sifat magnet) berkata lain:

Unsur	Ramalan Aufbau	Konfigurasi sebenarnya	Alasan
Cr (Z = 24)	$[\text{Ar}] 4s^2 3d^4$	$[\text{Ar}] 3d^5 4s^1$	3d setengah penuh: 6 elektron tak berpasangan searah
Cu (Z = 29)	$[\text{Ar}] 4s^2 3d^9$	$[\text{Ar}] 3d^{10} 4s^1$	3d penuh

Energi 4s dan 3d sangat berdekatan. Memindahkan satu elektron dari 4s ke 3d hanya "rugi" sedikit, tetapi subkulit d yang **setengah penuh** (d^5) atau **penuh** (d^{10}) memberi keuntungan stabilitas yang lebih besar. Pola yang sama terjadi pada tetangga di bawahnya: molibdenum $[\text{Kr}] 4d^5 5s^1$, perak $[\text{Kr}] 4d^{10} 5s^1$, dan emas $[\text{Xe}] 4f^{14} 5d^{10} 6s^1$.

Konfigurasi ion: tamu yang check-out

Anion terbentuk ketika atom menerima elektron: tambahkan elektron menurut Aufbau. Klorin $[\text{Ne}] 3s^2 3p^5$ menjadi $\text{Cl}^- [\text{Ne}] 3s^2 3p^6 = [\text{Ar}]$. **Kation** terbentuk ketika atom melepas elektron: lepaskan dari kulit **terluar** (n terbesar) dulu. Natrium $[\text{Ne}] 3s^1$ menjadi $\text{Na}^+ [\text{Ne}]$.

Ion dan atom yang jumlah elektronnya sama disebut **isoelektronik**. Contoh: O^{2-} , F^- , Ne , Na^+ , Mg^{2+} , dan Al^{3+} semuanya punya 10 elektron, $1s^2 2s^2 2p^6$. Walaupun elektronnya sama, ukurannya berbeda karena jumlah protonnya berbeda (Bab 8).



Tebak Dulu!

Besi: $[\text{Ar}] 4s^2 3d^6$. Ketika besi berkarat dan membentuk ion Fe^{2+} , dua elektron mana yang dilepas?

Dua elektron 3d, karena 3d diisi paling akhir sehingga keluar paling dulu.

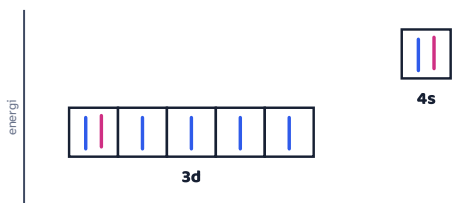
Dua elektron 4s.

Satu elektron 4s dan satu elektron 3d.

Dua elektron 1s, karena paling dekat dengan inti.

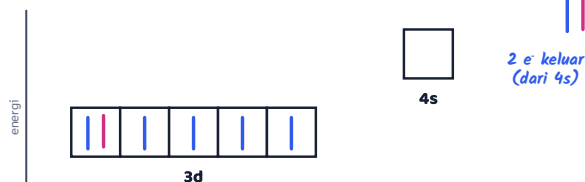
Jawabannya: dua elektron 4s. Masuk duluan tidak berarti keluar belakangan! Elektron 4s berada di kulit ke-4, paling jauh dari inti. Setelah orbital 3d terisi, energi 3d turun di bawah 4s. Jadi $\text{Fe}^{2+} = [\text{Ar}] 3d^6$, bukan $[\text{Ar}] 4s^2 3d^4$.

Fe: $[\text{Ar}] 3d^6 4s^2$ • 4 elektron tak berpasangan



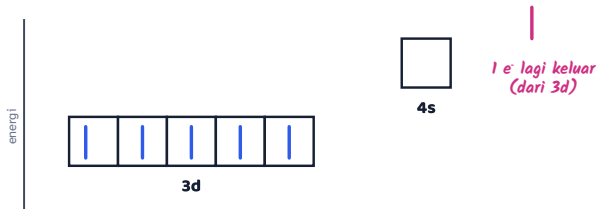
Langkah 1. Atom besi: $[\text{Ar}] 3d^6 4s^2$. Pada atom yang sudah "jadi", orbital 3d berenergi **lebih rendah** daripada 4s, jadi 4s digambar di atas.

Fe^{2+} : $[\text{Ar}] 3d^6$ • dua elektron 4s pergi dulu



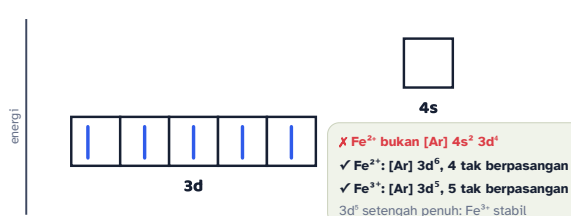
Langkah 2. Ionisasi pertama dan kedua: kedua elektron **4s** lepas lebih dulu karena berada di kulit terluar ($n = 4$). Terbentuk $\text{Fe}^{2+} = [\text{Ar}] 3d^6$, ion besi(II) yang berwarna hijau pucat dalam air.

Fe^{3+} : $[\text{Ar}] 3d^5$ • setengah penuh!



Langkah 3. Ionisasi ketiga: satu elektron 3d yang berpasangan lepas. Terbentuk $\text{Fe}^{3+} = [\text{Ar}] 3d^5$, setengah penuh dengan 5 elektron tak berpasangan. Ion besi(III) memberi warna cokelat kemerahan pada karat dan air sumur yang "berkarat".

Kesimpulan: lepaskan dari n terbesar dulu



Langkah 4. Aturan umum kation logam transisi: lepaskan elektron dari n terbesar dulu (4s sebelum 3d), walaupun 4s diisi lebih dulu saat atom dibangun.

MITOS

"Orbital adalah lintasan melingkar tempat elektron beredar, seperti planet mengelilingi Matahari."

FAKTA

Orbital adalah **daerah peluang**, bukan rel. Posisi dan kecepatan elektron tidak bisa diketahui pasti bersamaan (prinsip Heisenberg). Yang bisa kita gambar hanyalah "awan" tempat elektron mungkin berada.

MITOS

"Kulit terluar semua atom selalu berisi paling banyak 8 elektron, jadi besi pasti 2, 8, 8, 8."

FAKTA

Aturan "maksimal 8" hanya jalan pintas untuk 20 unsur pertama. Besi sebenarnya 2, 8, 14, 2, karena kulit M terisi lagi lewat subkulit 3d.

MITOS

"Karena 4s diisi sebelum 3d, elektron 4s juga dilepas paling akhir."

FAKTA

Terbalik! Pada ion logam transisi, elektron **4s lepas lebih dulu**

. Fe

2+

= [Ar] 3d

6

, Cu

2+

= [Ar] 3d

9

. Urutan masuk tidak sama dengan urutan keluar.



KIMIA NUSANTARA • NIKEL SULAWESI DAN ELEKTRON D

Indonesia memiliki cadangan nikel terbesar di dunia, terutama di Sulawesi dan Maluku Utara. Atom nikel, **Ni**, berkonfigurasi [Ar] 3d⁸ 4s². Saat menjadi ion Ni²⁺ (melepas dua elektron 4s), tersisa [Ar] 3d⁸ dengan 2 elektron tak berpasangan. Subkulit d yang belum penuh inilah yang membuat senyawa nikel berwarna hijau, bersifat paramagnetik, dan mudah berganti bilangan oksidasi (Ni²⁺ ⇌ Ni³⁺/Ni⁴⁺) di katode baterai kendaraan listrik. Rahasia logam strategis Nusantara tersimpan di kamar-kamar 3d!

Ion X^{2+} memiliki konfigurasi $[\text{Ar}] 3d^5$. Tentukan (a) nomor atom dan nama X, (b) konfigurasi atom X, (c) letak X di tabel periodik, dan (d) jumlah elektron tak berpasangan pada atom X.

- 1 X^{2+} punya $18 + 5 = 23$ elektron. Atom netral X punya 2 elektron lebih banyak: 25 elektron, jadi $Z = 25$ (**Mn**, mangan).
- 2 Kation logam transisi melepas 4s dulu, jadi kedua elektron yang hilang berasal dari 4s: $X = [\text{Ar}] 4s^2 3d^5$.
- 3 n terbesar = 4 $\rightarrow$ periode 4. Subkulit terakhir 3d $\rightarrow$ blok d. Golongan = $2 + 5 = 7$ (VIIB).
- 4 $3d^5$ menurut Hund: $[\uparrow][\uparrow][\uparrow][\uparrow][\uparrow] \rightarrow 5$ elektron tak berpasangan ($4s^2$ berpasangan).

X = mangan ($Z = 25$), $[\text{Ar}] 4s^2 3d^5$, periode 4 golongan 7, dengan 5 elektron tak berpasangan. Mangan banyak dipakai untuk baja dan baterai kering.

7.6 Bukti dari laboratorium: energi ionisasi berturutan dan sifat magnet

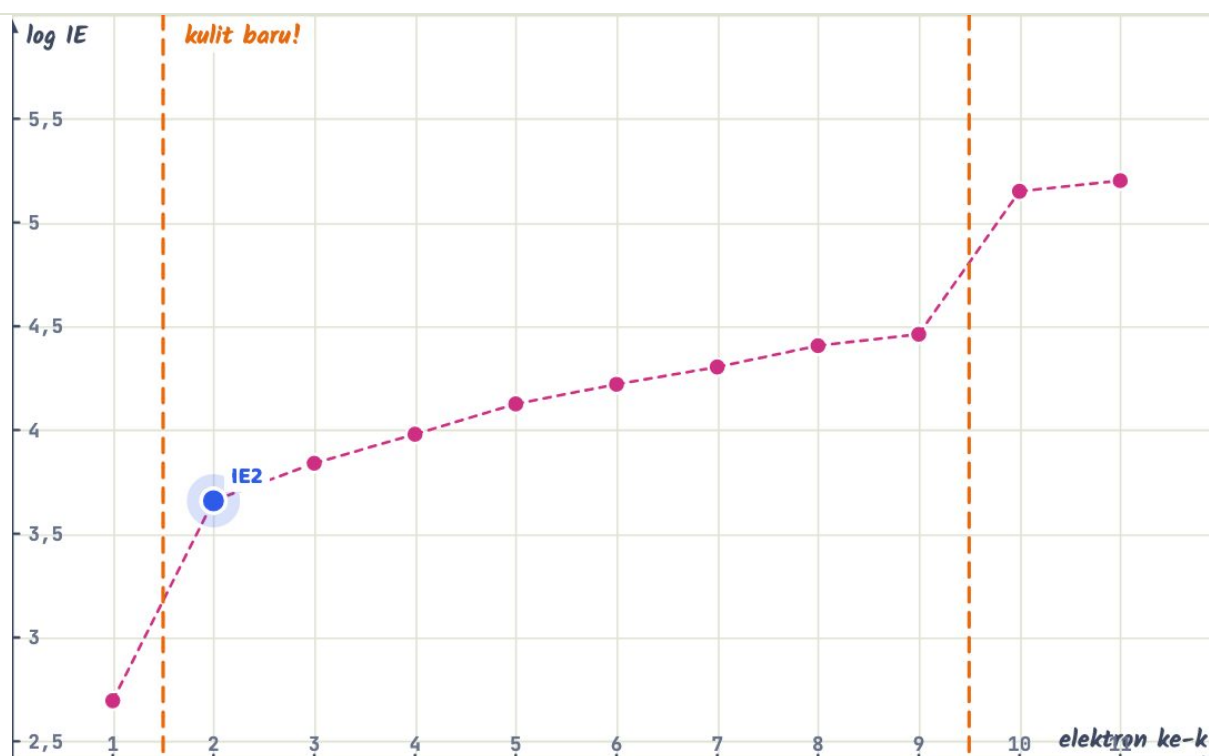
Bagaimana kita tahu bahwa kulit-kulit itu benar-benar ada? Salah satu bukti terkuat datang dari **energi ionisasi**: energi yang dibutuhkan untuk melepas satu mol elektron dari satu mol atom (atau ion) dalam wujud gas. Elektron bisa dilepas satu per satu, sehingga ada energi ionisasi pertama (IE_1), kedua (IE_2), dan seterusnya.



Energi ionisasi berturutan selalu naik, karena elektron yang tersisa ditarik oleh muatan positif yang makin besar. Namun kenaikannya tidak rata. Bila elektron berikutnya harus dicabut dari **kulit yang lebih dalam**, energinya melonjak tajam. Lonjakan itulah "jejak kaki" kulit elektron.

$$\log_{10} (IE_k / \text{kJ mol}^{-1}) \text{ vs } k$$

Na (natrium) : $IE_2 = 4.562 \text{ kJ/mol}$



lompatan besar: elektron ke-2 dicabut dari kulit yang lebih dalam!

unsur

Na (natrium)

elektron di kulit terluar

1

IE ke-k (kJ/mol)

4.562rasio IE_k/IE_{k-1} **9,2**

Pilih unsur dengan penggeser Z, lalu seret titik biru ke elektron ke-k. Sumbu tegak memakai skala logaritma ($\log_{10}$), sehingga setiap naik 1 berarti energinya 10 kali lipat. Garis oranye menandai batas kulit. Untuk natrium, hitung: berapa elektron sebelum lompatan pertama? Berapa elektron di antara lompatan pertama dan kedua? Cocokkan dengan 2, 8, 1! (Data: buku data standar, dibulatkan.)

Energi ionisasi berturutan (kJ/mol) unsur Q periode 3 adalah: 738; 1.451; 7.733; 10.543; 13.630. Tentukan golongan Q dan tuliskan konfigurasinya.

- 1 Hitung rasio berturutan: $1.451/738 \approx 2,0$; $7.733/1.451 \approx 5,3$; $10.543/7.733 \approx 1,4$.
- 2 Lompatan besar terjadi antara IE_2 dan IE_3 : elektron ketiga dicabut dari kulit yang lebih dalam. Jadi Q punya **2 elektron valensi**.
- 3 Periode 3 dengan 2 elektron valensi $\rightarrow$ golongan 2 (IIA): magnesium, $[\text{Ne}] 3s^2$.

Q = magnesium (golongan 2), $[\text{Ne}] 3s^2$. Itulah sebabnya magnesium membentuk ion Mg^{2+} dan tidak pernah Mg^{3+} : mencabut elektron ketiga terlalu mahal.

Elektron tak berpasangan dan magnet

Setiap elektron berperilaku seperti magnet kecil karena spinnya. Dua elektron sekamar ($\uparrow\downarrow$) saling meniadakan. Zat yang punya **elektron tak berpasangan** bersifat **paramagnetik**: tertarik ke medan magnet. Zat yang semua elektronnya berpasangan bersifat **diamagnetik**: sedikit ditolak medan magnet. Ion Zn^{2+} ($[\text{Ar}] 3d^{10}$) diamagnetik, sedangkan Fe^{3+} ($[\text{Ar}] 3d^5$) sangat paramagnetik. Besarnya dapat diperkirakan dari jumlah elektron tak berpasangan.

$$\mu = \sqrt{n(n+2)} \mu_B$$

Makin banyak elektron tak berpasangan, makin kuat atom atau ion itu tertarik magnet.

n Jumlah elektron tak berpasangan

μ Momen magnet BM

MOMEN MAGNET

5,92

BM

Fe^{3+} dan Mn^{2+} ($3d^5$): 5,92 BM

5 elektron tak berpasangan $\rightarrow \mu \approx 5,92$ magneton Bohr (BM). Zat ini bersifat **paramagnetik (tertarik magnet)**.

Cek satuan: magneton Bohr, $\mu_B = 9,27 \times 10^{-24} \text{ J/T}$

RUMUS HIDUP: GESER NILAINYA DAN KUMPULKAN KARTUNYA DI AURUMGEN.MY.ID/CHEMIPEDIA#RM-MOMEN-SPIN



LANJUT • IB & OLIMPIADE

MENGAPA d^5 DAN d^{10} ISTIMEWA, DAN MENGAPA 4s LEPAS DULU?

Energi pertukaran. Elektron-elektron yang spinnya searah di orbital berbeda saling menghindari lebih efektif, sehingga tolakannya lebih kecil. Keuntungan ini (energi pertukaran) sebanding dengan jumlah *pasangan* elektron searah: d^4 punya $\binom{4}{2} = 6$ pasangan, d^5 punya $\binom{5}{2} = 10$. Pada kromium, memindahkan satu elektron 4s ke 3d menghapus tolakan pasangan di 4s dan menambah 4 pasangan searah, sehingga $3d^5 4s^1$ lebih stabil.

Urutan isi $\neq$ urutan energi akhir. Pada kalium dan kalsium, orbital 3d masih "kosong dan jauh", sehingga 4s lebih rendah. Begitu inti bertambah proton dan 3d mulai terisi, elektron 3d tertarik kuat dan energinya turun di bawah 4s. Elektron 4s yang paling luar justru paling mudah dicabut. Spektroskopi foton (PES) mengonfirmasi: pada logam transisi, elektron 4s punya energi ikat terkecil.

Kimia di sekitarmu



Kembang api tahun baru

Panas membuat elektron ion logam "naik" ke kamar yang lebih mahal (keadaan tereksitasi). Saat turun lagi, energinya keluar sebagai cahaya: stronsium merah, natrium kuning, tembaga hijau-biru.



Lampu jalan kuning

Lampu natrium di jalan raya memancarkan cahaya kuning 589 nm, berasal dari elektron yang melompat antara subkulit 3p dan 3s atom natrium.



MRI di rumah sakit

Zat kontras MRI memakai ion gadolinium, Gd^{3+} ($4f^7$), dengan 7 elektron tak berpasangan. Sifat paramagnetiknya yang kuat membuat gambar jaringan lebih jelas.



Kabel listrik tembaga

Tembaga $[\text{Ar}] 3d^{10} 4s^1$ punya satu elektron 4s yang mudah bergerak di antara atom. Karena itu tembaga menjadi penghantar listrik terbaik kedua setelah perak, dan dipakai di hampir semua kabel rumah.



Biru terusi, bening seng

Larutan terusi (Cu^{2+} , $3d^9$) berwarna biru karena subkulit d-nya belum penuh. Larutan seng sulfat (Zn^{2+} , $3d^{10}$) bening: subkulit d yang penuh tidak menyerap cahaya tampak.



Cek Cepat

Berapa elektron maksimum yang dapat menempati subkulit p?

2

6

10

14

Konfigurasi elektron tembaga ($Z = 29$) yang benar adalah ...

[Ar] $4s^2 3d^9$

[Ar] $4s^2 4p^9$

[Ar] $3d^{10} 4p^1$

[Ar] $3d^{10} 4s^1$

Konfigurasi ion Fe^{2+} ($Z Fe = 26$) adalah ...

[Ar] $3d^6$

[Ar] $4s^2 3d^4$

[Ar] $4s^1 3d^5$

[Ar] $4s^2 3d^6$

Kunci Cek Cepat: 1. B · 2. D · 3. A

Tantangan Rumah: kartu Hotel Elektron

Bahan: kardus bekas atau karton, gunting, spidol, penggaris, dan ± 40 kancing dua warna (atau kacang hijau dan kacang merah) sebagai elektron $\uparrow$ dan $\downarrow$.

1. Gambar "papan hotel" di karton: kotak 1s di bagian bawah, lalu 2s, tiga kotak 2p, 3s, tiga kotak 3p, dan 4s, makin ke atas makin mahal.
2. Buat 20 kartu kecil bertuliskan lambang dan nomor atom unsur H sampai Ca.
3. Kocok kartu, ambil satu, lalu isi papan dengan kancing: warna pertama = $\uparrow$, warna kedua = $\downarrow$. Patuhi Aufbau, Pauli, dan Hund!
4. Tulis konfigurasinya di balik kartu. Periksa dengan mengetuk chip unsur di buku ini, misalnya **Mg**.
5. Setelah semua kartu selesai, kelompokkan kartu yang konfigurasi kulit terluarnya mirip.

Keselamatan: kancing dan kacang adalah benda kecil. Jangan dimasukkan ke mulut, hidung, atau telinga, dan jauhkan dari adik balita karena bisa tersedak. Kacang yang sudah dipakai bermain jangan dimakan. Hati-hati memakai gunting, minta bantuan orang dewasa untuk memotong kardus tebal, dan cuci tangan setelah selesai.

Pertanyaan: Kartu apa saja yang berkumpul bersama Li? Apa persamaan konfigurasi mereka? Mengapa He dan Be, yang sama-sama berakhir dengan s^2 , sifatnya sangat berbeda?

RINGKASAN KILAT Bab 7 dalam 3 menit

Kamu sekarang bisa...

- menuliskan **konfigurasi elektron per kulit** (K, L, M, N) dan memakai kapasitas kulit $2n^2$
- menjelaskan **subkulit s, p, d, f** serta bentuk **orbital** sebagai awan peluang, bukan lintasan
- menyusun konfigurasi elektron dan **diagram orbital** dengan aturan **Aufbau**, larangan **Pauli**, dan aturan **Hund**, termasuk pengecualian kromium dan tembaga
- menentukan **empat bilangan kuantum** (n, l, m_l, m_s) sebuah elektron
- menghubungkan **elektron valensi** dengan golongan, periode, dan blok, menulis **konfigurasi ion**, serta membaca **energi ionisasi berturutan** sebagai bukti adanya kulit

Istilah kunci

kulit elektron

Kulit elektron

elektron valensi

subkulit

orbital

Orbital

konfigurasi elektron keadaan dasar

diagram orbital

elektron tak berpasangan

bilangan kuantum

Bilangan kuantum

isoelektronik

energi ionisasi

paramagnetik

diamagnetik

Rumus penting

$$N_{\text{maks}} = 2n^2$$

Kapasitas kulit elektron. Kulit ke- n menampung paling banyak dua kali kuadrat nomor kulitnya.

$$e_{\text{maks}} = 2(2l + 1)$$

Orbital dan elektron dalam satu subkulit.

Subkulit dengan bilangan kuantum azimut l punya $2l + 1$ orbital; setiap orbital memuat dua elektron.

$$\mu = \sqrt{n(n+2)} \mu_B$$

Momen magnet spin-saja. Makin banyak elektron tak berpasangan, makin kuat atom atau ion itu tertarik magnet.

⚠ **Jangan sampai terjebak**

- Kalium bukan 2, 8, 9!
- Diagram 2p4 oksigen adalah $[\uparrow\downarrow][\uparrow][\uparrow]$, bukan $[\uparrow\downarrow][\uparrow\downarrow][\]$.
- Nilai m_s untuk panah $\uparrow$ hanyalah kesepakatan.

📄 Tangga Latihan: 24 soal bab ini (Lv 1 Pemula sampai Lv 6 Olimpiade) ada di PDF Bank Soal dan di aurumgen.my.id/chemipedia#soal?bab=7

🧩 Teka-teki untuk Bab 8

Pada 1869, Dmitri Mendeleev menyusun unsur-unsur dalam sebuah tabel dan dengan berani meninggalkan kotak-kotak kosong. Ia bahkan meramal massa, massa jenis, dan rumus oksida unsur yang belum pernah dilihat siapa pun. Padahal elektron baru ditemukan 28 tahun kemudian! Bagaimana ia bisa meramal sifat unsur yang belum ada di tangannya?

▼ Intip petunjuk

Mendeleev memperhatikan bahwa sifat unsur **berulang secara berkala** dan tetangga atas-bawah dalam satu kolom bersifat mirip. Kita sekarang tahu sebabnya: unsur segolongan punya konfigurasi elektron terluar yang sama (Li, Na, K: ns^1). Di bawah silikon ia meramal "eka-silikon" dengan merata-ratakan sifat tetangganya. Pada 1886 unsur itu ditemukan dan dinamai germanium. Simak kisah lengkapnya di Bab 8!

08 Tabel Periodik: Peta Ajaib yang Bisa Meramal

Pada 1869, seorang profesor kimia di Rusia sengaja mengosongkan beberapa kotak di tabelnya dan berkata, "Unsur di sini belum ditemukan, tetapi sifatnya sudah bisa kutebak." Ramalannya terbukti. Di bab ini kamu belajar membaca peta yang sama, lalu ikut meramal.

Setelah bab ini, kamu bisa

- menceritakan perjalanan tabel periodik dari **triade Döbereiner**, **oktaf Newlands**, dan **ramalan Mendeleev** sampai **hukum periodik modern** Moseley;
- menentukan **periode**, **golongan**, dan **blok** suatu unsur dari konfigurasi elektronnya, serta mengelompokkan logam, nonlogam, dan metaloid;
- menjelaskan tren **jari-jari atom dan ion** memakai **muatan inti efektif** dan **efek perisai**;
- membandingkan **energi ionisasi**, **afinitas elektron**, dan **keelektronegatifan**, termasuk anomali Be-B dan N-O;
- meramalkan sifat dan **reaktivitas** unsur (terutama golongan 1 dan 17) dari letaknya di tabel periodik.

KARTU-KARTU MENDELEEV

KOMIK • 4 PANEL

Jam istirahat di kelas X

LARAS

Kartu data teman sekelas kuurutkan dari yang paling pendek, empat kartu per baris. Lihat: yang hobinya sama selalu jatuh di kolom yang sama!

BIMA

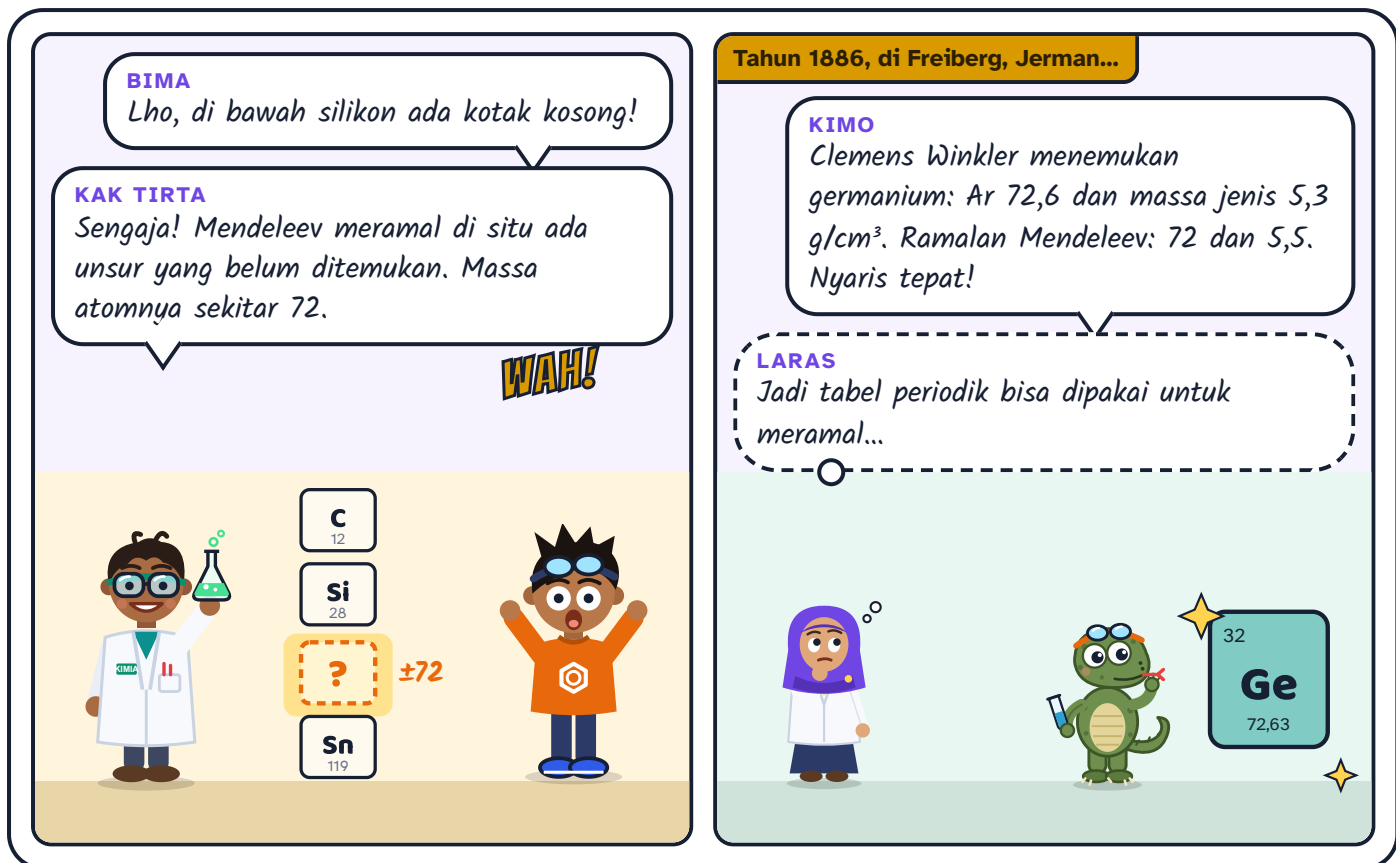
Ah, itu kebetulan saja!

**KAK TIRTA**

Bukan kebetulan! Begitulah cara Dmitri Mendeleev berpikir pada 1869. Setiap unsur ia tulis di sebuah kartu, lalu ia susun seperti main kartu patience.



Li 7	Be 9	B 11	C 12	N 14	O 16	F 19
Na 23	Mg 24	Al 27	Si 28	P 31	S 32	Cl 35,5



Tebak Dulu!

Atom litium punya 3 elektron, sedangkan atom fluorin punya 9 elektron. Keduanya sama-sama punya dua kulit. Atom mana yang lebih besar?

Fluorin, karena elektronnya tiga kali lebih banyak sehingga butuh tempat lebih luas.

Litium, jari-jarinya lebih dari dua kali jari-jari fluorin.

Sama besar, karena jumlah kulitnya sama.

Tidak bisa dibandingkan, karena litium logam dan fluorin nonlogam.

Jawabannya: litium. Jari-jari kovalen litium ± 128 pm, fluorin hanya ± 57 pm. Fluorin memang punya lebih banyak elektron, tetapi juga punya 9 proton yang menarik semua elektronnya lebih kuat ke dalam. Subbab 8.3 membongkar rahasia "tarik-menarik" ini.

8.1 Mencari irama para unsur: dari triade sampai nomor atom

Pada pertengahan abad ke-19, kimiawan sudah mengenal sekitar 60 unsur. Ada logam lunak yang mendesis di air (natrium, kalium), gas kuning-hijau yang menyesakkan (klorin), dan cairan merah-cokelat berbau tajam (brom). Daftar itu mirip gudang yang berantakan. Adakah aturan yang menata semuanya?

Bahasa sederhana • Bayangkan kamu merapikan rak sepatu keluarga. Mula-mula kamu mengurutkannya menurut ukuran. Lalu kamu menaruh sepatu yang mirip (sandal, sepatu sekolah, sepatu bola) di lajur yang sama. Para kimiawan melakukan hal yang serupa pada unsur: mengurutkan, lalu mencari yang mirip supaya bisa dikelompokkan. Hasil akhirnya adalah **tabel periodik**.

Langkah pertama datang dari **Johann Wolfgang Döbereiner** (Jerman). Antara 1817 dan 1829 ia melihat bahwa unsur yang sifatnya mirip sering datang bertiga. Ia menyebutnya **triade**. Dalam satu triade, massa atom unsur tengah kira-kira sama dengan rata-rata massa dua unsur lainnya.

Triade	Ar unsur pertama & ketiga	Rata-ratanya	Ar unsur tengah
Li - Na - K	7 dan 39	23	Na = 23
Ca - Sr - Ba	40 dan 137	88,5	Sr = 87,6
Cl - Br - I	35,5 dan 127	81,25	Br = 79,9

Sayangnya, kebanyakan unsur tidak bisa dimasukkan ke triade mana pun. Pada 1864–1865, **John Newlands** (Inggris) mencoba cara lain: mengurutkan semua unsur menurut massa atomnya. Ia melihat bahwa unsur kedelapan mirip unsur pertama, seperti tangga nada *do, re, mi, fa, sol, la, si*, lalu *do* lagi. Ia menamainya **hukum oktaf**. Pola ini cocok untuk unsur ringan sampai kalsium, tetapi kacau sesudahnya. Seorang anggota Chemical Society di London bahkan menyindir dengan bertanya apakah Newlands sudah mencoba mengurutkan unsur menurut abjad. Dua puluh tahun kemudian, Newlands justru menerima medali atas penemuannya.

Pada 1869, **Dmitri Mendeleev** (Rusia) menulis 63 unsur yang dikenal saat itu pada kartu-kartu: lambang, massa atom, rumus oksida, dan sifat lainnya. Ia mengurutkan kartu menurut massa atom yang naik dan memulai baris baru setiap kali sifat mulai berulang. Hampir bersamaan, **Lothar Meyer** (Jerman) menemukan pola serupa dari grafik volume atom. Kejeniusan Mendeleev terletak pada tiga keputusan berani:

- Mengosongkan kotak.** Bila unsur berikutnya tidak cocok dengan keluarganya, ia meninggalkan kotak kosong untuk unsur yang belum ditemukan.
- Meramal sifat.** Dari tetangga-tetangganya ia meramal sifat unsur yang hilang: *eka-aluminium* (galium, ditemukan 1875), *eka-boron* (skandium, 1879), dan *eka-silikon* (germanium, 1886). Kata *eka* berarti "satu" dalam bahasa Sanskerta: satu tempat di bawah.
- Menukar urutan.** Telurium (Ar 127,6) ia taruh sebelum iodin (Ar 126,9), karena sifat iodin jelas mirip klorin dan brom. Baginya, kemiripan sifat lebih penting daripada urutan massa.

Sifat	Ramalan Mendeleev (1871) untuk eka-silikon	Germanium (ditemukan 1886)
Massa atom relatif	72	72,6
Massa jenis	5,5 g/cm ³	5,32 g/cm ³
Warna	abu-abu gelap	putih keabu-abuan

Rumus oksida	EsO ₂	GeO ₂
Klorida	EsCl ₄ , mendidih di bawah 100 °C, massa jenis 1,9 g/cm ³	GeCl ₄ , mendidih pada ±86 °C, massa jenis 1,88 g/cm ³



TAMU DARI MASA LALU · KETIKA RAMALAN MENGOREKSI PENGUKURAN

Pada 1875, **Paul-Émile Lecoq de Boisbaudran** (Prancis) menemukan galium dan mengukur massa jenisnya: 4,7 g/cm³. Mendeleev menulis kepadanya bahwa nilainya seharusnya sekitar 5,9, dan bahwa sampelnya mungkin belum murni. Setelah galium dimurnikan dan diukur ulang, hasilnya 5,9 g/cm³! Seorang ilmuwan yang belum pernah melihat galium ternyata lebih tepat daripada penemunya sendiri. Sejak itu para kimiawan percaya pada tabel periodik.

Sekarang giliranmu menjadi Mendeleev. Di Lab Mini berikut, unsur di tengah disembunyikan. Kamu hanya melihat empat tetangganya.

LAB MINI Teka-teki Mendeleev: tebak unsur yang hilang

LAB MINI INTERAKTIF · COBA SENDIRI DI AURUMGEN.MY.ID/CHEMIPEDIA#BAB-8

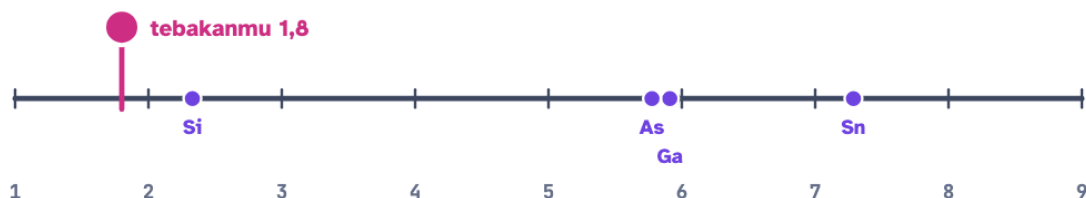
Unsur misterius: eka-silikon

Sifat: Massa jenis (g/cm³)



Seret penanda magenta di skala bawah (atau geser slider) ke tebakanmu, lalu tekan Ungkap.

Rata-rata atas-bawah ?
Rata-rata kiri-kanan ?
Rata-rata 4 tetangga ?
Nilai asli ?



Tebakanmu 1,8 g/cm³	Rata-rata 4 tetangga ?	Nilai sebenarnya ?	Selisih —	Tebakan jitu (< 10%) 0 dari 0
--	----------------------------------	------------------------------	---------------------	---

Pilih **unsur misterius** dan **sifat** yang mau ditebak. Seret penanda magenta di skala (atau geser slider) ke tebakanmu, lalu tekan **Ungkap**. Bingung? Tekan **Rata-rata tetangga** untuk memakai cara Mendeleev. Coba juga titik leleh galium dan massa jenis brom: kapan cara rata-rata ini gagal, dan mengapa?

Tetangga germanium di tabel periodik adalah Si di atasnya ($2,33 \text{ g/cm}^3$), Sn di bawahnya ($7,29 \text{ g/cm}^3$), Ga di kirinya ($5,91 \text{ g/cm}^3$), dan As di kanannya ($5,78 \text{ g/cm}^3$). Perkirakan massa jenis germanium.

1 Rata-rata atas-bawah: $\frac{2,33 + 7,29}{2} = 4,81 \text{ g/cm}^3$.

2 Rata-rata kiri-kanan: $\frac{5,91 + 5,78}{2} \approx 5,85 \text{ g/cm}^3$.

3 Rata-rata keempatnya: $\frac{2,33 + 7,29 + 5,91 + 5,78}{4} = \frac{21,31}{4} \approx 5,33 \text{ g/cm}^3$.

Perkiraan $\pm 5,3 \text{ g/cm}^3$. Hasil pengukuran germanium $5,32 \text{ g/cm}^3$: selisihnya kurang dari 1%. Sifat unsur memang berubah teratur di sekitar letaknya.

Tabel Mendeleev masih menyimpan teka-teki. Mengapa argon (Ar 39,95) harus diletakkan sebelum kalium (Ar 39,10), dan kobalt (58,93) sebelum nikel (58,69)? Jawabannya datang pada 1913 dari **Henry Moseley** (Inggris). Ia menembakkan elektron berenergi tinggi ke berbagai logam dan mengukur frekuensi sinar-X yang dipancarkan. Ternyata akar frekuensinya naik selangkah demi selangkah, tepat satu langkah per unsur. "Langkah" itu adalah **nomor atom** Z , yaitu jumlah proton di inti.

$$f = 2,47 \times 10^{15} \text{ Hz} \times (Z - 1)^2$$

Frekuensi sinar-X garis K α setiap unsur naik teratur sebanding dengan kuadrat $(Z - 1)$, sehingga nomor atom bisa dibaca dari 'cahaya' unsur itu.

Z

Nomor atom

f

Frekuensi garis K α HzFREKUENSI GARIS K α **1,936 × 10¹⁸**

Hz

tembaga: $\lambda \approx 155 \text{ pm}$ (hasil ukur 154 pm)

Unsur dengan $Z = 29$ memancarkan sinar-X K α berfrekuensi **1,936 × 10¹⁸ Hz**, panjang gelombang **±154,817 pm**.

Cek satuan: Hz = getaran per detik

RUMUS HIDUP: GESER NILAINYA DAN KUMPULKAN KARTUNYA DI AURUMGEN.MY.ID/CHEMIPEDIA#RM-HUKUM-MOSELEY



HUKUM PERIODIK MODERN

Sifat-sifat unsur merupakan **fungsi periodik dari nomor atomnya**. Bila unsur diurutkan menurut nomor atom yang naik, sifat-sifat yang mirip muncul kembali secara berkala. Tabel periodik modern memuat 118 unsur dalam 7 periode; empat nama terakhir (nihonium, moskovium, tenesin, dan oganeson) diresmikan IUPAC pada 2016.



AWAS JEBAKAN

Mendelev menyusun unsur menurut massa atom, bukan nomor atom. Nomor atom baru dipahami setelah Moseley (1913). Itulah sebabnya Mendelev terpaksa "melanggar" urutan massa pada pasangan Te-I, sedangkan tabel modern yang memakai nomor atom tidak membutuhkan pengecualian itu.



TAMU DARI MASA LALU · HENRY MOSELEY

Moseley baru berusia 26 tahun ketika menemukan hukumnya. Dari celah pada deret nomor atom, ia menunjukkan bahwa unsur bernomor 43, 61, 72, dan 75 belum ditemukan. Keempatnya memang baru ditemukan kemudian (1923–1945). Moseley gugur di Gallipoli pada 1915 dalam usia 27 tahun. Banyak ilmuwan yakin ia akan meraih Hadiah Nobel seandainya masih hidup.

8.2 Alamat setiap unsur: golongan, periode, dan blok

Setiap unsur di tabel periodik punya "alamat", seperti rumahmu punya nama jalan dan nomor rumah. Begitu tahu alamatnya, kamu bisa menebak banyak hal tentang unsur itu.



DEFINISI · PERIODE DAN GOLONGAN

Periode adalah lajur mendatar (baris) tabel periodik; ada 7 periode. Nomor periode sama dengan jumlah kulit elektron yang terisi, yaitu bilangan kuantum utama n terbesar. **Golongan** adalah lajur tegak (kolom); ada 18 golongan. Unsur segolongan punya susunan elektron valensi yang sama, sehingga sifat kimianya mirip.

Di Bab 7 kamu sudah bisa menulis konfigurasi elektron. Sekarang konfigurasi itu bisa langsung diterjemahkan menjadi alamat:

- **Periode** = nomor kulit terluar (n terbesar). Natrium $1s^2 2s^2 2p^6 3s^1 \rightarrow$ periode 3.
- **Blok** = subkulit yang terakhir diisi: **blok s** (golongan 1–2 dan helium), **blok p** (golongan 13–18), **blok d** (golongan 3–12, logam transisi), dan **blok f** (lantanida dan aktinida).
- **Golongan**: blok s $\rightarrow$ jumlah elektron valensi (1 atau 2); blok p $\rightarrow 10 +$ jumlah elektron ns dan np ; blok d $\rightarrow$ jumlah elektron ns dan $(n - 1)d$.

Golongan IUPAC	Golongan lama	Elektron valensi	Nama keluarga	Contoh
1	IA	ns^1	logam alkali (kecuali H)	Li, Na, K
2	IIA	ns^2	logam alkali tanah	Mg, Ca
3–12	IIIB–VIIIIB, IB, IIB	$(n - 1)d ns$	logam transisi	Fe, Ni, Cu, Au
13	IIIA	$ns^2 np^1$	golongan boron	B, Al, Ga
14	IVA	$ns^2 np^2$	golongan karbon	C, Si, Sn
15	VA	$ns^2 np^3$	golongan nitrogen	N, P, As
16	VIA	$ns^2 np^4$	kalkogen	O, S, Se

17	VIIA	$ns^2 np^5$	halogen	F, Cl, Br, I
18	VIIIA (atau 0)	$ns^2 np^6$ (He: $1s^2$)	gas mulia	He, Ne, Ar



AWAS JEBAKAN

Golongan 13 bukan golongan 3! Banyak buku di Indonesia masih menulis golongan dengan huruf A/B, misalnya aluminium di golongan IIIA. Penomoran IUPAC 1–18 (dipakai IGCSE dan IB) menghitung semua kolom, termasuk 10 kolom logam transisi. Jadi untuk unsur blok p, tambahkan 10: IIIA = 13, VIIA = 17.

CONTOH Menentukan alamat klorin dan besi

Tentukan periode, golongan, dan blok untuk klorin ($Z = 17$) dan besi ($Z = 26$).

- 1 Klorin: $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^5$ (2, 8, 7). Kulit terluar $n = 3 \rightarrow$ **periode 3**.
- 2 Elektron terakhir masuk subkulit p $\rightarrow$ **blok p**. Elektron valensi $3s^2 3p^5 = 7$, jadi golongan $10 + 7 = 17$ (VIIA): halogen.
- 3 Besi: $[Ar] 3d^6 4s^2$. Kulit terluar $n = 4 \rightarrow$ **periode 4**. Elektron terakhir masuk subkulit d $\rightarrow$ **blok d**.
- 4 Golongan blok d = elektron $4s + 3d = 2 + 6 = 8 \rightarrow$ **golongan 8** (VIII B): logam transisi.

Cl: periode 3, golongan 17, blok p (nonlogam). Fe: periode 4, golongan 8, blok d (logam transisi).

ADU CEPAT Nomor atom $\rightarrow$ periode

ADU CEPAT • MAINKAN DI [AURUMGEN.MY.ID/CHEMIPEDIA#BAB-8](https://aurumgen.my.id/chemipedia#BAB-8)

Latihan kilat 60 detik dengan soal acak dan rekor pribadi.

Hafalkan nomor atom gas mulia: 2, 10, 18, 36, 54. Gas mulia menutup setiap periode.

ADU CEPAT Elektron valensi → golongan IUPAC

ADU CEPAT • MAINKAN DI AURUMGEN.MY.ID/CHEMIPEDIA#BAB-8

Latihan kilat 60 detik dengan soal acak dan rekor pribadi.

Golongan 1 dan 2: sama dengan elektron valensi. Blok p: tambahkan 10 (3 elektron valensi → golongan 13).

Selain alamat, letak unsur juga memberi tahu jenisnya. Garis "tangga" dari boron sampai astatin memisahkan **logam** (di kiri, sekitar 80% unsur) dan **nonlogam** (di kanan atas).

Sifat	Logam	Nonlogam
Penampilan	mengilap	kusam (kecuali beberapa, mis. iodin)
Hantaran listrik & panas	baik	buruk (kecuali grafit)
Saat dipukul	lentur, bisa ditempa dan ditarik menjadi kawat	rapuh (bila padat)
Wujud pada 25 °C	padat (kecuali raksa)	padat, cair (brom), atau gas
Saat bereaksi	melepas elektron → ion positif	menerima atau berbagi elektron
Oksida	bersifat basa, mis. Na_2O , CaO	bersifat asam, mis. CO_2 , SO_2

Di sepanjang tangga itu tinggal **metalloid**: B, Si, Ge, As, Sb, Te. Sifatnya setengah logam, setengah nonlogam. Silikon, misalnya, mengilap seperti logam tetapi rapuh, dan daya hantar listriknya justru naik bila dipanaskan. Itulah bahan semikonduktor di dalam cip HP dan panel surya.

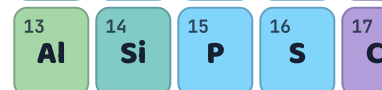
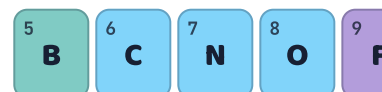
TABEL PERIODIK HIDUP Peta keluarga unsur

Warnai menurut

Kategori



Cari unsur (nama/lambang/nomor)...



■ Logam alkali
 ■ Logam alkali tanah
 ■ Logam transisi
 ■ Logam pascatransisi
 ■ Metaloid
 ■ Nonlogam
 ■ Halogen
 ■ Gas mulia
 ■ Lantanida
 ■ Aktinida



8.3 Jari-jari atom dan ion: tarikan inti melawan perisai

- **Jari-jari logam:** setengah jarak inti dua atom bertetangga dalam kristal logam.
- **Jari-jari van der Waals:** setengah jarak inti dua atom yang hanya bersentuhan tanpa berikatan. Nilainya lebih besar daripada jari-jari kovalen.
- **Jari-jari ion:** ukuran ion di dalam kristal ion.

Satuannya pikometer: $1 \text{ pm} = 10^{-12} \text{ m}$. Kecil sekali! Bila atom klorin diperbesar seukuran bola pingpong, bola pingpong yang diperbesar dengan skala yang sama akan berdiameter $\pm 8.000 \text{ km}$, lebih dari separuh diameter Bumi.

Ukuran atom ditentukan oleh tarik-menarik. Inti yang bermuatan positif menarik elektron. Tetapi elektron terluar tidak merasakan seluruh tarikan inti, karena elektron-elektron di kulit dalam menghalangi sebagian tarikan itu. Inilah **efek perisai** (*shielding*). Kak Tirta suka mengibaratkannya begini: penjual martabak (inti) memanggil pembeli di ujung antrean. Makin banyak orang berdiri di depan pembeli itu (elektron kulit dalam), makin lemah suara yang sampai kepadanya. Orang yang berdiri sejajar di sebelahnya (elektron sekulit) hampir tidak menghalangi.



DEFINISI • MUATAN INTI EFEKTIF

Muatan inti efektif (Z_{ef}) adalah muatan positif "bersih" yang dirasakan sebuah elektron:

$$Z_{ef} = Z - S$$

dengan Z nomor atom (jumlah proton) dan S tetapan perisai. Aturan sederhana untuk SMA: $S \approx$ jumlah elektron di kulit dalam, sehingga Z_{ef} elektron valensi unsur golongan utama $\approx$ jumlah elektron valensinya.

$$Z_{ef} = Z - S$$

Tarikan bersih yang dirasakan elektron terluar sama dengan jumlah proton dikurangi perisai dari elektron di sebelah dalamnya.

 Z

Nomor atom (jumlah proton)

 S

Tetapan perisai

 Z_{ef}

Muatan inti efektif

MUATAN INTI EFEKTIF

1

Na, aturan sederhana: $Z_{ef} = 1$

Elektron terluar merasakan tarikan setara **1** proton, bukan **11** proton. (— berarti mustahil: perisai S harus lebih kecil daripada Z .)

Cek satuan: tanpa satuan (kelipatan muatan satu proton)

RUMUS HIDUP: GESER NILAINYA DAN KUMPULKAN KARTUNYA DI AURUMGEN.MY.ID/CHEMIPEDIA#RM-MUATAN-INTI-EFEKTIF

Bahasa sederhana • Bayangkan inti atom sebagai magnet kecil yang menarik butiran besi (elektron). Bila magnetnya makin kuat sementara butirannya tetap di "lantai" yang sama, butiran ditarik makin dekat dan atom menjadi makin kecil. Bila ada lantai baru di luar, atom menjadi lebih besar.



ATURAN • TREN JARI-JARI ATOM

- **Dalam satu golongan, dari atas ke bawah, jari-jari membesar.** Setiap periode menambah satu kulit elektron, sedangkan Z_{ef} elektron terluar hampir tetap.
- **Dalam satu periode, dari kiri ke kanan, jari-jari mengecil.** Proton bertambah satu demi satu, tetapi elektron baru masuk ke kulit yang sama sehingga perisainya hampir tidak bertambah. Z_{ef} naik dan elektron ditarik lebih dekat.



1,30

batang = Z_{ef} (aturan Slater) · lingkaran = jari-jari kovalen

Langkah 1. Litium: 3 proton. Dua elektron di kulit pertama menjadi perisai, sehingga elektron valensinya hanya merasakan $Z_{ef} \approx 1,3$ (aturan Slater). Jari-jari kovalennya 128 pm.



1,30

1,95

2,60

batang = Z_{ef} (aturan Slater) · lingkaran = jari-jari kovalen

Langkah 2. Berilium dan boron: setiap langkah menambah 1 proton, tetapi elektron baru masuk ke kulit yang sama ($n = 2$). Elektron sekulit hampir tidak saling melindungi, jadi Z_{ef} naik $\pm 0,65$ setiap langkah.



1,30

1,95

2,60

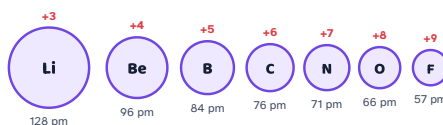
3,25

3,90

4,55

batang = Z_{ef} (aturan Slater) · lingkaran = jari-jari kovalen

Langkah 3. Karbon, nitrogen, oksigen: tarikan makin kuat, awan elektron ditarik makin ke dalam. Atom terus menyusut walaupun elektronnya bertambah!



1,30

1,95

2,60

3,25

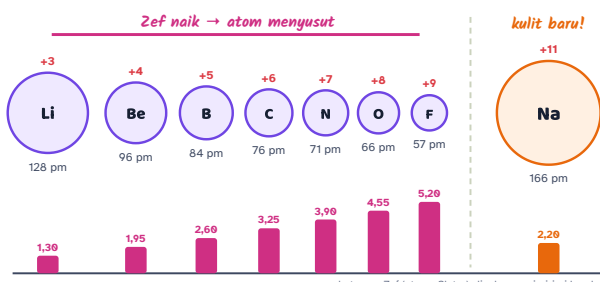
3,90

4,55

5,20

batang = Z_{ef} (aturan Slater) · lingkaran = jari-jari kovalen

Langkah 4. Fluorin: 9 proton, $Z_{ef} \approx 5,2$. Jari-jarinya hanya 57 pm, kurang dari separuh litium. Inilah jawaban Tebak Dulu di awal bab.



1,30

1,95

2,60

3,25

3,90

4,55

5,20

2,20

batang = Z_{ef} (aturan Slater) · lingkaran = jari-jari kovalen

Langkah 5. Natrium ($Z = 11$) memulai kulit baru $n = 3$ yang jauh dari inti dan terperisai 10 elektron. Z_{ef} turun ke $\pm 2,2$ dan atomnya melompat menjadi 166 pm.

Jari-jari kovalen (pm), buku data Cordero dkk. (2008), dibulatkan

Periode	Gol. 1	Gol. 2	Gol. 13	Gol. 14	Gol. 15	Gol. 16	Gol. 17
2	Li 128	Be 96	B 84	C 76	N 71	O 66	F 57
3	Na 166	Mg 141	Al 121	Si 111	P 107	S 105	Cl 102

Ke bawah golongan, pola membesar sangat jelas. Golongan 1: Li 128 $\rightarrow$ Na 166 $\rightarrow$ K 203 $\rightarrow$ Rb 220 $\rightarrow$ Cs 244 pm. Golongan 17: F 57 $\rightarrow$ Cl 102 $\rightarrow$ Br 120 $\rightarrow$ I 139 pm (semuanya jari-jari kovalen). Gas mulia hampir tidak membentuk ikatan kovalen, sehingga jari-jari kovalennya biasanya tidak dicantumkan.

Jari-jari menurut golongan

Warnai menurut

Jari-jari atom (van der Waals) ▼

1 H 1.008																	5 B 10.81	6 C 12.01	7 N 14.01	8 O 16.00	9 F 18.99													
3 Li 6.94	4 Be 9.01																	13 Al 26.98	14 Si 28.09	15 P 30.97	16 S 32.07	17 Cl 35.45												
11 Na 22.99	12 Mg 24.31																	19 K 39.10	20 Ca 40.08	21 Sc 44.96	22 Ti 47.88	23 V 50.94	24 Cr 52.00	25 Mn 54.94	26 Fe 55.85	27 Co 58.93	28 Ni 58.71	29 Cu 63.55	30 Zn 65.38	31 Ga 69.72	32 Ge 72.64	33 As 74.92	34 Se 78.96	35 Br 79.90
37 Rb 85.47	38 Sr 87.62	39 Y 88.91	40 Zr 91.22	41 Nb 92.91	42 Mo 95.94	43 Tc 98.00	44 Ru 101.07	45 Rh 102.91	46 Pd 106.38	47 Ag 107.87	48 Cd 112.41	49 In 114.82	50 Sn 118.71	51 Sb 121.76	52 Te 127.60	53 I 126.91																		
55 Cs 132.91	56 Ba 137.33	71 Lu 174.97	72 Hf 178.49	73 Ta 180.95	74 W 183.84	75 Re 186.21	76 Os 190.23	77 Ir 192.22	78 Pt 195.08	79 Au 196.97	80 Hg 200.59	81 Tl 204.38	82 Pb 207.2	83 Bi 208.98	84 Po 209	85 At 210																		
87 Fr 223	88 Ra 226	103 Lr —	104 Rf —	105 Db —	106 Sg —	107 Bh —	108 Hs —	109 Mt —	110 Ds —	111 Rg —	112 Cn —	113 Nh —	114 Fl —	115 Mc —	116 Lv —	117 Ts —																		
		57 La 138.91	58 Ce 140.12	59 Pr 140.91	60 Nd 144.24	61 Pm 144.91	62 Sm 150.36	63 Eu 151.96	64 Gd 157.25	65 Tb 158.93	66 Dy 162.50	67 Ho 164.93	68 Er 167.26	69 Tm 168.93	70 Yb 173.05																			
		89 Ac 227	90 Th 232	91 Pa 231	92 U 238	93 Np 237	94 Pu 244	95 Am 243	96 Cm 247	97 Bk 247	98 Cf 251	99 Es 252	100 Fm —	101 Md —	102 No —																			

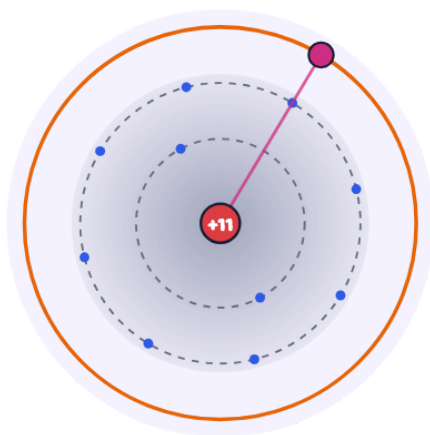
120 pm 348 pm Jari-jari atom (van der Waals)

Unsur golongan 1, 2, 17, dan 18 disorot. Telusuri setiap golongan dari atas ke bawah: ke arah mana warnanya bergeser dari biru ke merah? Lalu ganti ke **Energi ionisasi pertama**: polanya terbalik! (Angka di sini adalah jari-jari van der Waals; baca catatan di bawah.)



AWAS JEBAKAN

Jenis jari-jari yang berbeda memberi angka yang berbeda. Litium berjari-jari kovalen 128 pm, tetapi jari-jari van der Waals-nya 182 pm. Tabel Periodik Hidup memakai jari-jari van der Waals, yang trennya rapi ke bawah golongan tetapi tidak selalu rapi di sepanjang periode (misalnya B 192 pm lebih besar daripada Be 153 pm). Saat membandingkan unsur, pakai satu jenis jari-jari dari satu sumber data, dan sebutkan jenisnya.



Natrium (Na) • elektron per kulit: 2, 8, 1

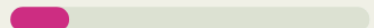
Tarikan inti pada elektron terluar

Proton di inti +11

Perisai elektron dalam - 10

Z efektif 1

Jarak elektron terluar 190 pm

Kuat tarikan $\propto Z_{\text{ef}} / r^2$ 

Satu elektron sendirian di kulit baru, jauh dari inti dan terhalang perisai tebal. Mudah lepas: EI kecil!

perisai: aturan sederhana

Unsur

Natrium (Na)

Perisai S

10

Z efektif

1

Jari-jari terhitung

190 pm

EI pertama

496 kJ/mol

Mulai dari $Z = 3$ (litium), naikkkan Z satu per satu sampai 10. Apa yang terjadi pada Z efektif, tebal tali magenta (kuat tarikan), dan ukuran atom? Lalu lompat ke $Z = 11$. Pilih **Bandinkan** → **unsur di bawahnya** untuk melihat mengapa atom membesar ke bawah golongan, dan **aturan Slater** untuk perisai yang lebih teliti. Ukuran atom memakai jari-jari terhitung dari model orbital (Clementi dkk., 1967); trennya sama dengan jari-jari kovalen.

Gabungan dua faktor (nomor kulit n dan Z_{ef}) bahkan bisa dipakai untuk memperkirakan ukuran atom. Model sederhana ala Bohr memberi jari-jari yang sebanding dengan n^2 dan berbanding terbalik dengan Z_{ef} .

$$r \approx 52,9 \text{ pm} \times \frac{n^2}{Z_{ef}}$$

Kulit yang lebih tinggi membuat atom membengkak, sedangkan muatan inti efektif yang besar menciutkannya.

 n

Kulit terluar (= nomor periode)

 Z_{ef}

Muatan inti efektif (aturan Slater)

 r

Jari-jari perkiraan pm

JARI-JARI PERKIRAAN

163

pm

 $\approx$ litium (jari-jari terhitung 167 pm)

Atom dengan kulit terluar $n = 2$ dan $Z_{ef} = 1,3$ berjari-jari kira-kira **163** pm.

Cek satuan: pm $\times$ (tanpa satuan) = pm ✓

RUMUS HIDUP: GESER NILAINYA DAN KUMPULKAN KARTUNYA DI AURUMGEN.MY.ID/CHEMIPEDIA#RM-JARI-JARI-PERKIRAAN



LANJUT • IB & OLIMPIADE

ATURAN SLATER: MENGHITUNG PERISAI DENGAN LEBIH TELITI

Aturan sederhana menganggap setiap elektron dalam melindungi penuh dan elektron sekulit tidak melindungi sama sekali. John Slater (1930) memberi aturan yang lebih realistis untuk elektron ns atau np :

- setiap elektron lain dalam kelompok (ns, np) yang sama menyumbang **0,35** (untuk 1s: **0,30**);
- setiap elektron di kulit $n - 1$ menyumbang **0,85**;
- setiap elektron di kulit $n - 2$ atau lebih dalam menyumbang **1,00**.

Natrium (2, 8, 1): $S = 8(0,85) + 2(1,00) = 8,80$, jadi $Z_{ef} = 2,20$. Klorin (2, 8, 7): $S = 6(0,35) + 8(0,85) + 2(1,00) = 10,90$, jadi $Z_{ef} = 6,10$. Kalium (2, 8, 8, 1): $S = 8(0,85) + 10(1,00) = 16,8$, jadi $Z_{ef} = 2,20$, sama dengan natrium. Bedanya, elektron valensi kalium berada di kulit keempat yang jauh lebih jauh. Itulah sebabnya kalium lebih besar dan lebih mudah kehilangan elektron.

Bagaimana dengan ion? Ketika atom melepas atau menerima elektron, ukurannya berubah drastis.



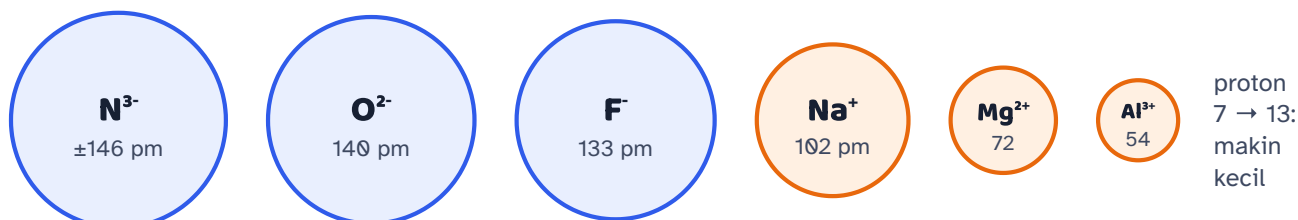
ATURAN • JARI-JARI ION

- **Kation lebih kecil daripada atomnya.** Saat natrium melepas satu elektron menjadi Na^+ , seluruh kulit ketiga hilang. Sisa 10 elektron ditarik oleh 11 proton, sehingga ion menyusut dari 166 pm (kovalen) menjadi 102 pm.
- **Anion lebih besar daripada atomnya.** Saat klorin menerima satu elektron menjadi Cl^- , 18 elektron ditarik oleh 17 proton yang sama dan saling tolak lebih kuat. Awan elektron mengembang dari ± 100 pm menjadi 181 pm.
- **Spesi isoelektronik** (jumlah elektronnya sama) makin kecil bila jumlah protonnya makin banyak.

Atom → ion: kation menyusut, anion mengembang



Deret isoelektronik: semuanya 10 elektron, seperti neon



Jari-jari ion (Shannon, bilangan koordinasi 6; N^{3-} bilangan koordinasi 4) dibandingkan dengan jari-jari kovalen atomnya. Skala gambar sama untuk semua lingkaran.

Natrium (2, 8, 1) dan klorin (2, 8, 7) sama-sama berada di periode 3. Hitung Z_{ef} elektron valensi keduanya dengan aturan sederhana, lalu jelaskan mengapa jari-jari kovalen Na (166 pm) jauh lebih besar daripada Cl (102 pm).

- 1 Keduanya punya 10 elektron di kulit dalam (2 + 8), jadi $S = 10$.
- 2 Na: $Z_{ef} = 11 - 10 = 1$. Cl: $Z_{ef} = 17 - 10 = 7$.
- 3 Elektron valensi keduanya berada di kulit yang sama ($n = 3$), tetapi elektron klorin ditarik dengan muatan bersih tujuh kali lebih besar.

Z_{ef} Na = 1, Cl = 7. Tarikan yang jauh lebih kuat menciutkan awan elektron klorin, sehingga atom Cl lebih kecil. (Aturan Slater memberi 2,20 dan 6,10: angkanya berbeda, tetapi kesimpulannya sama.)

8.4 Energi ionisasi dan afinitas elektron

Saat bereaksi, banyak atom harus melepas elektron. Seberapa sulit melepasnya? Ukurannya adalah energi ionisasi.



DEFINISI • ENERGI IONISASI PERTAMA

Energi ionisasi pertama (EI_1) adalah energi minimum untuk melepas satu elektron terluar dari setiap atom dalam satu mol atom berwujud gas:



Satuannya kJ/mol. Tabel data fisika sering memakai elektronvolt per atom: $1 \text{ eV/atom} = 96,485 \text{ kJ/mol}$.

Bahasa sederhana • Energi ionisasi itu seperti "harga" untuk mencabut satu elektron dari atom. Atom yang memegang elektronnya erat-erat (seperti fluorin dan neon) memasang harga mahal. Atom yang elektron terluarnya longgar (seperti natrium dan kalium) memasang harga murah, sehingga mudah bereaksi.



Tebak Dulu!

Dari nitrogen ($Z = 7$) ke oksigen ($Z = 8$), jumlah proton bertambah satu dan atomnya mengecil. Bagaimana energi ionisasi pertamanya?

Naik, karena muatan inti oksigen lebih besar.

Naik dua kali lipat, karena oksigen sangat elektronegatif.

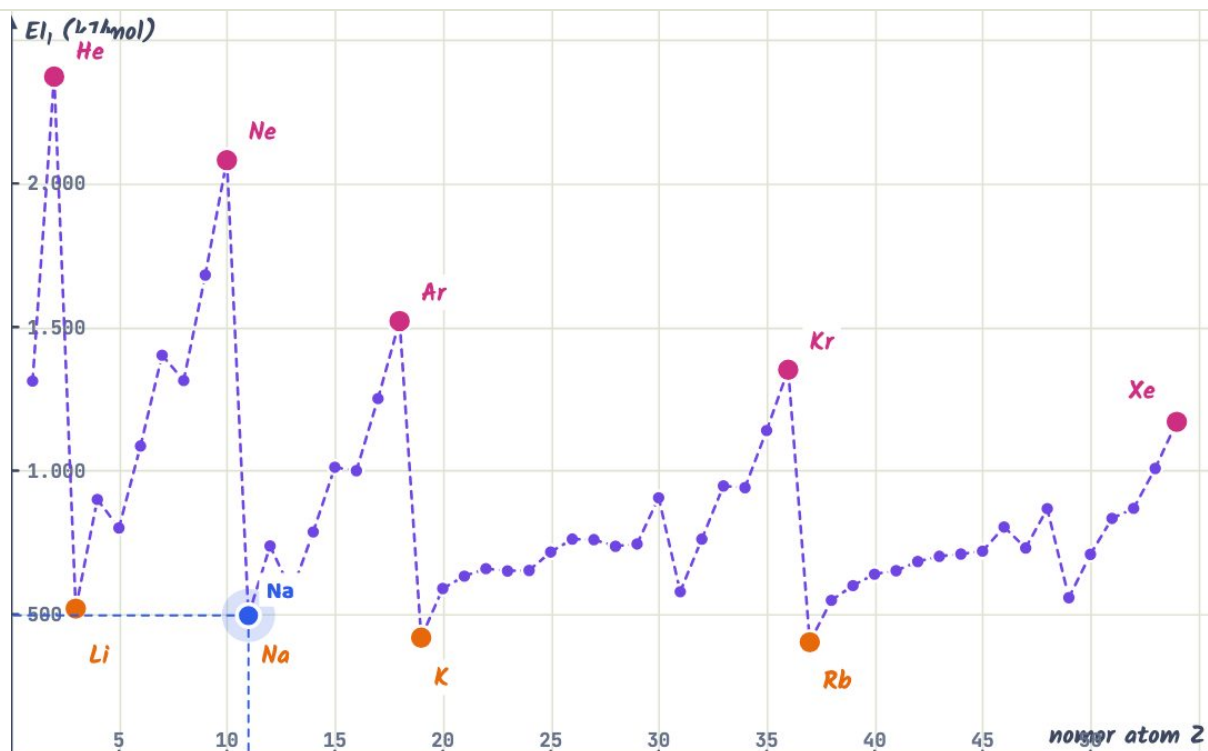
Turun sedikit, dari 1.402 menjadi 1.314 kJ/mol.

Tidak berubah, karena keduanya di periode yang sama.

Jawabannya: turun sedikit. Elektron 2p keempat pada oksigen harus berbagi orbital dengan elektron lain. Dua elektron dalam satu orbital saling tolak, sehingga salah satunya lebih mudah dilepas. Anomali kecil ini (dan pasangannya, $\text{Be} \rightarrow \text{B}$) membuat grafik energi ionisasi berbentuk gigi gergaji. Lihat grafiknya di bawah dan penjelasan lengkapnya di subbab 8.6.



$$Z = 11 (\text{Na}) : \quad \text{EI}_1 = 496 \text{ kJ/mol}$$



● **lembah: logam alkali, satu elektron di kulit baru**

unsur

Na (Z = 11)

EI_1

496 kJ/mol

selisih dengan unsur sebelumnya

-1.585 kJ/mol

Seret titik biru sepanjang nomor atom. Puncak magenta adalah gas mulia, lembah jingga adalah logam alkali. Perhatikan juga "gigi" kecil yang turun dari Be ke B dan dari N ke O; tag di atas grafik menjelaskannya.



ATURAN · TREN ENERGI IONISASI PERTAMA

- Dalam satu periode, dari kiri ke kanan, **EI umumnya naik**, karena Z_{ef} naik dan atom mengecil.
- Dalam satu golongan, dari atas ke bawah, **EI turun**, karena elektron terluar makin jauh dari inti dan makin terperisai.
- Ada dua "gigi" kecil di setiap periode: dari golongan 2 ke 13 dan dari golongan 15 ke 16 (subbab 8.6).

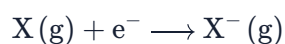
Atom juga bisa kehilangan elektron kedua, ketiga, dan seterusnya. **Energi ionisasi berturutan** selalu naik, dan melonjak tajam begitu elektron mulai diambil dari kulit dalam (ingat Bab 7). Magnesium: 738 → 1.451 → **7.733** kJ/mol. Lonjakan setelah elektron kedua menunjukkan bahwa magnesium punya 2 elektron valensi, sehingga membentuk ion Mg^{2+} , bukan Mg^{3+} .

Kebalikan melepas elektron adalah menerima elektron.



DEFINISI • AFINITAS ELEKTRON

Afinitas elektron pertama adalah perubahan energi ketika satu mol atom berwujud gas masing-masing menerima satu elektron:



Untuk kebanyakan nonlogam, energi dilepaskan sehingga ΔH bernilai negatif. Makin negatif nilainya, makin "senang" atom itu menerima elektron.

Unsur	F	Cl	Br	I	O	S
Afinitas elektron pertama (kJ/mol)	-328	-349	-325	-295	-141	-200

Afinitas elektron umumnya makin negatif ke kanan dan makin kurang negatif ke bawah. Tetapi juaranya klorin, bukan fluorin! Atom fluorin sangat kecil, sehingga elektron yang datang berdesakan dengan tujuh elektron lain di kulit kedua yang sempit dan mengalami tolakan besar. Hal yang sama membuat afinitas elektron oksigen kurang negatif daripada belerang.



AWAS JEBAKAN

Afinitas elektron klorin boleh ditulis -349 kJ/mol atau $+3,6$ eV; keduanya benar, hanya berbeda konvensi tanda. Buku SMA, IB, dan Cambridge menuliskannya sebagai perubahan entalpi (negatif bila energi dilepaskan), sedangkan banyak tabel data fisika, termasuk mode Afinitas elektron di Tabel Periodik Hidup, menuliskan energi yang dilepaskan sebagai angka positif. Selalu baca definisinya dulu. Gas mulia, Be, Mg, dan N tidak membentuk anion yang stabil, sehingga afinitas elektronnya positif atau hampir nol.

Energi ionisasi pertama (kJ/mol) unsur periode 3 berturut-turut: Na 496, Mg 738, Al 578, Si 787, P 1.012, S 1.000, Cl 1.251, Ar 1.521. Tentukan dua pasangan yang melawan tren umum, lalu jelaskan masing-masing dengan konfigurasi elektron.

- 1 Tren umum: EI naik dari Na ke Ar karena Z_{ef} naik. Pasangan yang turun: **Mg → Al** (738 → 578) dan **P → S** (1.012 → 1.000).
- 2 Mg $[\text{Ne}] 3s^2$, Al $[\text{Ne}] 3s^2 3p^1$: elektron yang dilepas dari Al berada di subkulit 3p yang energinya lebih tinggi dan sebagian terperisai oleh pasangan 3s.
- 3 P $[\text{Ne}] 3s^2 3p^3$ (tiga elektron 3p tidak berpasangan), S $[\text{Ne}] 3s^2 3p^4$: satu orbital 3p pada S berisi dua elektron yang saling tolak, sehingga salah satunya lebih mudah lepas.

Anomalia **Mg → Al** (elektron 3p lebih mudah dilepas daripada 3s) dan **P → S** (tolakan pasangan elektron di 3p). Pola yang sama persis muncul di periode 2: **Be → B** dan **N → O**.

8.5 Keelektronegatifan, sifat logam, dan reaktivitas golongan

Energi ionisasi dan afinitas elektron diukur pada atom tunggal yang melayang di fase gas. Di dunia nyata, atom biasanya berikatan dan "berebut" elektron dengan atom lain. Untuk itu dipakai besaran ketiga.



DEFINISI • KEELEKTRONEGATIFAN

Keelektronegatifan adalah kemampuan sebuah atom dalam ikatan kimia untuk menarik pasangan elektron ikatan ke arah dirinya. Skala yang paling umum dibuat Linus Pauling (1932) dan tidak bersatuan: fluorin paling elektronegatif (3,98), disusul oksigen (3,44) dan klorin (3,16); sesium (0,79) termasuk yang paling rendah.

87 Fr 0,7	88 Ra 0,9	103 Lr 1,3	104 Rf –	105 Db –	106 Sg –	107 Bh –	108 Hs –	109 Mt –	110 Ds –	111 Rg –	112 Cn –	113 Nh –	114 Fl –	115 Mc –	116 Lv –	117 Ts –
57 La 1,1	58 Ce 1,12	59 Pr 1,13	60 Nd 1,14	61 Pm –	62 Sm 1,17	63 Eu –	64 Gd 1,2	65 Tb –	66 Dy 1,22	67 Ho 1,23	68 Er 1,24	69 Tm 1,25	70 Yb –			
89 Ac 1,1	90 Th 1,3	91 Pa 1,5	92 U 1,38	93 Np 1,36	94 Pu 1,28	95 Am 1,3	96 Cm 1,3	97 Bk 1,3	98 Cf 1,3	99 Es 1,3	100 Fm 1,3	101 Md 1,3	102 No 1,3			

0,7  3,98 Keelektronegatifan (Pauling)

Mulai dari **Keelektronegatifan**: di mana warna paling merah? Mengapa kotak He, Ne, dan Ar abu-abu? Ganti ke **Energi ionisasi pertama** dan **Afinitas elektron**, lalu bandingkan dengan peta tren di atas. Titik leleh tidak mengikuti satu arah sederhana: carilah unsur blok p dengan titik leleh tertinggi.



AWAS JEBAKAN

Keelektronegatifan tidak sama dengan afinitas elektron. Afinitas elektron diukur pada atom tunggal berwujud gas dan bersatuan energi. Keelektronegatifan menggambarkan tarikan atom terhadap elektron yang sedang dipakai bersama dalam ikatan dan tidak bersatuan.



LANJUT • IB & OLIMPIADE

SKALA MULLIKEN: KEELEKTRONEGATIFAN DARI DUA BESARAN YANG TERUKUR

Robert Mulliken (1934) mengusulkan keelektronegatifan sebagai rata-rata energi ionisasi dan afinitas elektron (energi yang dilepaskan): $\chi_M \propto \frac{1}{2}(EI_1 + |AE|)$. Masuk akal: atom yang sulit melepas elektron *dan* senang menerima elektron pasti kuat menarik elektron ikatan. Untuk klorin, $\frac{1}{2}(1.251 + 349) = 800$ kJ/mol; untuk natrium, $\frac{1}{2}(496 + 53) \approx 275$ kJ/mol. Setelah disesuaikan satuannya, skala Mulliken sejalan dengan skala Pauling.

Sifat logam adalah kecenderungan atom melepas elektron membentuk ion positif. Makin kecil EI_1 , makin kuat sifat logamnya. Jadi sifat logam bertambah ke bawah dan ke kiri. Di periode 3: Na, Mg, dan Al logam; Si metaloid; P, S, dan Cl nonlogam. Di golongan 14: C nonlogam, Si dan Ge metaloid, Sn dan Pb logam.

Logam alkali bereaksi dengan air membentuk basa kuat dan gas hidrogen:



Logam	Pengamatan saat dimasukkan ke air	EI_1 (kJ/mol)
Litium	mengapung, bergelembung pelan dan tenang	520

Natrium	meleleh menjadi bola perak, meluncur di permukaan air sambil mendesis	496
Kalium	langsung menyala ungu muda (lila) dan meluncur cepat	419
Rubidium, sesium	meledak hebat begitu menyentuh air	403; 376

Ke bawah golongan 1, elektron valensi makin jauh dari inti dan makin terperisai, sehingga makin mudah lepas (EI turun). Bereaksi dengan air pada dasarnya berarti "membuang" elektron itu, jadi **reaktivitas logam alkali naik dari atas ke bawah**.



KESELAMATAN

Logam alkali hanya boleh didemonstrasikan oleh guru, dalam potongan sebesar butir beras, di balik layar pelindung. Natrium dan kalium disimpan di dalam minyak parafin karena bereaksi dengan uap air dan oksigen udara. Jangan pernah mencobanya di rumah: gas hidrogen yang terbentuk mudah menyala dan larutan basanya korosif.



Mudah menyala



Korosif



Tebak Dulu!

Logam alkali makin reaktif dari atas ke bawah. Bagaimana dengan halogen (F, Cl, Br, I)?

Sama: makin ke bawah makin reaktif, karena satu golongan pasti punya pola yang sama.

Kebalikannya: makin ke bawah makin kurang reaktif.

Semua halogen sama reaktifnya karena sama-sama punya 7 elektron valensi.

Tidak ada pola sama sekali.

Jawabannya: makin ke bawah makin kurang reaktif. Halogen bereaksi dengan *menerima* elektron, bukan melepaskannya. Atom yang kecil (F) menarik elektron tambahan paling kuat karena elektron itu bisa mendekat ke inti. Makin ke bawah, atom membesar dan tarikannya melemah. Arah tren reaktivitas bergantung pada cara unsur bereaksi!

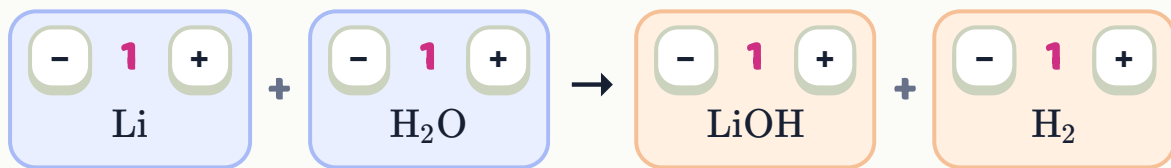
Halogen	Wujud dan warna (25 °C)	Keelektronegatifan	Reaktivitas
Fluorin, F ₂	gas kuning pucat	3,98	paling reaktif
Klorin, Cl ₂	gas kuning-hijau	3,16	makin lemah ↓
Brom, Br ₂	cairan merah-cokelat	2,96	
Iodin, I ₂	padatan hitam keabu-abuan, uapnya ungu	2,66	paling lemah

Buktinya adalah **reaksi pendesakan**: halogen yang lebih reaktif mengusir halogen yang kurang reaktif dari larutan garamnya (semua zat berikut dalam larutan air).

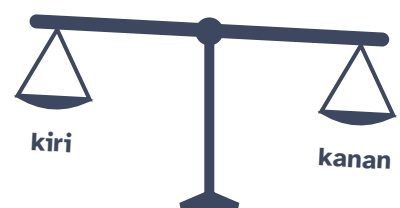
- $\text{Cl}_2 + 2 \text{KBr} \rightarrow 2 \text{KCl} + \text{Br}_2$: larutan tak berwarna menjadi jingga.
- $\text{Cl}_2 + 2 \text{KI} \rightarrow 2 \text{KCl} + \text{I}_2$: larutan menjadi cokelat.
- $\text{Br}_2 + 2 \text{KI} \rightarrow 2 \text{KBr} + \text{I}_2$: larutan menjadi cokelat.
- Sebaliknya, iodin tidak dapat mendesak ion bromida atau klorida.

PENYETARA REAKSI

Setarakan reaksi keluarga golongan 1, 2, dan 17



Unsur	Kiri	Kanan	
Li	1 ●	1 ●	✓
H	2 ○○	3 ○○○	✗
O	1 ●	1 ●	✓



Ubah koefisien sampai jumlah setiap atom di kiri = di kanan. Ingat: yang boleh diubah hanya koefisien, bukan indeks!

 **Petunjuk**

 **Ulang**

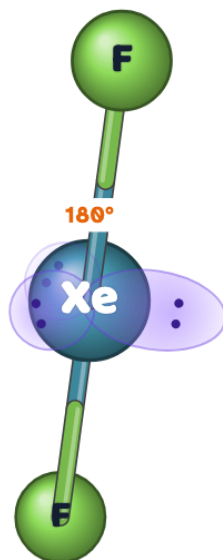
Persamaan berikutnya ▶

Persamaan 1 dari 6 null

Persamaan pertama dan kedua mirip sekali, karena Li dan K segolongan. Setelah menyetarakan persamaan ketiga, coba tebak rumus hasil reaksi kalium dengan brom tanpa menghitung.

Bagaimana dengan gas mulia di golongan 18? Kulit terluarnya penuh, EI-nya tertinggi di setiap periode, dan atomnya hampir tidak berminat menerima elektron. Karena itu gas mulia lama dianggap tidak bisa bereaksi sama sekali. Tetapi pada 1962, **Neil Bartlett** berhasil membuat senyawa xenon pertama, disusul XeF_2 , XeF_4 , dan XeF_6 . Atom xenon cukup besar sehingga EI-nya relatif rendah (1.170 kJ/mol), dan fluorin yang sangat elektronegatif mampu menarik elektronnya untuk berikatan.

MOLEKUL 3D Gas mulia yang mau bereaksi: senyawa xenon



Seret untuk memutar · ketuk atom untuk mengukur

Xenon difluorida XeF_2

Mr $\approx 169,29$

AX2E3 · linear

Tiga pasangan elektron bebas di ekuator, dua F di sumbu → linear. Bukti gas mulia bisa bereaksi!

Putar molekulnya. Xenon dikelilingi atom fluorin dan masih menyimpan pasangan elektron bebas (tiga pada XeF_2 , dua pada XeF_4). Ketuk tiga atom untuk mengukur sudut F-Xe-F. Bentuk molekul seperti ini dibahas di Bab 12.

MITOS

"Atom dengan lebih banyak elektron selalu lebih besar."

FAKTA

Fluorin (9 elektron) jauh lebih kecil daripada litium (3 elektron). Sepanjang periode, proton bertambah dan elektron masuk ke kulit yang sama, sehingga tarikan inti makin kuat dan atom menyusut.

MITOS

"Unsur segolongan sifatnya persis sama."

FAKTA

Mirip, bukan sama. Litium bereaksi tenang dengan air, sedangkan sesium meledak. Dalam satu golongan, sifat berubah bertahap mengikuti jari-jari dan energi ionisasi.

MITOS

"Gas mulia sama sekali tidak bisa bereaksi."

FAKTA

Sejak 1962 kimiawan membuat senyawa xenon, misalnya XeF_2 dan XeF_4 , juga beberapa senyawa kripton. Helium dan neon memang praktis tidak membentuk senyawa yang stabil.

MITOS

"Tabel periodik sudah selesai."

FAKTA

Periode 7 lengkap sejak 2016 (118 unsur), tetapi laboratorium di beberapa negara masih berburu unsur 119 dan 120 untuk membuka periode 8.

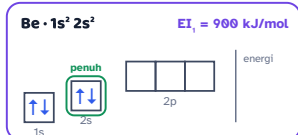
Data golongan 1: Li (titik leleh 181 °C; EI_1 520 kJ/mol), Na (98 °C; 496), K (63 °C; 419), Rb (39 °C; 403). Ramalkan untuk sesium (Cs), unsur di bawah rubidium: (a) titik lelehnya, (b) EI_1 -nya, (c) rumus kloridanya, (d) reaksinya dengan air.

- 1 (a) Titik leleh turun setiap periode, makin lama makin sedikit (−83, −35, −24 °C). Tebakan wajar untuk Cs: sekitar 25–30 °C.
- 2 (b) EI_1 turun karena atom makin besar: sedikit di bawah 403, misalnya ± 380 kJ/mol.
- 3 (c) Golongan 1 membentuk ion M^+ , jadi kloridanya CsCl.
- 4 (d) Elektron valensinya paling mudah lepas, jadi reaksinya dengan air paling hebat (eksplosif):
$$2\text{Cs} + 2\text{H}_2\text{O} \longrightarrow 2\text{CsOH} + \text{H}_2.$$

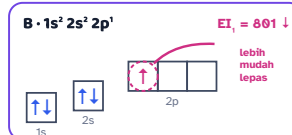
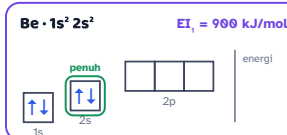
Data sebenarnya: Cs meleleh pada 28,4 °C (bisa mencair di siang hari yang terik!), EI_1 376 kJ/mol, membentuk CsCl, dan meledak di air. Ramalan dari pola golongan ternyata sangat dekat.

8.6 Lanjut: anomali, hubungan diagonal, dan kontraksi lantanida

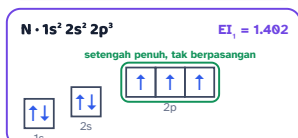
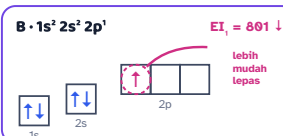
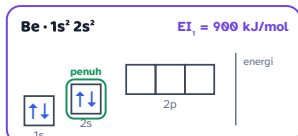
Pola periodik tidak berupa garis mulus. "Penyimpangan" kecil justru menjadi bukti terkuat bahwa subkulit dan orbital (Bab 7) memang ada. Mari kita bongkar dua gigi kecil pada grafik energi ionisasi.



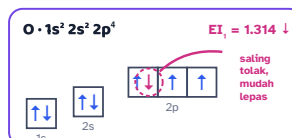
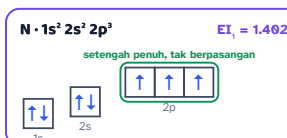
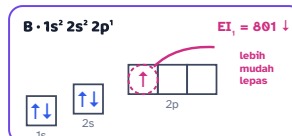
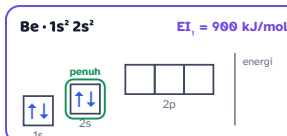
Langkah 1. Berilium: $1s^2 2s^2$. Elektron yang dilepas berasal dari subkulit 2s yang sudah penuh dan cukup dekat ke inti. $EI_1 = 900 \text{ kJ/mol}$.



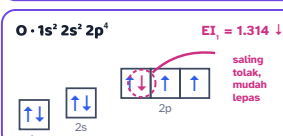
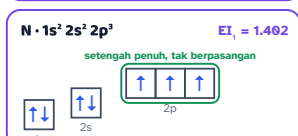
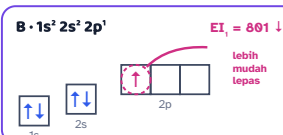
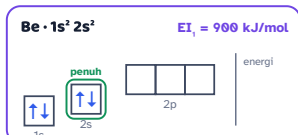
Langkah 2. Boron: elektron kelima masuk ke 2p, yang energinya lebih tinggi dan sebagian terpesai oleh pasangan 2s. Elektron itu lebih mudah dilepas: EI_1 turun menjadi 801 kJ/mol walaupun protonnya bertambah.



Langkah 3. Nitrogen: tiga elektron 2p menempati tiga orbital, sendiri-sendiri (aturan Hund). Tidak ada tolakan pasangan di subkulit 2p: $EI_1 = 1.402 \text{ kJ/mol}$.



Langkah 4. Oksigen: elektron 2p keempat harus berbagi orbital. Dua elektron dalam satu orbital saling tolak, sehingga salah satunya lebih mudah lepas: EI_1 turun menjadi 1.314 kJ/mol.



Periode 3 berulang: Mg 738 > Al 578 dan P 1.012 > S 1.000 kJ/mol

Langkah 5. Kedua "gigi" itu muncul lagi di periode 3 (Mg → Al dan P → S). Bukti bahwa subkulit dan orbital benar-benar ada!



LANJUT · IB & OLIMPIADE

HUBUNGAN DIAGONAL: LITUM LEBIH MIRIP MAGNESIUM

Beberapa unsur periode 2 lebih mirip tetangga diagonalnya di periode 3 daripada saudara segolongannya sendiri. Litium, misalnya, mirip magnesium: keduanya bereaksi langsung dengan nitrogen udara ($6\text{Li} + \text{N}_2 \rightarrow 2\text{Li}_3\text{N}$; $3\text{Mg} + \text{N}_2 \rightarrow \text{Mg}_3\text{N}_2$), karbonatnya terurai bila dipanaskan ($\text{Li}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{Li}_2\text{O} + \text{CO}_2$), dan fluoridanya sukar larut. Pasangan serupa: **berilium–aluminium** (oksida dan hidrosidanya amfoter) serta **boron–silikon** (metalloid yang oksidanya bersifat asam).

Penyebabnya: bergeser ke kanan membuat atom dan ion mengecil, sedangkan turun satu periode membuatnya membesar. Bergerak diagonal, kedua efek hampir saling meniadakan. Ion Li^+ (76 pm) dan Mg^{2+} (72 pm) berukuran hampir sama, sama-sama kecil, dan kuat menarik awan elektron anion di dekatnya. Keelektronegatifan Be–Al (1,57 dan 1,61) serta B–Si (2,04 dan 1,90) pun hampir sama.



LANJUT · IB & OLIMPIADE

KONTRAKSI LANTANIDA: MENGAPA HAFNIUM "KEMBARAN" ZIRKONIUM

Dari zirkonium (periode 5) ke hafnium (periode 6), kita berharap atom membesar karena bertambah satu kulit. Kenyataannya ukuran keduanya hampir sama: jari-jari ion Zr^{4+} 72 pm dan Hf^{4+} 71 pm. Penyebabnya, di antara La dan Hf terselip 14 unsur lantanida yang mengisi subkulit 4f. Elektron f memberi perisai yang buruk, sehingga Z_{ef} naik banyak dan menyusutkan atom-atom sesudahnya. Gejala ini disebut **kontraksi lantanida**.

Akibatnya, Zr dan Hf selalu ditemukan bersama dan sangat sulit dipisahkan. Hafnium baru ditemukan pada 1923, tersembunyi di dalam bijih zirkonium. Kontraksi lantanida (ditambah efek relativistik pada elektron yang bergerak sangat cepat di dekat inti yang besar) juga membuat atom emas hampir sama besar dengan perak, warnanya kuning, dan raksa berwujud cair pada suhu kamar.

Kimia di sekitarmu



Nikel untuk baterai

Nikel dari Sulawesi dan Maluku Utara (golongan 10) diolah menjadi bahan katoda baterai kendaraan listrik, bersama kobalt dan mangan, tetangganya di blok d.



Timah Bangka

Timah (golongan 14, sekeluarga dengan karbon dan silikon) dipakai sebagai solder pada papan elektronik HP dan pelapis kaleng makanan.



Garam beryodium

Iodin (halogen, golongan 17) ditambahkan ke garam konsumsi dalam bentuk kalium iodat untuk mencegah gondok.



Klorin di air PDAM

Klorin yang sangat elektronegatif mudah merebut elektron (mengoksidasi) bagian penting sel kuman. Karena itu PDAM memakai klorin atau kaporit sebagai disinfektan.



Lampu reklame

Gas mulia neon menyala merah-jingga saat dialiri listrik. Argon mengisi bohlam pijar agar filamen wolfram tidak terbakar.



Panel surya

Silikon, metaloid yang dimurnikan dari pasir kuarsa, menjadi semikonduktor di panel surya PLTS dan cip HP.

Cek Cepat

Unsur dengan konfigurasi elektron 2, 8, 2 terletak di ...

periode 3, golongan 2

periode 2, golongan 8

periode 2, golongan 2

periode 3, golongan 8

Manakah atom yang paling kecil?

Na

Mg

Cl

K

Atom manakah yang paling mudah melepas elektron (energi ionisasi pertamanya paling kecil)?

F

He

Li

Cs

Kunci Cek Cepat: 1. A · 2. C · 3. D



Tantangan Rumah: tabel periodik keluarga dapur

Bahan: sendok baja tahan karat, kertas aluminium foil, panci atau wajan aluminium, paku besi, koin, potongan kabel tembaga bekas (tidak tersambung listrik), arang, isi pensil (grafit), kotak korek api (jangan dinyalakan), garam, gula, kertas besar, dan spidol.

1. Kumpulkan benda-benda di atas dan tuliskan unsur utama penyusunnya, misalnya aluminium foil → Al, kabel → Cu, arang dan isi pensil → C. Kepala korek api mengandung belerang (S), sedangkan bidang gesek kotaknya mengandung fosforus merah (P).
2. Amati kilapnya, lalu ketuk perlahan dengan sendok: logam berdenting, arang terdengar "tuk" dan mudah patah.
3. Coba tekuk aluminium foil dan isi pensil: mana yang lentur dan mana yang rapuh?
4. Gambar kerangka tabel periodik di kertas besar. Tempelkan atau tulis setiap benda di kotak unturnya, beri warna berbeda untuk logam dan nonlogam.
5. Garam dan gula jangan ditempel di satu kotak: keduanya senyawa, bukan unsur. Tulis unsur penyusunnya (garam: Na dan Cl; gula: C, H, O) dan beri panah ke kotak masing-masing.

Keselamatan: lakukan bersama orang dewasa. Jangan menyalakan korek api, jangan memakai kabel yang masih tersambung ke listrik, dan jangan membongkar baterai. Hati-hati dengan ujung paku dan kabel yang tajam. Jangan mencicipi apa pun, dan cuci tangan setelah memegang arang, koin, dan isi pensil.

Pertanyaan: Di bagian tabel mana sebagian besar benda dapurmu berkumpul? Mengapa peralatan masak hampir selalu dibuat dari unsur di sebelah kiri garis tangga?



RINGKASAN KILAT

Bab 8 dalam 3 menit

✓ Kamu sekarang bisa...

- menceritakan perjalanan tabel periodik dari **triade Döbereiner**, **oktaf Newlands**, dan **ramalan Mendeleev** sampai **hukum periodik modern Moseley**

- menentukan **periode, golongan, dan blok** suatu unsur dari konfigurasi elektronnya, serta mengelompokkan logam, nonlogam, dan metaloid
- menjelaskan tren **jari-jari atom dan ion** memakai **muatan inti efektif** dan **efek perisai**
- membandingkan **energi ionisasi, afinitas elektron, dan keelektronegatifan**, termasuk anomali Be-B dan N-O
- meramalkan sifat dan **reaktivitas** unsur (terutama golongan 1 dan 17) dari letaknya di tabel periodik

Istilah kunci

triade

hukum oktaf

nomor atom

Periode

Golongan

blok s

blok p

blok d

blok f

logam

nonlogam

metaloid

Jari-jari kovalen

efek perisai

Muatan inti efektif

Energi ionisasi pertama

Rumus penting

$$f = 2,47 \times 10^{15} \text{ Hz} \times (Z - 1)^2$$

Hukum Moseley: sidik jari sinar-X. Frekuensi sinar-X garis K α setiap unsur naik teratur sebanding dengan kuadrat ($Z - 1$), sehingga nomor atom bisa dibaca dari 'cahaya' unsur itu.

$$Z_{ef} = Z - S$$

Muatan inti efektif (aturan sederhana). Tarikan bersih yang dirasakan elektron terluar sama dengan jumlah proton dikurangi perisai dari elektron di sebelah dalamnya.

$$r \approx 52,9 \text{ pm} \times \frac{n^2}{Z_{ef}}$$

Perkiraan jari-jari atom (model ala Bohr). Kulit yang lebih tinggi membuat atom membengkak, sedangkan muatan inti efektif yang besar menciutkannya.

Jangan sampai terjebak

- Mendeleev menyusun unsur menurut massa atom, bukan nomor atom.
- Golongan 13 bukan golongan 3!
- Jenis jari-jari yang berbeda memberi angka yang berbeda.

 **Tangga Latihan:** 24 soal bab ini (Lv 1 Pemula sampai Lv 6 Olimpiade) ada di PDF Bank Soal dan di aurumgen.my.id/chemipedia#soal?bab=8

Teka-teki untuk Bab 9

Indonesia memiliki salah satu cadangan nikel terbesar di dunia, dan nikel kini diburu untuk baterai kendaraan listrik. Natrium jauh lebih murah dan mudah melepas elektron. Mengapa nikel, bukan logam natrium, yang dipakai di dalam baterai?

▼ Intip petunjuk

Ingat tabel reaksi logam alkali dengan air: logam natrium terlalu reaktif untuk dipakai begitu saja, dan hanya punya satu bilangan oksidasi (+1). Nikel adalah logam transisi blok d yang bisa berpindah-pindah bilangan oksidasi (+2, +3, +4) dengan aman di dalam katoda. Menariknya, kini juga dikembangkan baterai ion natrium, tetapi di sana natrium hadir sebagai ion, bukan logam. Bab 9 mengajakmu berkeliling ke tambang-tambang unsur Nusantara.

09

Kimia Unsur di Nusantara: Tabel Periodik di Bawah Kaki Kita

Api biru menari di Kawah Ijen, pasir hitam Bangka berubah menjadi timah mengilap, dan tanah merah Sulawesi menyimpan nikel untuk baterai mobil listrik. Mengapa natrium mendesis di air, klorin mengusir iodin, dan aluminium harus "disetrum" agar lepas dari batuan?

Setelah bab ini, kamu bisa

- menjelaskan sifat dan **kecenderungan reaktivitas** logam alkali, alkali tanah, halogen, dan gas mulia, lalu menulis persamaan reaksinya;
- meramalkan **reaksi pendesakan** halogen dan logam memakai deret keaktifan (deret volta);
- menjelaskan perubahan sifat unsur dan **oksida periode 3** dari basa, amfoter, sampai asam;
- mengenali ciri **logam transisi** (ion berwarna, bilangan oksidasi beragam, katalis) dan dasar **senyawa kompleks**;
- menjelaskan **pengolahan logam** (besi, aluminium, nikel, timah) dan menghitung kadar serta massa logam dari bijih Nusantara.

DARMAWISATA KE TABEL PERIODIK

KOMIK • 4 PANEL

Pukul 02.30, tepi Kawah Ijen, Banyuwangi

BIMA

Wah, apinya biru! Jangan-jangan ada kompor gas raksasa di dalam kawah?

WUSSS!

KAK TIRTA

Bukan kompor, Bim. Itu uap belerang yang terbakar: $S + O_2 \rightarrow SO_2$. Nyalanya memang biru. Pasang maskermu, gas SO_2 bikin sesak!

±80 kg

Dua hari kemudian, Museum Timah di Pangkalpinang

LARAS

Pasir hitam ini kasiterit, SnO_2 . Supaya jadi timah batangan, oksigennya harus "direbut" karbon di dalam tanur!

MUSEUM TIMAH

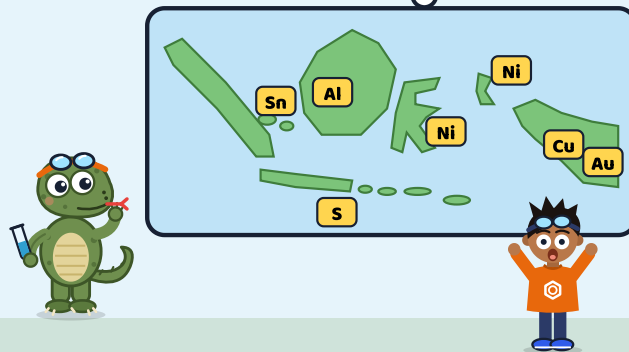


KIMO

Belerang di Jawa, timah di Bangka, bauksit di Kalimantan, nikel di Sulawesi, tembaga di Papua... Indonesia ini tabel periodik raksasa!

BIMA

Berarti liburan kita = praktikum kimia!



Tebak Dulu!

Sepotong natrium sebesar kacang hijau dijatuhkan ke dalam baskom berisi air. Apa yang terjadi?

Natrium tenggelam ke dasar, lalu larut perlahan seperti garam.

Natrium tenggelam, lalu meledak di dasar baskom.

Natrium mengapung, meleleh menjadi bola perak, dan berlari-lari sambil mendesis.

Tidak terjadi apa-apa, karena logam tidak bereaksi dengan air.

Jawabannya: mengapung, meleleh, dan berlari-lari. Massa jenis natrium hanya $0,97 \text{ g/cm}^3$, lebih kecil daripada air, jadi ia mengapung. Reaksinya dengan air melepaskan panas yang cukup untuk melelehkan natrium (titik leleh 98°C) menjadi bola perak. Gas hidrogen yang menyembur dari bawahnya mendorong bola itu ke sana kemari. Logam ternyata tidak selalu keras dan berat!

9.1 Logam alkali dan alkali tanah: logam yang bisa diiris pisau

Kalau mendengar kata "logam", kamu mungkin membayangkan paku, panci, atau pagar besi: keras, berat, dan tenggelam di air. Golongan 1 tabel periodik mematahkan semua bayangan itu. **Li**, **Na**, dan **K** cukup lunak untuk diiris pisau dapur, mengapung di air, dan bereaksi dengannya sampai mendesis, bahkan menyala.

Bahasa sederhana • Bayangkan atom yang "tidak betah" menyimpan barang. Atom natrium punya satu elektron di kulit terluarnya, dan ia ingin sekali memberikannya kepada siapa saja. Begitu bertemu air, elektron itu langsung diserahkan. Hasilnya gas hidrogen yang berbuih dan air yang berubah menjadi basa, licin seperti air sabun. Karena terlalu "royal", logam ini disimpan di dalam minyak supaya tidak bertemu udara dan air.



DEFINISI • LOGAM ALKALI

Logam alkali adalah unsur golongan 1 selain hidrogen: litium, natrium, kalium, rubidium (**Rb**), sesium (**Cs**), dan francium. Setiap atomnya punya **satu elektron valensi** (ns^1) yang mudah dilepas sehingga membentuk ion M^+ . Nama "alkali" berasal dari bahasa Arab *al-qaly*, yaitu abu tumbuhan yang larutannya bersifat basa.

Logam	Ar	Titik leleh (°C)	Massa jenis (g/cm ³)	Energi ionisasi pertama (kJ/mol)	Dengan air
Litium	6,9	181	0,53	520	mengapung, mendesis tenang, tidak meleleh
Natrium	23,0	98	0,97	496	meleleh jadi bola perak, berlari-lari, mendesis keras
Kalium	39,1	63	0,86	419	meleleh, menyala ungu muda (lila), meletup kecil
Rubidium	85,5	39	1,53	403	tenggelam, bereaksi hebat
Sesium	132,9	28	1,93	376	tenggelam, meledak seketika

Perhatikan polanya dari atas ke bawah: titik leleh **turun** (sesium meleleh di telapak tangan pada hari panas), energi ionisasi **turun**, dan reaksi dengan air makin **hebat**. Semua logam alkali bereaksi dengan air menurut pola yang sama:



- **Makroskopik:** logam berbuih dan mendesis, makin mengecil, dan air yang ditetesi fenolftalein berubah merah muda.
- **Submikroskopik:** setiap atom Na menyerahkan satu elektron kepada molekul air. Terbentuk ion Na^+ , ion OH^- , dan molekul H_2 .
- **Simbolik:**



Larutan NaOH bersifat basa kuat, itulah sebabnya fenolftalein menjadi merah muda.



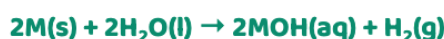
TRIK KAK TIRTA • ELEKTRON LAYANGAN

Elektron terluar itu seperti layangan. Makin panjang benangnya (makin jauh dari inti) dan makin banyak "penghalang" di antaranya (kulit elektron dalam yang melindungi), makin mudah layangan putus ditiup angin. Atom kalium punya empat kulit, natrium tiga, litium dua. Jadi elektron kalium paling mudah "putus", dan kalium paling reaktif di antara ketiganya.

LAB MINI

Lomba logam alkali: siapa paling ganas di air?

LAB MINI INTERAKTIF • COBA SENDIRI DI AURUMGEN.MY.ID/CHEMIPEDIA#BAB-9



litium

leleh 181 °C · p 0,53 g/cm³



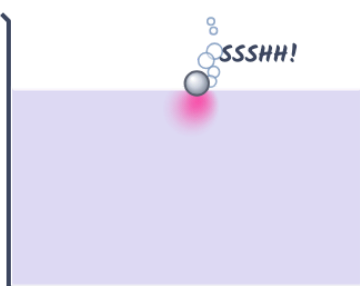
natrium

leleh 98 °C · p 0,97 g/cm³



kalium

leleh 63 °C · p 0,86 g/cm³



t = 0,9 s

pH ≈ 11 · H₂ 2,4 mL

t = 0,9 s

pH ≈ 11,1 · H₂ 2,8 mL

t = 0,9 s

pH ≈ 11,2 · H₂ 3,7 mL

H₂ dari Li

2,4 mL

H₂ dari Na

2,8 mL

H₂ dari K

3,7 mL

Keadaan

Bereaksi: perhatikan gelembung, gerak, dan warna air

Tebak dulu urutan habisnya, lalu tekan ►. Amati: logam mana yang tetap padat? Mana yang menyala? Ubah massanya menjadi 200 mg. Baca juga volume H₂: dengan massa yang sama, mengapa litium yang paling lambat justru menghasilkan gas **paling banyak**? (Petunjuk: hitung molnya!)



KESELAMATAN

Logam alkali hanya boleh diperagakan oleh guru, tidak pernah dicoba sendiri di rumah. Guru memakai potongan sebesar butir beras, baskom kaca lebar berisi banyak air, pelindung bening di antara baskom dan penonton, serta kacamata pelindung. Natrium yang menyentuh kulit lembap bereaksi dengan keringat dan menimbulkan luka bakar basa. Logam alkali disimpan di dalam minyak parafin, dan kebakarannya dipadamkan dengan pasir kering, **bukan** air.



Melepas gas mudah menyala bila kena air



Korosif (membentuk basa kuat)



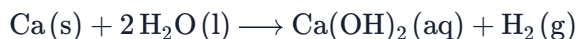
TAMU DARI MASA LALU

Pada Oktober 1807, **Humphry Davy** dari Inggris mengalirkan listrik dari baterai raksasa ke lelehan kalium hidroksida. Di katode muncul butiran logam mengilap yang langsung terbakar dengan nyala ungu. Menurut catatan sepupunya, Davy sampai menari kegirangan di laboratoriumnya. Beberapa hari kemudian ia mengulangnya dengan natrium hidroksida dan mendapatkan natrium. Logam alkali terlalu reaktif untuk dibebaskan dengan cara lain pada zamannya.

Golongan 2: sepupu yang lebih kalem

Logam alkali tanah, yaitu **Be**, **Mg**, **Ca**, **Sr**, **Ba**, dan Ra, punya **dua elektron valensi** (ns^2) dan membentuk ion M^{2+} . Melepas dua elektron butuh energi lebih besar, jadi mereka lebih keras, titik lelehnya lebih tinggi, dan reaksinya lebih kalem daripada tetangganya di golongan 1. Kecenderungannya sama: makin ke bawah, makin reaktif.

- Magnesium hampir tidak bereaksi dengan air dingin, tetapi bereaksi dengan uap air panas sambil berpijar putih: $Mg(s) + H_2O(g) \longrightarrow MgO(s) + H_2(g)$.
- Kalsium bereaksi tenang dengan air dingin; larutannya keruh karena kalsium hidroksida sukar larut:



- Magnesium terbakar dengan cahaya putih yang menyilaukan: $2Mg(s) + O_2(g) \longrightarrow 2MgO(s)$. Itulah bahan "bintang putih" kembang api.

TABEL PERIODIK HIDUP

Tren golongan 1 dan 2: titik leleh, massa jenis, energi ionisasi

Warnai menurut

Titik leleh



**LITIAM: PALING "INGIN" BEREAKSI, TETAPI PALING LAMBAT**

Potensial reduksi standar litium ($E^\circ = -3,04 \text{ V}$) paling negatif di golongan 1, lebih negatif daripada kalium ($-2,93 \text{ V}$). Secara **termodinamika**, litium paling kuat mendorong reaksi dengan air. Penyebabnya, ion Li^+ sangat kecil sehingga dikelilingi molekul air dengan sangat erat dan melepaskan energi hidrasi yang besar.

Namun secara **kinetika**, litium paling lambat. Titik lelehnya tinggi (181°C) sehingga ia tidak meleleh menjadi bola yang selalu memperbarui permukaannya, dan energi untuk mengatomkan serta mengionkannya lebih besar. Pelajaran pentingnya: "seberapa besar dorongan reaksi" (ΔG° , Bab 20) berbeda dengan "seberapa cepat reaksi berjalan" (laju, Bab 21).

9.2 Halogen: keluarga pembentuk garam yang rakus elektron

Di sisi kanan tabel periodik, golongan 17 berisi **F**, **Cl**, **Br**, **I**, dan astatin yang radioaktif. Namanya, **halogen**, berarti "pembentuk garam" (bahasa Yunani *hals* = garam). Setiap atomnya punya tujuh elektron valensi dan hanya butuh satu elektron lagi untuk menyerupai gas mulia. Karena itu halogen menjadi ion X^- saat bertemu logam, dan di alam bebas atomnya berpasangan sebagai molekul dwiatom X_2 .

Bahasa sederhana • Halogen adalah kebalikan logam alkali. Kalau natrium suka memberi elektron, klorin suka menerima. Itulah sebabnya natrium dan klorin cepat sekali "berjodoh" menjadi garam dapur. Semakin ke bawah golongan, warna halogen makin gelap: klorin kuning kehijauan, bromin cokelat kemerahan, dan iodin ungu kehitaman.

Halogen	Wujud (25 °C)	Warna	Titik didih (°C)	Panjang ikatan X-X (pm)	$E^\circ \text{X}_2/\text{X}^-$ (V)
Fluorin, F_2	gas	kuning pucat	-188	142	+2,87
Klorin, Cl_2	gas	kuning kehijauan	-34	199	+1,36
Bromin, Br_2	cair	merah-cokelat (uap jingga)	59	228	+1,07
Iodin, I_2	padat	hitam keunguan, uap ungu	184	267	+0,54

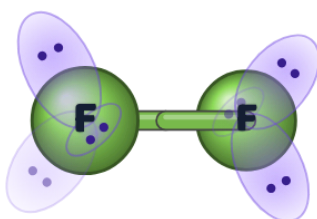
Dari atas ke bawah, molekul halogen makin besar sehingga gaya London di antara molekulnya makin kuat (Bab 13): titik didih naik dan wujudnya berubah dari gas, cair, sampai padat. Sebaliknya, **daya oksidasinya turun**. Atom yang besar menarik elektron tambahan dengan lemah, karena elektron itu masuk ke kulit yang jauh dari inti dan terlindung banyak elektron dalam.



AWAS JEBAKAN

Arah tren reaktivitas golongan 1 dan golongan 17 berlawanan. Logam alkali makin reaktif ke bawah karena **melepas** elektron makin mudah bila elektronnya jauh dari inti. Halogen makin **kurang** reaktif ke bawah karena **menangkap** elektron makin sulit bila inti jauh. Jadi kalium lebih reaktif daripada natrium, tetapi fluorin lebih reaktif daripada klorin.

MOLEKUL 3D Ukur sendiri panjang ikatan halogen



Seret untuk memutar · ketuk atom untuk mengukur

Fluorin F₂ Mr ≈ 38

Gas kuning pucat, oksidator paling kuat. Ikatan F-F pendek tetapi justru lemah karena pasangan elektron bebasnya saling tolak.

Ketuk kedua atom untuk mengukur panjang ikatannya. Bandingkan F₂, Cl₂, Br₂, dan I₂: bagaimana ukuran atom berubah? Nyalakan pasangan elektron bebas: setiap atom halogen punya tiga pasang. Ganti ke model isi ruang untuk melihat molekul iodin yang "gemuk".

Reaksi pendesakan halogen

Karena daya oksidasinya berbeda, halogen yang lebih kuat dapat **merebut elektron** dari ion halida yang lebih lemah. Tuang air klorin ke larutan kalium bromida yang bening, maka larutan berubah jingga karena bromin terbentuk:





ATURAN • PENDESAKAN HALOGEN

Halogen yang letaknya **lebih atas** di golongan 17 dapat mendesak (mengoksidasi) ion halida yang letaknya **lebih bawah**, tetapi tidak sebaliknya. Urutan daya oksidasi: $F_2 > Cl_2 > Br_2 > I_2$.

Ditambahkan ke →	KCl (bening)	KBr (bening)	KI (bening)
air klorin	—	jingga: Br_2 terbentuk ✓	cokelat: I_2 terbentuk ✓
air bromin	tetap jingga pucat ✗	—	cokelat: I_2 terbentuk ✓
larutan iodin	tetap cokelat ✗	tetap cokelat ✗	—

Untuk memastikan iodin yang terbentuk, teteskan larutan kanji (amilum): warnanya menjadi biru tua. Kimiawan juga sering mengocok campuran dengan pelarut nonpolar seperti heksana. Bromin larut di lapisan atas dengan warna jingga, sedangkan iodin berwarna ungu.



TRIK KAK TIRTA • KAKAK BOLEH MENGUSIR ADIK

Bayangkan halogen sebagai kakak-beradik yang berbaris dari atas: F si sulung, lalu Cl, Br, dan I si bungsu. "Kakak boleh mengusir adik dari kamarnya, adik tidak bisa mengusir kakak." Klorin mengusir bromida dan iodida, bromin hanya bisa mengusir iodida, dan iodin tidak bisa mengusir siapa pun.



KIMIA NUSANTARA • KLOLIN DI PDAM DAN GARAM BERYODIUM

Air PDAM diberi sedikit klorin (gas Cl_2 atau kaporit, $Ca(OCl)_2$). Di dalam air terbentuk asam hipoklorit yang membunuh kuman: $Cl_2 + H_2O \rightleftharpoons HCl + HOCl$. Sisa klorin yang sampai ke keran umumnya dijaga sangat kecil, sekitar 0,2–0,5 mg/L. Bau tajam di kolam renang sebenarnya terutama berasal dari **kloramin**, hasil reaksi klorin dengan senyawa nitrogen dari keringat dan urin.

Kekurangan iodin menyebabkan gondok dan gangguan pertumbuhan otak anak. Karena itu garam konsumsi di Indonesia wajib diberi iodium, biasanya dalam bentuk **kalium iodat** (KIO_3), dengan kadar minimal sekitar 30 mg per kg garam. Kalium iodat dipilih karena lebih stabil daripada kalium iodida di udara tropis yang panas dan lembap.



TAMU DARI MASA LALU

Pada 1811, **Bernard Courtois** di Prancis membuat sendawa untuk mesiu dari abu rumput laut. Saat ia menuang asam sulfat ke sisa abunya, membubunglah uap ungu yang mengembun menjadi kristal hitam mengilap. Unsur baru itu dinamai iodin, dari bahasa Yunani *iodēs* yang berarti ungu. Indonesia kini termasuk penghasil rumput laut terbesar di dunia, bahan yang dulu melahirkan iodin.

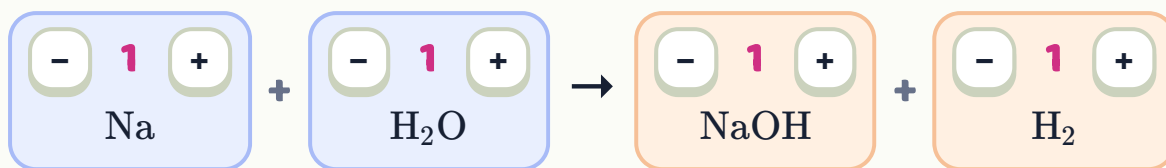
Fluorin, si sulung yang paling ganas, justru melindungi gigimu. Pasta gigi berfluorida mengubah sebagian hidroksiapatit email gigi menjadi fluorapatit yang lebih tahan asam. Untuk membedakan ion halida di

laboratorium, tambahkan larutan perak nitrat yang diasamkan: AgCl mengendap putih, AgBr krem, dan AgI kuning (lebih lengkap di Bab 39).

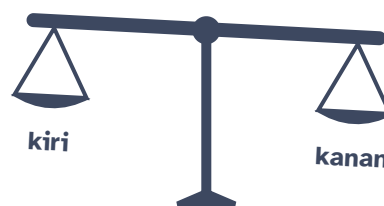


PENYETARA REAKSI

Setarakan reaksi logam aktif dan halogen



Unsur	Kiri	Kanan	
Na	1 ●	1 ●	✓
H	2 ○○	3 ○○○	✗
O	1 ●	1 ●	✓



Ubah koefisien sampai jumlah setiap atom di kiri = di kanan. Ingat: yang boleh diubah hanya koefisien, bukan indeks!



Petunjuk



Ulang

Persamaan berikutnya ▶

Persamaan 1 dari 9 null

Mulailah dari atom yang muncul di paling sedikit zat. Pada reaksi natrium dengan air, setarakan H paling akhir. Pada $\text{Br}_2 + \text{I}^-$, periksa juga muatannya di kedua ruas!

9.3 Gas mulia: bangsawan yang (hampir) tak mau bergaul

Golongan 18 berisi **He**, **Ne**, **Ar**, **Kr**, **Xe**, dan **Rn**. Kulit terluarnya sudah penuh (helium $1s^2$, yang lain ns^2np^6), energi ionisasinya sangat tinggi, dan mereka hampir tidak tertarik menerima elektron. Karena itu gas mulia ada sebagai **atom tunggal** yang tidak berwarna, tidak berbau, dan sangat sulit bereaksi. Gaya tarik antaratomnya sangat lemah, jadi titik didihnya amat rendah. Helium baru mencair pada -269°C , hanya 4 derajat di atas nol mutlak.

Bahasa sederhana • Gas mulia seperti bangsawan yang sudah punya segalanya. Kulit elektronnya penuh, jadi ia tidak perlu meminjam atau memberi elektron kepada atom lain. Justru karena "malas" bereaksi, gas mulia berguna: ia melindungi benda panas dari oksigen, mengisi balon dengan aman, dan menyala berwarna-warni di dalam lampu.

Gas
mulia

Kegunaan

Sifat yang dimanfaatkan

Helium	balon dan kapal udara, pendingin magnet mesin MRI, campuran gas selam dalam	sangat ringan, tidak terbakar, titik didih terendah
Neon	lampu papan iklan merah-jingga	memancarkan cahaya merah-jingga saat dilalui listrik
Argon	gas pelindung las (las argon), pengisi bola lampu pijar, jendela kaca ganda	tidak bereaksi dengan logam panas; murah (0,93% udara)
Krypton	lampu kilat foto, lampu landasan pacu	cahaya putih yang sangat terang
Xenon	lampu sorot kendaraan, pendorong ion satelit, obat bius	atom berat yang mudah diionkan
Radon	(tidak dimanfaatkan; justru diwaspadai)	radioaktif, hasil peluruhan uranium di batuan



TAMU DARI MASA LALU

Lord Rayleigh heran: nitrogen yang ia ambil dari udara selalu sedikit lebih berat ($\pm 1,257$ g/L) daripada nitrogen dari amonia ($\pm 1,251$ g/L). Bersama **William Ramsay**, pada 1894 ia menemukan penyebabnya: udara mengandung $\pm 1\%$ gas yang "tidak mau berbuat apa-apa". Mereka menamainya argon, dari bahasa Yunani *argos* yang berarti malas. Ramsay kemudian memisahkan neon, krypton, dan xenon dari udara cair, lalu meraih Nobel Kimia 1904.

MITOS

"Gas mulia sama sekali tidak bisa bereaksi."

MITOS

"Lampu neon di rumah berisi gas neon."

FAKTA

Sejak 1962 kimiawan membuat



,



, dan



. Atom xenon yang besar melepas elektron jauh lebih mudah daripada helium. Helium dan neon memang belum pernah membentuk senyawa netral yang stabil.

FAKTA

Lampu tabung putih berisi argon dan sedikit uap raksa. Sinar ultraungunya diubah lapisan fosfor di dinding tabung menjadi cahaya putih. Gas neon asli menyala merah-jingga, seperti di papan iklan.



LANJUT • IB & OLIMPIADE

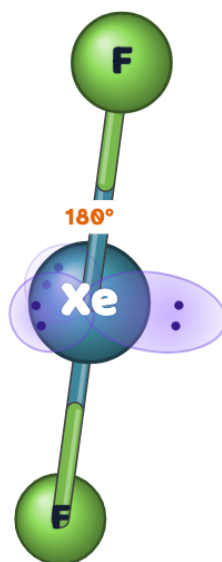
BAGAIMANA XENON "DIPAKSA" BEREAKSI

Pada 1962, **Neil Bartlett** menemukan bahwa platina heksafluorida, PtF_6 , cukup kuat untuk merebut elektron dari molekul oksigen: $\text{O}_2 + \text{PtF}_6 \rightarrow [\text{O}_2]^+[\text{PtF}_6]^-$. Ia lalu membandingkan energi ionisasi: O_2 1.165 kJ/mol, sedangkan xenon 1.170 kJ/mol, hampir sama! Bartlett mencampur xenon dengan PtF_6 dan memperoleh padatan jingga-kuning, senyawa gas mulia pertama.

Tak lama kemudian, xenon dan fluorin yang dipanaskan menghasilkan XeF_2 , XeF_4 , dan XeF_6 . Bentuk molekulnya diramalkan dengan tepat oleh teori VSEPR (Bab 12): XeF_2 linear karena tiga pasangan elektron bebasnya berada di bidang ekuator, dan XeF_4 segi empat datar.

MOLEKUL 3D

Senyawa gas mulia: xenon pun bisa berikatan



Seret untuk memutar • ketuk atom untuk mengukur

Xenon difluorida XeF_2

Mr $\approx$ 169,29

AX2E3 • linear

Tiga pasangan elektron bebas di ekuator, dua F di sumbu $\rightarrow$ linear. Bukti gas mulia bisa bereaksi!

Nyalakan pasangan elektron bebas pada atom Xe. Hitung jumlah domain elektronnya: XeF_2 punya 5, XeF_4 punya 6, XeO_3 punya 4. Ukur sudut F–Xe–F dengan mengetuk tiga atom.

9.4 Menyusuri periode 3: dari natrium ke argon

Sekarang kita berjalan mendatar sepanjang periode 3: Na, Mg, **Al**, **Si**, **P**, **S**, Cl, Ar. Dalam delapan langkah saja, sifat unsurnya berubah total, dari logam lunak yang mengilap sampai gas yang tidak mau bereaksi. Perubahan paling mencolok terlihat pada **oksida**-nya.

Bahasa sederhana • Dari kiri ke kanan periode 3, unsurnya berubah dari logam menjadi nonlogam. Oksida logam di kiri, kalau dicampur air, menghasilkan larutan basa yang licin. Oksida nonlogam di kanan menghasilkan

larutan asam yang masam. Aluminium di tengah bersikap "dua muka": bisa bereaksi dengan asam maupun basa.

Unsur	Struktur	Titik leleh (°C)	Oksida tertinggi	Ikatan oksida	Sifat oksida	pH bila dicampur air
Na	kisi logam	98	Na ₂ O	ion	basa kuat	±14
Mg	kisi logam	650	MgO	ion	basa	±10
Al	kisi logam	660	Al ₂ O ₃	ion (sebagian kovalen)	amfoter	7 (tidak larut)
Si	kovalen raksasa	1.414	SiO ₂	kovalen raksasa	asam lemah	7 (tidak larut)
P	molekul P ₄	44	P ₄ O ₁₀	kovalen	asam	±2
S	molekul S ₈	115	SO ₃ (juga SO ₂)	kovalen	asam kuat	±1
Cl	molekul Cl ₂	-101	Cl ₂ O ₇	kovalen	asam sangat kuat	±0,5
Ar	atom tunggal	-189	—	—	—	—

Titik leleh naik dari Na sampai Si (makin banyak elektron yang dipakai bersama, sampai jaringan kovalen raksasa silikon), lalu anjlok pada fosfor, belerang, dan klorin yang berupa molekul kecil. Reaksi oksida dengan air:

- $\text{Na}_2\text{O}(\text{s}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \longrightarrow 2\text{NaOH}(\text{aq})$ dan $\text{MgO}(\text{s}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \longrightarrow \text{Mg}(\text{OH})_2(\text{s})$ (sedikit larut): larutan basa.
- $\text{P}_4\text{O}_{10}(\text{s}) + 6\text{H}_2\text{O}(\text{l}) \longrightarrow 4\text{H}_3\text{PO}_4(\text{aq})$, $\text{SO}_3(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \longrightarrow \text{H}_2\text{SO}_4(\text{aq})$, dan $\text{Cl}_2\text{O}_7(\text{l}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \longrightarrow 2\text{HClO}_4(\text{aq})$: larutan asam.
- SiO₂ tidak larut dalam air, tetapi bereaksi dengan basa kuat panas:



Jadi ia oksida asam.



ATURAN • SIFAT OKSIDA SEPANJANG PERIODE

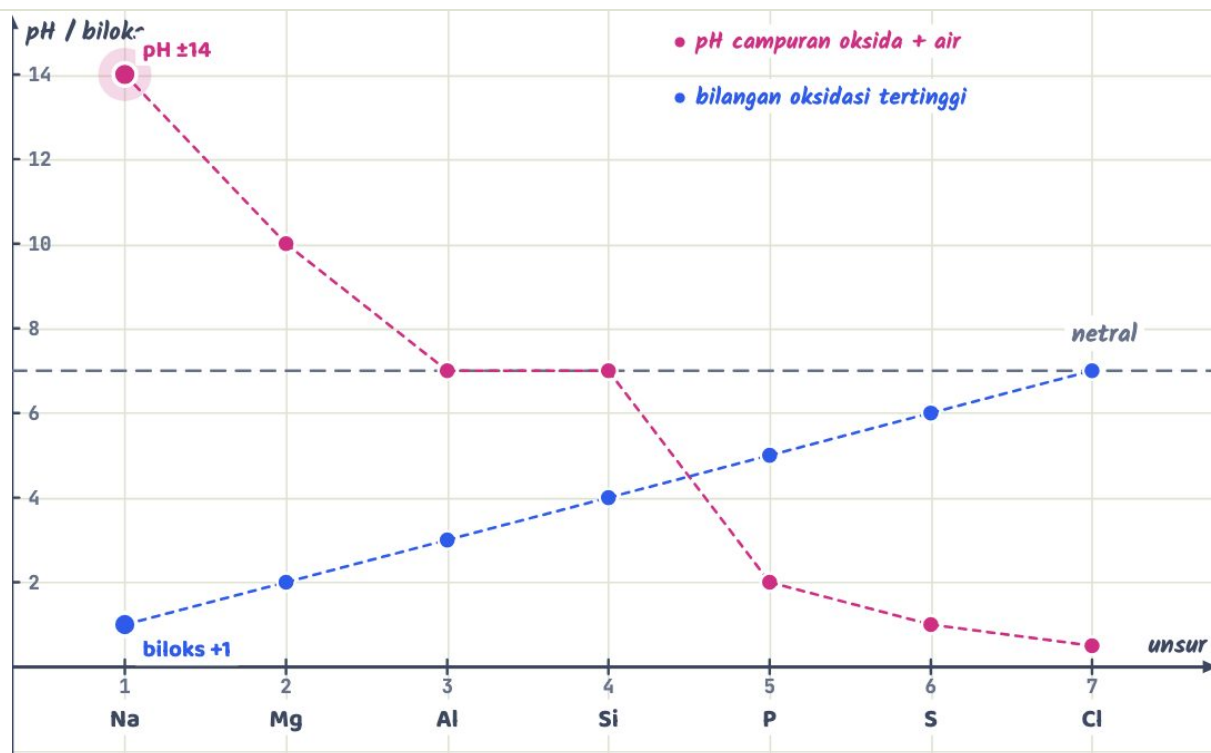
Dari kiri ke kanan periode 3, oksida berubah dari **oksida basa** (ionik, Na dan Mg), ke **oksida amfoter** (Al_2O_3), lalu **oksida asam** (kovalen, Si sampai Cl). **Oksida amfoter** bereaksi dengan asam dan dengan basa:



GRAFIK HIDUP

Oksida periode 3: biloks naik, pH turun

GRAFIK HIDUP INTERAKTIF • COBA SENDIRI DI AURUMGEN.MY.ID/CHEMIPEDIA#BAB-9



Na_2O : ionik $\rightarrow$ NaOH, basa kuat

pH ($\pm$)
14

biloks tertinggi
1

Seret titik merah muda dari Na ke Cl. Biloks tertinggi naik tepat satu langkah setiap unsur (sama dengan jumlah elektron valensinya), sementara pH turun dari basa ke asam. Di unsur mana garis pH memotong garis netral?



KIMIA NUSANTARA · API BIRU IJEN DAN HUJAN ASAM

Gas vulkanik panas di Kawah Ijen membawa uap belerang. Saat menyentuh udara, belerang itu terbakar dengan nyala biru yang hanya tampak di malam hari: $\text{S (g)} + \text{O}_2 \text{ (g)} \longrightarrow \text{SO}_2 \text{ (g)}$. Sebagian uap mengembun menjadi cairan merah yang membeku menjadi bongkahan kuning. Para penambang memikul 70–90 kg belerang sekali jalan, menembus asap SO_2 yang menyesakkan. Danau kawahnya termasuk danau paling asam di dunia, dengan pH mendekati 0.

Belerang dioksida dari gunung api dan pembakaran batu bara dapat teroksidasi di udara menjadi SO_3 , lalu larut dalam air hujan: $2 \text{SO}_2 + \text{O}_2 \longrightarrow 2 \text{SO}_3$, $\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{H}_2\text{SO}_4$. Inilah **hujan asam** yang merusak daun, patung batu kapur, dan logam.



LANJUT · IB & OLIMPIADE

MENGAPA OKSIDA BERUBAH DARI BASA KE ASAM?

Kuncinya adalah selisih keelektronegatifan dengan oksigen (3,44). Natrium (0,93) dan magnesium (1,31) berselisih besar, jadi oksidanya ionik dan berisi ion O^{2-} . Ion oksida adalah basa yang sangat kuat: $\text{O}^{2-} + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow 2 \text{OH}^-$. Ke arah kanan, selisihnya mengecil sehingga ikatan menjadi kovalen. Unsur nonlogam yang biloksnya tinggi menarik elektron dari ikatan O–H, sehingga molekul air yang terikat mudah melepas H^+ , dan terbentuklah asam okso.

Klorida periode 3 menunjukkan pola serupa. NaCl larut dengan pH 7. AlCl_3 membentuk ion $[\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$ yang asam (pH ±3). Silikon tetraklorida bereaksi hebat dengan air dan berasap: $\text{SiCl}_4 + 2 \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{SiO}_2 + 4 \text{HCl}$. Fosforus pentaklorida juga terhidrolisis: $\text{PCl}_5 + 4 \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{H}_3\text{PO}_4 + 5 \text{HCl}$.

9.5 Logam transisi dan deret keaktifan

Di tengah tabel periodik, di antara golongan 2 dan 13, berjajar **logam transisi** (blok d). Mereka adalah "pekerja keras" peradaban: **Fe** untuk jembatan dan rangka gedung, **Cu** untuk kabel listrik, **Ni** untuk baja tahan karat dan baterai, **Zn** untuk atap seng. Umumnya mereka keras, kuat, titik lelehnya tinggi (besi 1538 °C), rapat, dan penghantar listrik yang baik.



CIRI KHAS LOGAM TRANSISI

1. **Bilangan oksidasi beragam.** Besi membentuk Fe^{2+} dan Fe^{3+} ; tembaga Cu^+ dan Cu^{2+} ; mangan dari +2 sampai +7 (dalam MnO_4^-). Energi orbital 4s dan 3d berdekatan, jadi jumlah elektron yang dilepas bisa berbeda-beda.
2. **Ion dan senyawanya berwarna**, karena subkulit d yang terisi sebagian dapat menyerap cahaya tampak (lihat 9.7).
3. **Katalis yang andal**, karena dapat berganti bilangan oksidasi dan menyediakan permukaan tempat molekul menempel.
4. **Membentuk ion kompleks** dengan molekul atau ion yang punya pasangan elektron bebas (9.7).

Ion dalam air	Konfigurasi d	Warna	Di sekitar kita
Cu^{2+}	$3d^9$	biru	terusi (tembaga(II) sulfat) untuk kolam dan pertanian
Fe^{2+}	$3d^6$	hijau pucat	tablet tambah darah (besi(II) sulfat)
Fe^{3+}	$3d^5$	kuning-cokelat	air sumur yang menguning setelah didiamkan
Ni^{2+}	$3d^8$	hijau	larutan untuk melapisi logam dengan nikel
Co^{2+}	$3d^7$	merah muda	butiran silika gel penunjuk lembap (biru $\rightarrow$ merah muda)
MnO_4^-	$3d^0$ (Mn +7)	ungu (dari perpindahan muatan O $\rightarrow$ Mn, bukan lompatan d-d)	kalium permanganat ("PK") untuk antiseptik
Zn^{2+}	$3d^{10}$	tak berwarna	salep seng oksida, bedak bayi



AWAS JEBAKAN

Saat logam transisi menjadi ion, elektron 4s dilepas **lebih dulu**, baru elektron 3d. Besi $[\text{Ar}] 3d^6 4s^2$ menjadi $\text{Fe}^{2+} [\text{Ar}] 3d^6$, bukan $[\text{Ar}] 3d^4 4s^2$. Melepas satu elektron 3d lagi menghasilkan $\text{Fe}^{3+} [\text{Ar}] 3d^5$ yang setengah penuh dan cukup stabil. Itulah sebabnya besi(II) di air sumur mudah teroksidasi menjadi besi(III) yang kuning-cokelat.

Logam transisi juga menggerakkan industri Indonesia sebagai **katalis**: serbuk besi di pabrik pupuk amonia, nikel untuk mengeraskan minyak sawit menjadi mentega putih dan margarin (hidrogenasi), vanadium(V) oksida untuk membuat asam sulfat, serta platina, paladium, dan rodium di dalam knalpot kendaraan untuk mengubah gas CO dan NO yang beracun.

Siapa mendesak siapa? Deret keaktifan logam



Tebak Dulu!

Paku besi yang bersih dicelupkan ke larutan terusi (tembaga(II) sulfat) yang biru. Sepuluh menit kemudian...

Paku tetap mengilap dan larutan tetap biru, karena besi tidak bereaksi dengan garam.

Paku terlapisi zat coklat kemerahan, dan warna biru larutan perlahan memudar.

Paku larut habis dan larutan menjadi merah darah.

Larutan menjadi bening karena tembaganya menguap.

Jawabannya: paku berlapis tembaga, biru memudar. Besi lebih reaktif daripada tembaga. Atom Fe menyerahkan elektronnya kepada ion Cu^{2+} , sehingga tembaga mengendap di permukaan paku dan besi larut sebagai Fe^{2+} yang hijau pucat: $\text{Fe} + \text{Cu}^{2+} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + \text{Cu}$. Inilah **reaksi pendesakan logam**.

Logam dapat diurutkan menurut kemudahannya melepas elektron. Urutan ini disebut **deret keaktifan**. Di buku kimia Indonesia, urutan berdasarkan potensial elektrode standar (E° , Bab 30) disebut **deret volta**:

Li K Ba Ca Na Mg Al Mn (H_2O) Zn Cr Fe Cd Co Ni

E° (V) di bawah setiap logam • H = pembanding

K	Ca	Na	Mg	Al	Zn	Fe	Ni	Sn	Pb	H	Cu	Ag	Au
-2,93	-2,87	-2,71	-2,37	-1,66	-0,76	-0,44	-0,25	-0,14	-0,13	0,00	+0,34	+0,80	+1,50



makin ke kiri: makin mudah melepas elektron, makin reaktif

Logam di sebelah kiri hidrogen dapat mendesak gas hidrogen dari asam encer; logam di sebelah kanan hidrogen tidak bisa.



ATURAN • PENDESAKAN LOGAM

Logam yang letaknya **lebih kiri** di deret keaktifan dapat mendesak ion logam yang letaknya **lebih kanan** dari larutan garamnya. Logam di kiri H dapat mendesak H_2 dari asam encer, misalnya

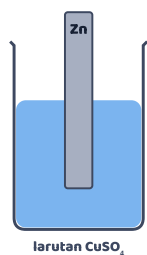


Secara kuantitatif, reaksi berlangsung spontan bila $E_{sel}^{\circ} = E_{ion\ yang\ direduksi}^{\circ} - E_{logam\ yang\ dioksidasi}^{\circ} > 0$.



TRIK KAK TIRTA • JEMBATAN KELEDAI

Urutan K Ca Na Mg Al Zn Fe Ni Sn Pb H Cu Ag Au bisa dihafal dengan kalimat: "**Kakak Cari Nanas Manis, Alamak Zonk! Ferry Nikmati Sate Pedas, Habis Cuci Agar Aman.**" Satu catatan: soal gaya IGCSE sering menaruh Na di atas Ca karena natrium bereaksi lebih hebat dengan air, sedangkan deret volta (berdasarkan E°) menaruh Ca sedikit di atas Na. Keduanya benar untuk ukuran yang berbeda; ikuti urutan yang dipakai soal.

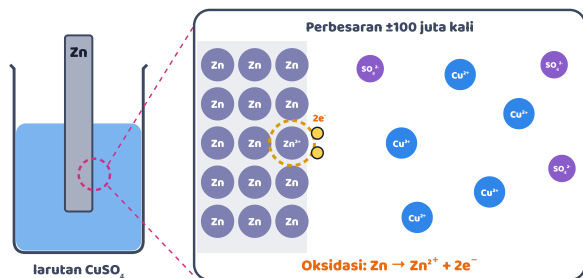


larutan CuSO_4

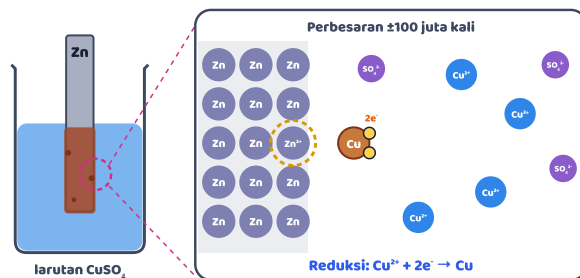
Langkah 1. Sekeping seng (Zn) dicelupkan ke dalam larutan tembaga(II) sulfat yang biru. Apa yang terjadi pada tingkat partikel?



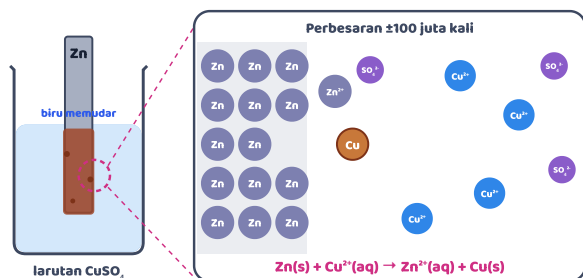
Langkah 2. Perbesar permukaan seng: atom-atom Zn tersusun rapat. Di larutan berenang ion Cu^{2+} (biru) dan ion SO_4^{2-} (ungu).



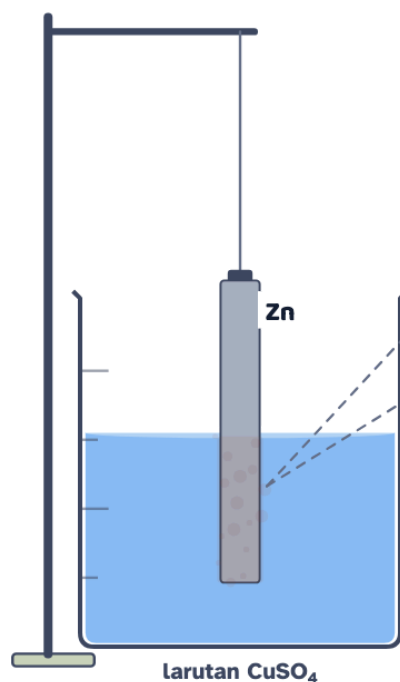
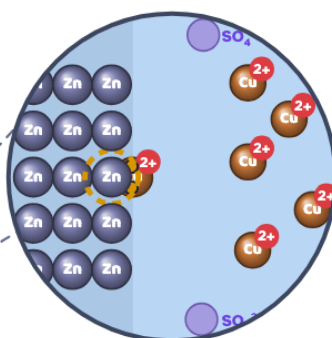
Langkah 3. Seng lebih reaktif, jadi atom Zn di permukaan melepas dua elektron dan menjadi ion: $\text{Zn} \rightarrow \text{Zn}^{2+} + 2\text{e}^-$ (oksidasi).



Langkah 4. Ion Cu^{2+} di dekat permukaan menangkap dua elektron itu dan menjadi atom tembaga yang menempel: $\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cu}$ (reduksi). Lapisan coklat kemerahan mulai tampak.



Langkah 5. Ion Zn^{2+} yang tak berwarna larut ke dalam air, ion Cu^{2+} berkurang sehingga biru memudar, dan SO_4^{2-} tidak berubah (**ion penonton**). Persamaan ionnya: $\text{Zn(s)} + \text{Cu}^{2+}(\text{aq}) \rightarrow \text{Zn}^{2+}(\text{aq}) + \text{Cu(s)}$.

Perbesaran ± 100 juta kali

permukaan logam

larutan



amati permukaan & warna...

Tabel hasilmu

baris: logam • kolom: ion dalam larutan

	Mg ²⁺	Zn ²⁺	Fe ²⁺	Ni ²⁺	Cu ²⁺	Ag ⁺
Mg	—	.	.	.	.	.
Zn	.	—	.	.	.	.
Fe	.	.	—	.	.	.
Ni	.	.	.	—	.	.
Cu	.	.	.	.	—	.
Ag	.	.	.	.	.	—

Jumlah ✓ tiap logam:

Mg ? • Zn ? • Fe ?

Ni ? • Cu ? • Ag ?

✓ terbanyak = paling reaktif

Ketuk sel untuk memilih pasangan.

Terjadi pendesakan?

tebak dulu, lalu uji!

Persamaan ion

...

E°sel

—

Pasangan diuji

0 / 30

Pilih logam dan larutan, **tebak dulu**, lalu seret logam ke larutan (atau tekan ►). Perhatikan endapan, perubahan warna, dan perpindahan elektron di lingkaran perbesaran. Uji sebanyak mungkin dari 30 pasangan; ketuk sel tabel untuk memilih pasangan. Logam dengan ✓ terbanyak adalah yang paling reaktif. Coba juga kawat tembaga di larutan perak nitrat: tumbuhlah "pohon perak"!

Ramalkan apakah reaksi terjadi, lalu tulis persamaan ionnya bila terjadi: (a) seng dalam larutan tembaga(II) sulfat; (b) tembaga dalam larutan seng sulfat; (c) besi dalam larutan perak nitrat. Gunakan E° : Zn $-0,76$ V; Fe $-0,44$ V; Cu $+0,34$ V; Ag $+0,80$ V.

- (a) Zn di kiri Cu, jadi Zn mendesak Cu^{2+} : $\text{Zn} + \text{Cu}^{2+} \longrightarrow \text{Zn}^{2+} + \text{Cu}$, $E_{\text{sel}}^\circ = 0,34 - (-0,76) = +1,10$ V.
- (b) Cu di kanan Zn, jadi tidak terjadi reaksi: $E_{\text{sel}}^\circ = -0,76 - 0,34 = -1,10$ V (negatif).
- (c) Fe di kiri Ag. Setiap Fe melepas 2 elektron, setiap Ag^+ menerima 1, jadi butuh 2 ion perak: $\text{Fe} + 2 \text{Ag}^+ \longrightarrow \text{Fe}^{2+} + 2 \text{Ag}$, $E_{\text{sel}}^\circ = 0,80 - (-0,44) = +1,24$ V.

(a) dan (c) bereaksi, (b) tidak. Perhatikan bahwa E° tidak dikalikan 2 walaupun koefisien Ag^+ dua: potensial adalah sifat "per elektron".

MITOS

"Semua logam keras dan tenggelam di air."

MITOS

"Karat adalah besi yang kotor."

FAKTA

Natrium bisa diiris pisau dan mengapung ($0,97 \text{ g/cm}^3$). Litium ($0,53 \text{ g/cm}^3$) bahkan lebih ringan daripada minyak goreng! Ikatan logam golongan 1 lemah karena setiap atom hanya menyumbang satu elektron ke "lautan elektron".

FAKTA

Karat adalah zat baru, besi(III) oksida terhidrasi:



. Perlu oksigen

dan

air; garam di udara pantai mempercepatnya.

Karat rapuh dan mengelupas, sehingga besi di bawahnya terus termakan.

9.6 Dari batuan menjadi logam: pengolahan logam di Nusantara

Logam jarang ditemukan dalam keadaan murni. Karena reaktif, kebanyakan logam terikat sebagai oksida, sulfida, atau karbonat di dalam batuan. Batuan yang cukup kaya logam sehingga menguntungkan untuk ditambang disebut **bijih**. Hanya logam yang sangat tidak reaktif, seperti **Au**, yang bisa ditemukan dalam keadaan murni; itulah emas yang didulang di sungai.

Warnai menurut

Tambang Nusantara

Cari unsur (nama/lambang/nomor)...

1 H																	5 B	6 C	7 N	8 O	9 F													
3 Li	4 Be																	13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl												
11 Na	12 Mg																	19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I																		
55 Cs	56 Ba	71 Lu	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At																		
87 Fr	88 Ra	103 Lr	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Cn	113 Nh	114 Fl	115 Mc	116 Lv	117 Ts																		
			57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb																		
			89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No																		

ditambang/diolah di Indonesia (ketuk untuk detail)

Unsur berwarna kuning ditambang atau diolah di Indonesia. Ketuk setiap unsur kuning untuk membaca kartunya dan lokasi tambangnya. Ganti pewarnaan ke **tahun ditemukan**: unsur mana yang sudah dikenal sejak zaman kuno? Hubungkan dengan deret keaktifan: mengapa logam yang paling lama dikenal manusia justru yang kurang reaktif?

Cara memisahkan logam dari bijihnya bergantung pada **reaktivitas** logam itu. Makin reaktif logamnya, makin erat ia "memeluk" oksigen, dan makin besar energi yang dibutuhkan untuk melepaskannya.

Logam	Mineral bijih	Daerah di Indonesia	Cara pengolahan
Aluminium	bauksit, $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot x \text{H}_2\text{O}$	Kalimantan Barat, Kepulauan Riau	dimurnikan jadi alumina, lalu elektrolisis lelehan (Hall-Hérault) di Kuala Tanjung
Nikel	laterit (limonit dan saprolit)	Sorowako, Pomalaa, Morowali (Sulawesi); Halmahera dan Pulau Obi (Maluku Utara)	peleburan dengan karbon menjadi feronikel/nikel matte; pelindian asam bertekanan tinggi (HPAL) untuk bahan baterai

Besi	hematit Fe_2O_3 , magnetit Fe_3O_4 (pasir besi)	pantai selatan Jawa dan daerah lain	reduksi dengan karbon monoksida di tanur tinggi
Timah	kasiterit SnO_2	Bangka Belitung, Kepulauan Riau	dipekatkan, lalu direduksi dengan karbon di tanur peleburan
Tembaga, emas	kalkopirit CuFeS_2 , emas murni	Grasberg (Papua), Batu Hijau (Sumbawa)	flotasi menjadi konsentrat, peleburan, lalu pemurnian elektrolisis
Belerang	belerang alam S	Kawah Ijen (Jawa Timur)	dikumpulkan langsung dari uap gunung api yang membeku

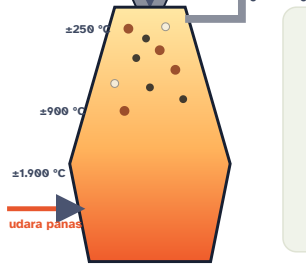


ATURAN • MEMILIH CARA PENGOLAHAN

- Logam **di atas karbon** dalam deret keaktifan (K, Na, Ca, Mg, Al) diperoleh dengan **elektrolisis** senyawa leburnya.
- Logam **di bawah karbon** (Zn, Fe, Ni, Sn, Pb) diperoleh dengan **reduksi** oksidanya memakai karbon atau karbon monoksida.
- Logam yang sangat tidak reaktif (Ag, Au, kadang Cu) ditemukan murni atau mudah dibebaskan, lalu dimurnikan.

Tanur tinggi: dapur raksasa pembuat besi

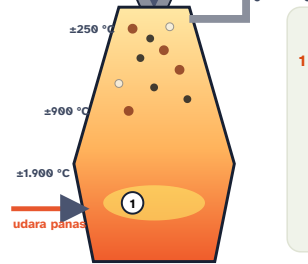
bijih besi (Fe_2O_3) + kokas (C) + batu kapur (CaCO_3)



Reaksi di dalam tanur

Langkah 1. Bijih besi (hematit), kokas (karbon dari batu bara), dan batu kapur dimasukkan dari puncak tanur setinggi gedung belasan lantai. Udara panas ditiupkan dari bawah.

bijih besi (Fe_2O_3) + kokas (C) + batu kapur (CaCO_3)

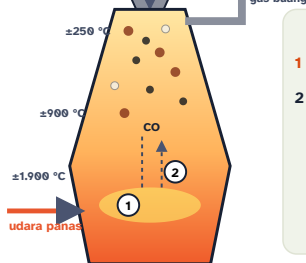


Reaksi di dalam tanur

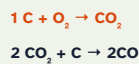


Langkah 2. Kokas terbakar di dekat lubang udara: $\text{C} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2$. Reaksi ini sangat eksoterm sehingga bagian bawah tanur mencapai $\pm 1.900^\circ\text{C}$.

bijih besi (Fe_2O_3) + kokas (C) + batu kapur (CaCO_3)

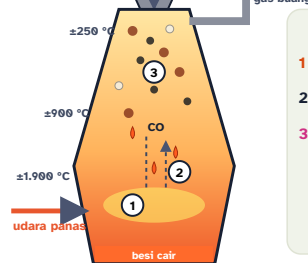


Reaksi di dalam tanur

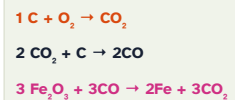


Langkah 3. Karbon dioksida naik dan bereaksi dengan kokas panas: $\text{CO}_2 + \text{C} \rightarrow 2 \text{ CO}$. Gas **karbon monoksida** inilah reduktor utamanya.

bijih besi (Fe_2O_3) + kokas (C) + batu kapur (CaCO_3)

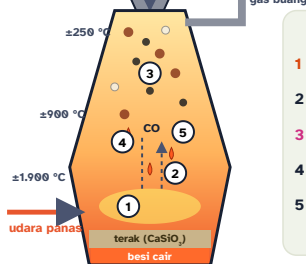


Reaksi di dalam tanur

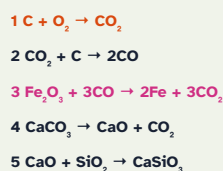


Langkah 4. CO merebut oksigen dari bijih besi: $\text{Fe}_2\text{O}_3 + 3 \text{ CO} \rightarrow 2 \text{ Fe} + 3 \text{ CO}_2$. Besi (biloks +3 $\rightarrow$ 0) **tereduksi**, CO (C: +2 $\rightarrow$ +4) teroksidasi. Besi cair menetes ke dasar tanur.

bijih besi (Fe_2O_3) + kokas (C) + batu kapur (CaCO_3)

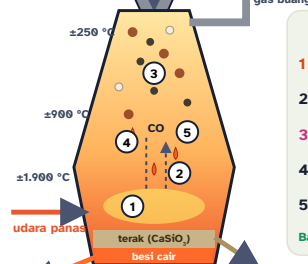


Reaksi di dalam tanur

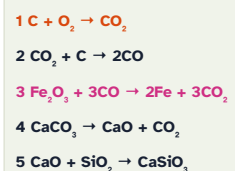


Langkah 5. Batu kapur terurai, $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$, lalu kapur tohor mengikat pasir pengotor: $\text{CaO} + \text{SiO}_2 \rightarrow \text{CaSiO}_3$. Cairan **terak** ini lebih ringan sehingga mengapung di atas besi cair.

bijih besi (Fe_2O_3) + kokas (C) + batu kapur (CaCO_3)



Reaksi di dalam tanur



Langkah 6. Besi cair dan terak dikeluarkan dari lubang yang berbeda. Besi kasar ($\pm 4\%$ karbon) masih rapuh; dengan meniupkan oksigen untuk membakar sebagian karbonnya, besi diubah menjadi **baja**. Ditambah kromium dan nikel, jadilah baja tahan karat.

CONTOH Kadar besi dalam hematit

Hitung kadar (persen massa) besi dalam hematit murni, Fe_2O_3 , lalu hitung massa besi yang dapat diperoleh dari 500 ton hematit murni. (Ar Fe = 56, O = 16)

1 $M_r \text{Fe}_2\text{O}_3 = 2(56) + 3(16) = 160.$

2 $\text{Kadar Fe} = \frac{2 \times 56}{160} \times 100\% = 70\%.$

3 $\text{Massa Fe} = 70\% \times 500 \text{ ton} = 350 \text{ ton}.$

Kadar besi 70%; 500 ton hematit murni berisi 350 ton besi. Bijih nyata bercampur pasir dan tanah, jadi kadarnya lebih rendah.

RUMUS HIDUP Kadar logam dalam mineral bijih

$$\% \text{logam} = \frac{k \times A_r}{M_r} \times 100\%$$

Dari rumus mineralnya, kita tahu berapa bagian massanya yang benar-benar logam.

k Jumlah atom logam per rumus

A_r Ar logam

M_r Mr mineral

$\% \text{logam}$ Kadar logam %

KADAR LOGAM

70

%

 hematit Fe_2O_3

Setiap 1 ton mineral murni berisi 700 kg logam.

Cek satuan: tanpa satuan: $(\text{g/mol}) \div (\text{g/mol}) \times 100\%$

RUMUS HIDUP: GESER NILAINYA DAN KUMPULKAN KARTUNYA DI AURUMGEN.MY.ID/CHEMIPEDIA#RM-KADAR-LOGAM-BIJIH

$$m_{\text{logam}} = m_{\text{bijih}} \times \frac{w}{100} \times \frac{\eta}{100}$$

Logam yang didapat sama dengan massa bijih dikali kadar logamnya, lalu dikali rendemen (persen keberhasilan) prosesnya.

 m_{bijih}

Massa bijih ton

 w

Kadar logam dalam bijih %

 η

Rendemen proses %

 m_{logam}

Logam yang diperoleh ton

LOGAM YANG DIPEROLEH

16,2

ton



bijih kadar rendah seperti laterit nikel: butuh pengolahan besar-besaran

1.000 ton bijih berkadar 1,8% dengan rendemen 90% menghasilkan 16,2 ton logam. Sisanya, 983,8 ton, menjadi terak atau tailing.

Cek satuan: ton $\times$ (%/100) $\times$ (%/100) = ton ✓

RUMUS HIDUP: GESER NILAINYA DAN KUMPULKAN KARTUNYA DI AURUMGEN.MY.ID/CHEMIPEDIA#RM-MASSA-LOGAM-BIJIH



ADU CEPAT

Bijih → logam

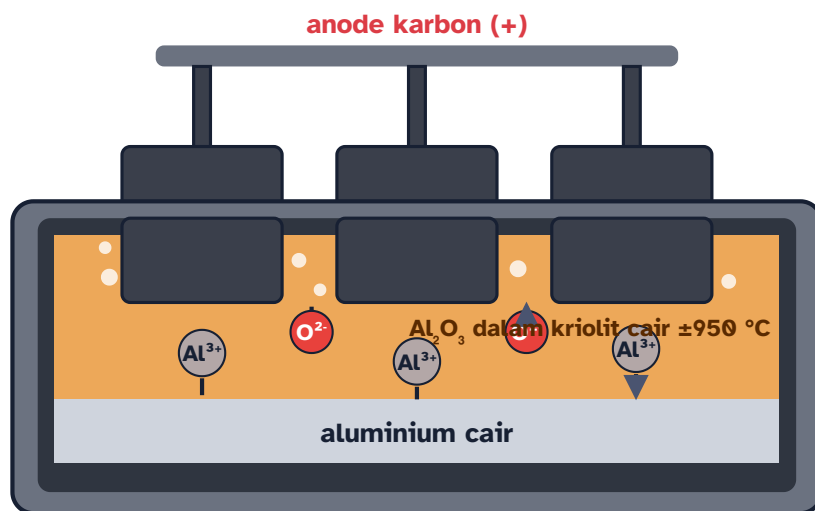
ADU CEPAT • MAINKAN DI AURUMGEN.MY.ID/CHEMIPEDIA#BAB-9

Latihan kilat 60 detik dengan soal acak dan rekor pribadi.

$m = \text{massa bijih} \times \text{kadar}/100 \times \text{rendemen}/100$. Contoh: $1000 \text{ t} \times 2\% \times 90\% = 18 \text{ t}$.

Aluminium dari Kuala Tanjung: logam yang harus "disetrum"

Aluminium terlalu reaktif untuk direduksi karbon: ia memeluk oksigen lebih erat daripada karbon. Bauksit dari Kalimantan Barat lebih dulu dimurnikan menjadi alumina (Al_2O_3) putih. Alumina meleleh pada 2.072 °C, terlalu panas untuk dikerjakan, jadi ia dilarutkan dalam **kriolit** cair (Na_3AlF_6) pada ± 950 °C, lalu dielektrolisis.



Setengah reaksi

Katode (-), reduksi:



Anode (+), oksidasi:



Oksigen membakar anode:



anode habis, diganti berkala

lapisan karbon dasar = katode (-)

Sel Hall-Héroult. Ion Al^{3+} menuju katode di dasar, ion O^{2-} menuju anode karbon di atas. Reaksi totalnya
 $2 \text{Al}_2\text{O}_3 \rightarrow 4 \text{Al} + 3 \text{O}_2$, atau dengan anode yang terbakar, $2 \text{Al}_2\text{O}_3 + 3 \text{C} \rightarrow 4 \text{Al} + 3 \text{CO}_2$.

Jumlah aluminium yang terbentuk sebanding dengan muatan listrik yang dialirkan. Setiap ion Al^{3+} butuh 3 elektron, dan satu mol elektron membawa muatan 96.485 coulomb (tetapan Faraday; hitungan lengkapnya di Bab 31).

$$m_{Al} = \frac{I \times t \times 27}{3 \times 96\,485} \times \frac{\eta}{100}$$

Makin besar arus dan makin lama waktunya, makin banyak elektron yang mengubah ion aluminium menjadi logam; tiga elektron untuk setiap atom Al.

I Arus listrik kA

t Waktu jam

η Efisiensi arus %

m_{Al} Massa aluminium kg

MASSA ALUMINIUM

1.531

kg

⚡ lebih dari satu ton dari satu sel!

Satu sel **200** kA selama **24** jam menghasilkan **1.531** kg aluminium, cukup untuk **±102.084,262** kaleng minuman (±15 g per kaleng).

Cek satuan: $A \times s = C$; $C \div (C/mol\ e^-) \div 3 \times (g/mol) = g$ ✓

RUMUS HIDUP: GESER NILAINYA DAN KUMPULKAN KARTUNYA DI [AURUMGEN.MY.ID/CHEMIPEDIA#RM-MASSA-AL-ELEKTROLISIS](https://aurumgen.my.id/chemipedia#rm-massa-al-elektrolisis)



KIMIA NUSANTARA • INALUM DI KUALA TANJUNG

Peleburan aluminium pertama di Indonesia, Inalum, berdiri di Kuala Tanjung, Sumatra Utara, dan mulai memproduksi pada awal 1980-an. Listriknya datang dari pembangkit listrik tenaga air di Sungai Asahan, yang airnya mengalir dari Danau Toba. Lokasi ini dipilih karena elektrolisis aluminium sangat rakus listrik: sekitar 13–15 kWh untuk setiap kilogram aluminium, setara pemakaian listrik sebuah rumah selama beberapa hari. Itulah sebabnya **mendaur ulang** kaleng aluminium sangat berharga: melelehkan aluminium bekas hanya butuh sekitar 5% energi pembuatan aluminium baru.



TAMU DARI MASA LALU

Pada 1886, dua pemuda berusia awal dua puluhan, **Charles Martin Hall** di Amerika Serikat dan **Paul Héroult** di Prancis, menemukan cara yang sama secara terpisah: melarutkan alumina dalam kriolit cair lalu mengelektrolisisnya. Kebetulanannya berlanjut: keduanya lahir pada 1863 dan wafat pada 1914. Sebelum penemuan itu, aluminium lebih mahal daripada emas. Kaisar Napoleon III konon menjamu tamu paling terhormatnya dengan sendok aluminium, sementara tamu biasa cukup memakai sendok emas!

Nikel dan timah: dari tanah merah dan pasir hitam

Bijih nikel Sulawesi dan Maluku Utara berupa **laterit**, tanah merah hasil pelapukan batuan selama jutaan tahun di iklim tropis. Kadar nikelnya hanya $\pm 1\text{--}2,5\%$, jadi jutaan ton tanah harus diolah. Ada dua jalur utama:

- **Jalur panas (pirometalurgi).** Bijih dikeringkan, dipanaskan bersama karbon di tanur putar, lalu dilebur di tanur listrik. Nikel oksida direduksi: $2\text{NiO} + \text{C} \longrightarrow 2\text{Ni} + \text{CO}_2$. Hasilnya feronikel atau "nickel pig iron" untuk baja tahan karat, atau nikel matte (dengan tambahan belerang) seperti di Sorowako.
- **Jalur basah (hidrometalurgi, HPAL).** Bijih limonit dilarutkan dalam asam sulfat pada suhu $\pm 250^\circ\text{C}$ dan tekanan tinggi: $\text{NiO} + \text{H}_2\text{SO}_4 \longrightarrow \text{NiSO}_4 + \text{H}_2\text{O}$. Nikel dan kobalt diendapkan sebagai hidroksida campuran, lalu dimurnikan menjadi bahan baku baterai. Pabrik seperti ini berdiri antara lain di Morowali dan Pulau Obi.



KIMIA NUSANTARA · DARI TANAH MERAH KE BATERAI MOBIL LISTRIK

Indonesia memiliki cadangan nikel terbesar di dunia dan kini menjadi produsen nikel terbesar di dunia. Ingat teka-teki Bab 8: mengapa nikel, bukan natrium, yang dipakai di baterai? Di baterai litium-ion, ion Li^+ bolak-balik membawa muatan, sedangkan katodenya (misalnya litium nikel mangan kobalt oksida) harus mampu **menyimpan dan melepas elektron berkali-kali**. Nikel adalah logam transisi yang bisa berganti bilangan oksidasi (+2, +3, +4) tanpa merusak strukturnya. Natrium hanya punya satu bilangan oksidasi (+1) dan logamnya bereaksi hebat dengan air.

Tambang dan smelter membawa lapangan kerja, tetapi juga tantangan: hutan yang dibuka, tailing (limbah halus sisa olahan) yang harus disimpan dengan aman, dan emisi pembangkit batu bara penggerak smelter. Kimia hijau (Bab 38) mencari cara yang lebih bersih.

Timah Bangka Belitung ditambang dari pasir yang mengandung **kasiterit** (SnO_2), mineral hitam yang sangat berat (massa jenis $\pm 7\text{ g/cm}^3$). Karena berat, kasiterit dipisahkan dari pasir ringan dengan aliran air, cara yang sama seperti mendulang emas. Konsentratnya dilebur dengan karbon pada $\pm 1.200^\circ\text{C}$:

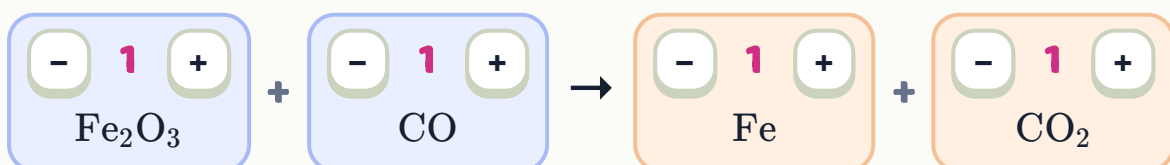


Timah dipakai untuk solder elektronik, pelapis kaleng (besi berlapis timah), dan paduan **perunggu** (tembaga + timah) untuk gamelan. Lubang bekas tambang timah yang tergenang air, yang oleh warga Bangka disebut *kolong*, kini sebagian dimanfaatkan untuk kolam ikan dan wisata setelah dipulihkan.

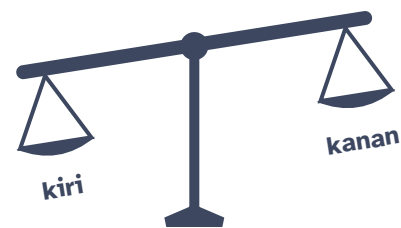


PENYETARA REAKSI

Setarakan reaksi pengolahan logam



Unsur	Kiri	Kanan	
Fe	2 ●●	1 ●	×
O	4 ●●●●	2 ●●	×
C	1 ●	1 ●	✓



Ubah koefisien sampai jumlah setiap atom di kiri = di kanan. Ingat: yang boleh diubah hanya koefisien, bukan indeks!



Petunjuk



Ulang

Persamaan berikutnya ▶

Persamaan 1 dari 9 null

Pada reaksi reduksi, setarakan logamnya dulu, lalu oksigen. Persamaan anode $\text{O}^{2-} + \text{C}$ harus setara massa dan muatan. Persamaan terakhir adalah ringkasan peleburan kalkopirit dari Grasberg: berapa molekul SO_2 yang keluar untuk setiap 2 atom tembaga?

COBA SENDIRI

Dari laterit Sulawesi ke baterai

Sebuah pabrik HPAL mengolah 1.000 ton bijih limonit berkadar nikel 1,8% dengan rendemen 90%. Semua nikel diubah menjadi nikel(II) sulfat heksahidrat, $\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, bahan baku katode baterai. (a) Berapa ton nikel yang diperoleh? (b) Berapa ton $\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ yang dapat dibuat? (Ar Ni = 58,7; S = 32; O = 16; H = 1)

1

$$(a) \text{Massa Ni} = 1000 \times \frac{1,8}{100} \times \frac{90}{100} = 16,2 \text{ ton.}$$

2

$$M_r \text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O} = 58,7 + 32 + 4(16) + 6(18) = 262,7.$$

3

Setiap 1 mol Ni menjadi 1 mol $\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, jadi perbandingan massanya 262,7 : 58,7.

4

$$(b) \text{Massa garam} = 16,2 \times \frac{262,7}{58,7} = 72,5 \text{ ton.}$$

(a) 16,2 ton nikel; (b) ±72,5 ton nikel sulfat heksahidrat. Dari 1.000 ton tanah merah, hanya sekitar 1,6% yang menjadi nikel. Sisanya harus dikelola sebagai tailing.



LANJUT • IB & OLIMPIADE

MENGAPA KARBON BISA MEREDUKSI BESI TETAPI TIDAK ALUMINIUM?

Reduksi oksida logam dengan karbon spontan bila energi bebas Gibbs totalnya negatif. Pembentukan Al_2O_3 melepaskan energi yang sangat besar ($\Delta_f G^\circ \approx -1582 \text{ kJ/mol}$, atau $\pm -527 \text{ kJ}$ per mol O), jauh lebih negatif daripada Fe_2O_3 ($\pm -742 \text{ kJ/mol}$, atau $\pm -247 \text{ kJ}$ per mol O). Karbon pada suhu tungku biasa tidak sanggup "membayar" sebesar itu.

Diagram Ellingham menggambarkan ΔG° pembentukan oksida terhadap suhu. Garis $2\text{C} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{CO}$ justru **menurun** saat suhu naik (jumlah mol gas bertambah, $\Delta S > 0$), sehingga pada suhu tinggi karbon dapat mereduksi lebih banyak oksida. Itulah sebabnya tanur bekerja sangat panas. Untuk aluminium, garis karbon baru memotongnya di atas $\pm 2.000^\circ\text{C}$, terlalu mahal dan sulit, sehingga elektrolisis lebih masuk akal.

9.7 Lanjut: senyawa kompleks dan warna ion tembaga

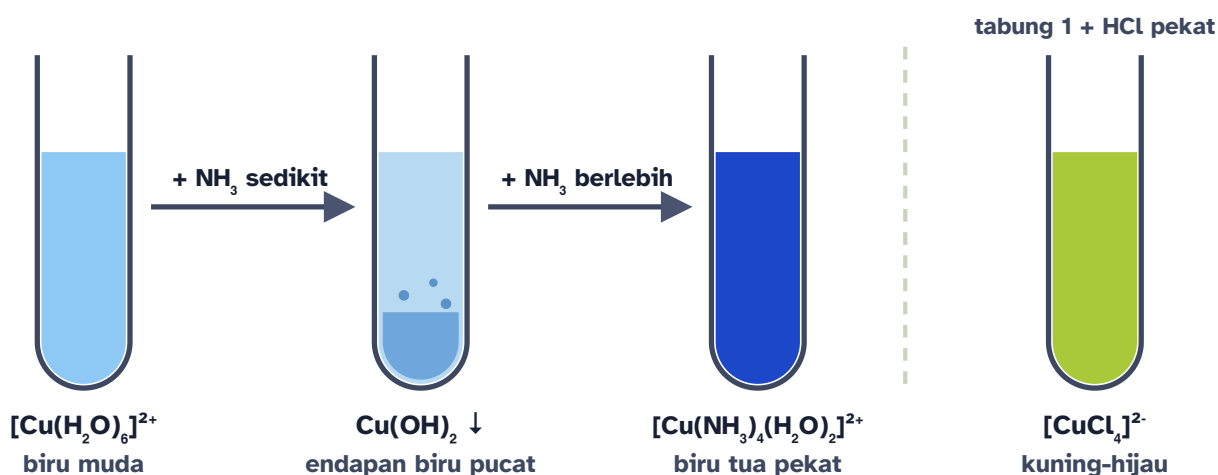
Mengapa larutan terusi biru, padahal ion tembaga sendiri tidak "dicat"? Di dalam air, ion Cu^{2+} tidak pernah sendirian. Enam molekul air menempel padanya, masing-masing menyumbangkan satu pasangan elektron bebas dari atom O. Gabungan itu, $[\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$, adalah sebuah **ion kompleks**, dan dialah yang berwarna biru.

Bahasa sederhana • Bayangkan ion tembaga sebagai magnet kecil di tengah, dikelilingi enam "tamu" (molekul air) yang menempel karena masing-masing membawa sepasang elektron. Kalau tamunya diganti, misalnya dengan amonia atau ion klorida, warna larutannya ikut berubah. Pergantian tamu itu bisa kamu lihat dengan mata!



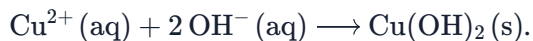
DEFINISI • ION KOMPLEKS

Ion kompleks terdiri atas ion logam pusat yang dikelilingi **ligan**, yaitu molekul atau ion yang punya pasangan elektron bebas (H_2O , NH_3 , Cl^- , OH^- , CN^-). Setiap ligan menyumbangkan sepasang elektron membentuk **ikatan kovalen koordinasi**. Jumlah ikatan ke ion pusat disebut **bilangan koordinasi**: 2 (linear), 4 (tetrahedral atau segi empat datar), atau 6 (oktahedral).



Empat warna, satu ion tembaga(II). Yang berubah hanyalah ligan di sekelilingnya.

- Sedikit amonia membuat larutan basa, sehingga mengendap tembaga(II) hidroksida:



- Amonia berlebih melarutkan endapan itu dan mengganti empat ligan air:



(biru tua).

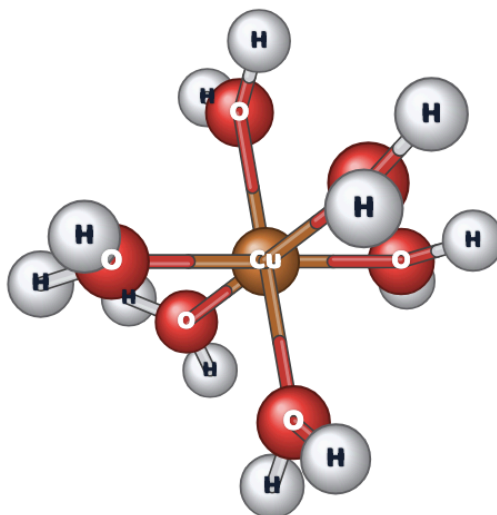
- Asam klorida pekat mengganti semua ligan air dengan ion klorida yang lebih besar, sehingga bilangan koordinasi turun menjadi 4:



. Muatan kompleks berubah dari 2+ menjadi 2-.

MOLEKUL 3D

Ion kompleks tembaga dan perak dalam 3D



Seret untuk memutar · ketuk atom untuk mengukur

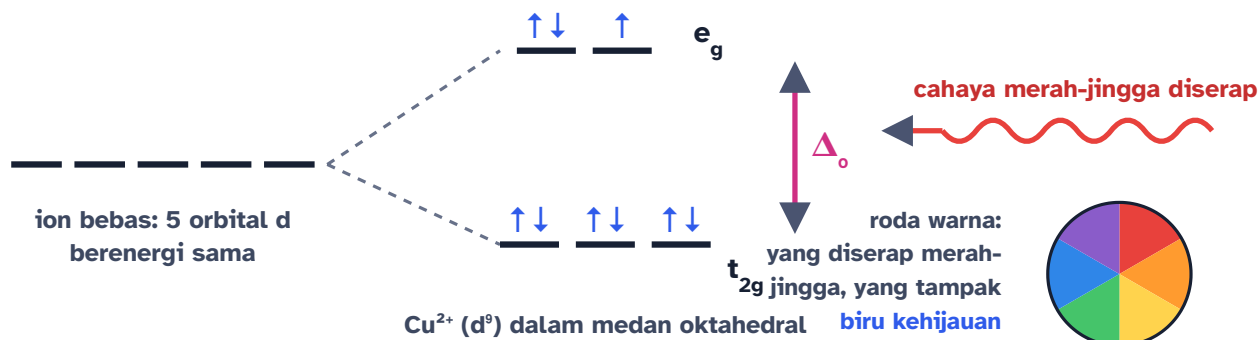
Ion heksaakuatembaga(II) $[\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$

Mr $\approx 171,64$

Oktahedral, bilangan koordinasi 6. Dua ikatan Cu–O aksial (± 238 pm) lebih panjang daripada empat ikatan ekuatorial (± 197 pm): efek Jahn–Teller yang khas untuk Cu^{2+} (d^9).

Ketuk Cu lalu dua atom ligan untuk mengukur sudut: 90° pada oktahedral, ± 102 – 125° pada $[\text{CuCl}_4]^{2-}$, dan 180° pada $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$. Ketuk Cu dan O untuk membandingkan panjang ikatan aksial dan ekuatorial pada ion heksaakua.

Dari mana warnanya? Pada ion bebas, kelima orbital 3d berenergi sama. Saat enam ligan mendekat dari arah sumbu x, y, dan z, dua orbital d yang mengarah tepat ke ligan (kelompok e_g) terdorong naik energinya, sedangkan tiga lainnya (t_{2g}) turun. Selisihnya disebut **pembelahan medan kristal**, Δ_o . Elektron d dapat melompat dari t_{2g} ke e_g dengan menyerap cahaya yang energinya tepat Δ_o . Mata kita melihat warna **komplemen** dari warna yang diserap.



Ion $\text{Cu}^{2+} (d^9)$ dalam air menyerap cahaya merah dan inframerah dekat (puncak $\pm 800 \text{ nm}$), sehingga larutannya tampak biru. Ion $\text{Zn}^{2+} (d^{10})$ dan $\text{Sc}^{3+} (d^0)$ tidak berwarna karena tidak ada lompatan d-d yang mungkin.

RUMUS HIDUP Pembelahan medan kristal dari warna yang diserap

$$\Delta_o = \frac{N_A h c}{\lambda}$$

Makin pendek panjang gelombang cahaya yang diserap, makin besar celah energi antara orbital d bawah dan atas.

λ Panjang gelombang yang diserap nm

Δ_o Pembelahan medan kristal kJ/mol

PEMBELAHAN MEDAN KRISTAL

149,5

kJ/mol

menyerap merah & inframerah dekat → tampak biru muda, seperti terusi

Kompleks yang menyerap cahaya **800 nm** punya $\Delta_o \approx 149,5 \text{ kJ/mol}$ dan tampak berwarna komplemennya.

Cek satuan: $(1/\text{mol})(\text{J s})(\text{m/s}) \div \text{m} = \text{J/mol} \rightarrow \div 1000 = \text{kJ/mol} \checkmark$

RUMUS HIDUP: GESER NILAINYA DAN KUMPULKAN KARTUNYA DI AURUMGEN.MY.ID/CHEMIPEDIA#RM-CELAH-MEDAN-KRISTAL

Ligan yang berbeda membelah orbital d dengan kekuatan berbeda. Urutan kekuatannya disebut **deret spektrokimia**: $I^- < Br^- < Cl^- < F^- < OH^- < H_2O < NH_3 < CN^-$. Mengganti air dengan amonia memperbesar Δ_o , sehingga cahaya yang diserap bergeser ke panjang gelombang lebih pendek (± 600 nm) dan warnanya berubah dari biru muda menjadi biru tua keunguan.

Senyawa kompleks ada di mana-mana dalam tubuh dan kehidupan: **hemoglobin** mengangkut oksigen dengan ion Fe^{2+} di tengah cincin heme, **klorofil** daun menangkap cahaya dengan ion Mg^{2+} di pusatnya, dan vitamin B12 berisi kobalt. Obat kanker **sisplatin**, $[Pt(NH_3)_2Cl_2]$, berbentuk segi empat datar, sedangkan EDTA "mencengkeram" ion timbal dalam pengobatan keracunan logam berat.



LANJUT • IB & OLIMPIADE

MEDAN KUAT, MEDAN LEMAH, DAN SIFAT MAGNET

Pada ion d^4 sampai d^7 , elektron punya dua pilihan. Bila Δ_o kecil (ligan medan lemah seperti H_2O), elektron lebih suka menyebar ke orbital e_g daripada berpasangan: **spin tinggi**. Bila Δ_o besar (ligan medan kuat seperti CN^-), elektron memenuhi t_{2g} dulu: **spin rendah**.

Contoh Fe^{2+} (d^6): $[Fe(H_2O)_6]^{2+}$ spin tinggi $t_{2g}^4 e_g^2$ dengan 4 elektron tak berpasangan, sehingga bersifat **paramagnetik** (ditarik magnet). $[Fe(CN)_6]^{4-}$ spin rendah t_{2g}^6 tanpa elektron tak berpasangan, sehingga **diamagnetik**. Momen magnet "spin saja", $\mu = \sqrt{n(n+2)}$ magneton Bohr, memberi 4,90 untuk $n = 4$ dan 0 untuk $n = 0$.

Kimia di sekitarmu



Garam beryodium

Kalium iodat (KIO_3) dalam garam dapur mencegah gondok. Simpan garam di wadah tertutup, jauh dari kompor yang panas dan udara lembap, supaya iodiumnya awet.



Kembang api tahun baru

Warnanya berasal dari ion logam: stronsium merah, barium hijau, natrium kuning, tembaga biru-hijau, dan magnesium putih menyilaukan. Itulah uji nyala dalam ukuran raksasa.



Air PDAM

Sedikit klorin membentuk asam hipoklorit yang membunuh bakteri penyebab diare. Sisa klorin yang kecil menjaga air tetap aman sepanjang pipa.



Balon gas pasar malam

Balon helium aman karena gas mulia tidak terbakar. Balon yang diisi hidrogen memang lebih murah, tetapi bisa meledak dan menyambar api bila dekat rokok atau lilin.



Baterai kendaraan listrik

Katode baterai litium-ion banyak memakai nikel, sebagian berasal dari laterit Sulawesi dan Maluku Utara. Nikel yang berganti biloks menyimpan muatan berkali-kali.



Gamelan perunggu

Bilah gamelan terbaik ditempa dari perunggu, paduan tembaga dengan $\pm 20\text{--}25\%$ timah. Timah membuatnya keras, nyaring, dan tahan karat.

Cek Cepat

Di antara logam berikut, manakah yang bereaksi paling hebat dengan air?

Litium

Natrium

Kalium

Magnesium

Air klorin ditambahkan ke larutan kalium bromida yang bening. Apa yang teramati?

Larutan tetap bening karena tidak terjadi reaksi.

Larutan menjadi jingga karena bromin terbentuk.

Larutan menjadi ungu karena klorin terbentuk.

Terbentuk endapan putih perak klorida.

Mengapa aluminium diperoleh dengan elektrolisis, bukan dengan reduksi karbon di tanur?

Karena aluminium terlalu mahal untuk dipanaskan.

Karena karbon akan meleleh sebelum aluminium terbentuk.

Karena bijih aluminium bukan berupa oksida.

Karena aluminium lebih reaktif daripada karbon sehingga terikat sangat erat pada oksigen.

Kunci Cek Cepat: 1. C · 2. B · 3. D



Tantangan Rumah: paku berbaju tembaga

Bahan: benda tembaga yang sudah kusam (potongan kawat tembaga dari kabel bekas yang dikupas orang dewasa), cuka dapur, garam dapur, gelas kaca atau plastik bening, 2 paku besi, amplas atau sabut cuci piring, tisu, sendok plastik.

1. Bersihkan dan amplas satu paku sampai mengilap. Simpan paku kedua tanpa diproses sebagai pembanding.
2. Isi gelas dengan ± 100 mL cuka. Bila cukanya berkadar 25% (lihat label), encerkan dulu: 1 bagian cuka ditambah 4 bagian air. Larutkan 1 sendok teh garam.
3. Rendam kawat tembaga yang kusam selama ± 1 jam. Lapisan kusamnya larut dan larutan menyimpan sedikit ion tembaga.
4. Angkat kawatnya, lalu masukkan paku yang mengilap sampai setengahnya tercelup. Tunggu 20–60 menit.
5. Angkat paku, letakkan di atas tisu, dan bandingkan bagian yang tercelup dengan bagian yang tidak tercelup serta dengan paku pembanding.

Keselamatan: kerjakan bersama orang dewasa. Hati-hati dengan ujung paku dan kawat yang tajam. Cuka dapat memedihkan mata, jadi jangan mengucek mata dan pakai kacamata bila ada. Jangan mencicipi larutan. Buang sisa larutan ke wastafel sambil dialiri banyak air (jangan ke kolam ikan), lalu cuci tangan dan gelas dengan sabun.

Pertanyaan: Warna apa yang menempel di paku? Logam mana yang lebih reaktif, besi atau tembaga? Tuliskan persamaan ionnya, lalu cocokkan dengan Lab Mini "Laboratorium pendesakan" di subbab 9.5.



RINGKASAN KILAT

Bab 9 dalam 3 menit

✓ Kamu sekarang bisa...

- menjelaskan sifat dan **kecenderungan reaktivitas** logam alkali, alkali tanah, halogen, dan gas mulia, lalu menulis persamaan reaksinya
- meramalkan **reaksi pendesakan** halogen dan logam memakai deret keaktifan (deret volta)
- menjelaskan perubahan sifat unsur dan **oksida periode 3** dari basa, amfoter, sampai asam
- mengenali ciri **logam transisi** (ion berwarna, bilangan oksidasi beragam, katalis) dan dasar **senyawa kompleks**
- menjelaskan **pengolahan logam** (besi, aluminium, nikel, timah) dan menghitung kadar serta massa logam dari bijih Nusantara

Istilah kunci

Logam alkali halogen Oksida amfoter logam transisi deret keaktifan deret volta
 bijih Ion kompleks ligan bilangan koordinasi pembelahan medan kristal
 deret spektrokimia

Rumus penting

$$\% \text{ logam} = \frac{k \times A_r}{M_r} \times 100\%$$

Kadar logam dalam mineral bijih. Dari rumus mineralnya, kita tahu berapa bagian massanya yang benar-benar logam.

$$m_{\text{logam}} = m_{\text{bijih}} \times \frac{w}{100} \times \frac{\eta}{100}$$

Massa logam dari bijih (dengan rendemen).

Logam yang didapat sama dengan massa bijih dikali kadar logamnya, lalu dikali rendemen (persen keberhasilan) prosesnya.

$$m_{\text{Al}} = \frac{I \times t \times 27}{3 \times 96\,485} \times \frac{\eta}{100}$$

Aluminium dari satu sel elektrolisis. Makin besar arus dan makin lama waktunya, makin banyak elektron yang mengubah ion aluminium menjadi logam; tiga elektron untuk setiap atom Al.

$$\Delta_o = \frac{N_A h c}{\lambda}$$

Pembelahan medan kristal dari warna yang diserap. Makin pendek panjang gelombang cahaya yang diserap, makin besar celah energi antara orbital d bawah dan atas.

Jangan sampai terjebak

- Logam alkali hanya boleh diperagakan oleh guru, tidak pernah dicoba sendiri di rumah.
- Arah tren reaktivitas golongan 1 dan golongan 17 berlawanan.
- Saat logam transisi menjadi ion, elektron 4s dilepas lebih dulu, baru elektron 3d.

 **Tangga Latihan:** 24 soal bab ini (Lv 1 Pemula sampai Lv 6 Olimpiade) ada di PDF Bank Soal dan di aurumgen.my.id/chemipedia#soal?bab=9

Teka-teki untuk Bab 10

Natrium meledak-ledak di dalam air, dan klorin adalah gas beracun yang menyesakkan. Namun gabungan keduanya, natrium klorida, justru kita taburkan di sayur setiap hari. Bagaimana dua unsur berbahaya bisa melahirkan senyawa yang aman dimakan?

▼ Intip petunjuk

Natrium yang royal menyerahkan satu elektron kepada klorin yang rakus. Keduanya berubah menjadi ion Na^+ dan Cl^- yang susunan elektronnya menyerupai gas mulia, sehingga jauh lebih stabil dan "tenang". Ion-ion itu saling tarik membentuk kisi kristal. Sifat senyawa bisa sangat berbeda dari unsur penyusunnya. Di Bab 10 kita mempelajari **ikatan ion**.

10

Ikatan Ion: Satu Elektron yang Berpindah Tangan

Natrium bereaksi hebat bila tercebur air, sedangkan klorin adalah gas beracun. Namun ketika keduanya bertemu, lahirlah garam dapur yang setiap hari kita taburkan di sayur. Rahasiannya: satu elektron yang berpindah tangan.

Setelah bab ini, kamu bisa

- menjelaskan kestabilan gas mulia dan **aturan oktet**, lalu meramalkan ion yang dibentuk suatu unsur;
- menggambarkan pembentukan **ikatan ion** dengan **diagram titik-silang**;
- menuliskan **rumus senyawa ion** dari muatan ionnya, termasuk senyawa dengan **ion poliatom**;
- menjelaskan **kisi kristal** NaCl dan **sifat-sifat senyawa ion** (titik leleh, kegetasan, daya hantar listrik);
- menghitung **energi kisi** dengan siklus Born-Haber dan menjelaskan karakter kovalen dengan **aturan Fajans**.

SATU ELEKTRON UNTUK KLORIN

KOMIK • 4 PANEL

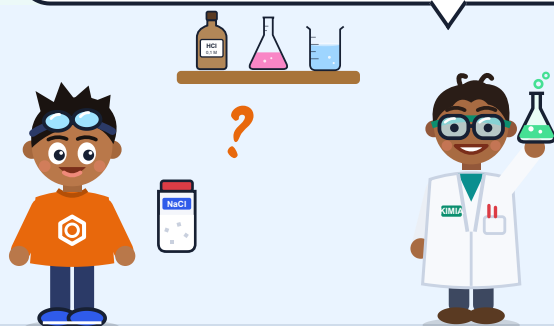
Sore hari, di laboratorium sekolah

BIMA

Kak, natrium itu meledak kalau kena air, klorin gas beracun. Kok gabungannya malah kita taburkan di sayur asem?

KAK TIRTA

Rahasiannya satu elektron yang pindah tangan. Ayo kita intip dunia atomnya!



Sementara itu, di dunia atom...

NATRIUM

Satu elektron di kulit terluarku ini bikin repot. Ada yang mau?

KLORIN

MAU! Aku tinggal butuh SATU lagi supaya kulitku penuh!

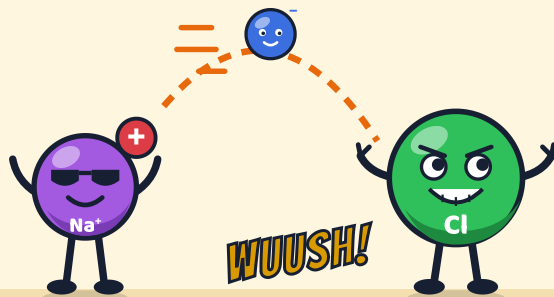


NATRIUM

Ambillah! Sekarang kulit terluarku 2.8, rapi seperti Neon.

KLORIN

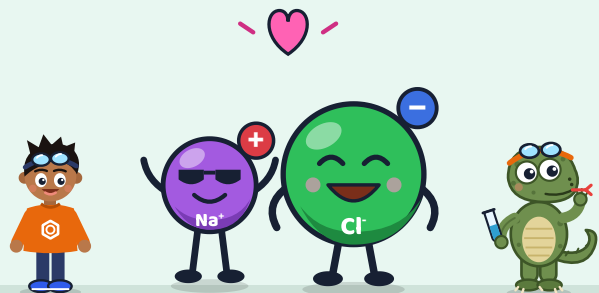
Delapan elektron! Aku serapi Argon. Terima kasih!

**Muatan berlawanan saling tarik****KIMO**

Plus dan minus saling tarik erat: inilah **ikatan ion**! Sebutir kecil garam berisi sekitar satu miliar miliar ion.

BIMA

Jadi garam bukan natrium dan klorin yang galak, melainkan ion-ion yang sudah tenang...

**Tebak Dulu!**

Garam dapur tersusun dari natrium (logam yang bereaksi hebat dengan air) dan klorin (gas beracun). Mengapa garam aman dimakan?

Karena natrium dan klorinnya menguap habis saat garam dijemur di tambak.

Karena di dalam garam, natrium dan klorin hanya tercampur dalam jumlah terlalu sedikit untuk berbahaya.

Karena natrium dan klorin sudah berubah menjadi ion Na^+ dan Cl^- yang stabil, dengan sifat yang sama sekali baru.

Karena garam laut berbeda dengan natrium klorida buatan pabrik.

Jawabannya: natrium dan klorin sudah menjadi ion. Garam bukan campuran logam natrium dan gas klorin. Setiap atom natrium telah memberikan satu elektron kepada atom klorin. Hasilnya ion Na^+ dan Cl^- yang susunan elektronnya serapi gas mulia, sehingga tidak lagi "galak". Senyawa selalu punya sifat baru yang berbeda dari unsur-unsur penyusunnya.

10.1 Gas mulia yang "cuek" dan aturan oktet

Di Klub Unsur ada satu anggota yang selalu santai: **Ne** si bangsawan bermahkota. Diajak bereaksi dengan siapa pun, ia menolak. Helium, neon, dan argon di alam ditemukan sebagai atom-atom tunggal yang tidak bergandengan dengan atom lain. Mengapa mereka begitu "puas diri"?

Jawabannya ada pada susunan elektronnya (Bab 7). Kulit terluar gas mulia sudah **penuhi**: helium punya 2 elektron, sedangkan neon, argon, dan seterusnya punya 8 elektron di kulit terluar.

Gas mulia	Nomor atom	Susunan elektron per kulit	Elektron kulit terluar
Helium, He	2	2	2 (duplet)
Neon, Ne	10	2 . 8	8 (oktet)
Argon, Ar	18	2 . 8 . 8	8
Kripton, Kr	36	2 . 8 . 18 . 8	8
Xenon, Xe	54	2 . 8 . 18 . 18 . 8	8

Bahasa sederhana • Bayangkan kulit terluar atom sebagai rak telur dengan 8 lubang. Rak milik gas mulia sudah penuh, jadi mereka tenang. Atom lain raknya belum penuh. Ada yang hanya berisi 1 atau 2 butir, sehingga lebih mudah dikosongkan saja. Ada juga yang sudah berisi 6 atau 7 butir, sehingga tinggal ditambah sedikit.



DEFINISI • ELEKTRON VALENSI DAN ATURAN OKTET

Elektron valensi adalah elektron di kulit terluar atom. **Aturan oktet**: atom-atom cenderung bereaksi sampai susunan elektronnya menyerupai gas mulia terdekat, yaitu memiliki 8 elektron di kulit terluar. Atom kecil seperti H, Li, dan Be cukup memiliki 2 elektron (**duplet**), seperti helium.

Untuk unsur golongan utama, jumlah elektron valensi sama dengan angka satuan nomor golongannya: **Na** (golongan 1) punya 1, **Mg** (golongan 2) punya 2, **Al** (golongan 13) punya 3, **O** (golongan 16) punya 6, dan **Cl** (golongan 17) punya 7.

Ada dua jalan pintas menuju oktet:

- **Melepas** elektron valensi yang sedikit. Ini jalan para **logam** di sisi kiri tabel periodik, yang energi ionisasinya rendah. Hasilnya ion positif.
- **Menerima** elektron sampai kulitnya penuh. Ini jalan para **nonlogam** di sisi kanan, yang afinitas elektronnya besar. Hasilnya ion negatif.

TABEL PERIODIK HIDUP

Siapa pelepas, siapa penerima elektron?

Warnai menurut

Energi ionisasi pertama



Dari atom menjadi ion: diagram titik-silang

Ketika atom melepas atau menerima elektron, jumlah proton tidak lagi sama dengan jumlah elektron. Atom itu menjadi bermuatan listrik dan disebut **ion**.



DEFINISI • KATION DAN ANION

Kation adalah ion bermuatan positif, terbentuk saat atom melepas elektron (biasanya logam).

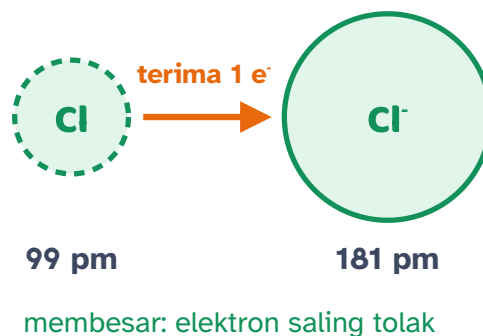
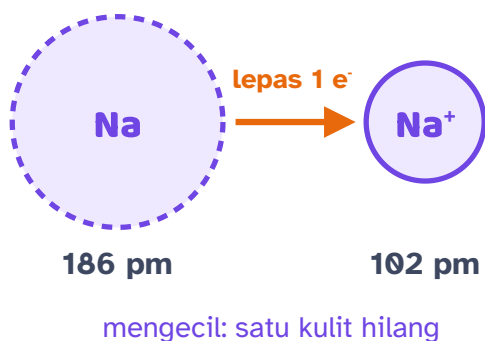
Anion adalah ion bermuatan negatif, terbentuk saat atom menerima elektron (biasanya nonlogam).

Nama anion satu atom berakhiran *-ida*: klorida, oksida, sulfida, nitrida.



Hitung partikelnya. Atom Na punya 11 proton dan 11 elektron, jadi netral. Ion Na^{+} tetap punya 11 proton tetapi hanya 10 elektron, sehingga muatannya +1. Susunan elektron Na^{+} (2.8) sama persis dengan neon: keduanya **isoelektronik**. Ion Cl^{-} (17 proton, 18 elektron, 2.8.8) isoelektronik dengan argon.

Bahasa sederhana • Ingat: proton tidak pernah ikut pindah. Yang berpindah hanya elektron, partikel mungil bermuatan negatif. Kehilangan "barang negatif" membuat atom menjadi positif. Mendapat "barang negatif" membuat atom menjadi negatif.



Jari-jari atom dan ion dalam pikometer ($1 \text{ pm} = 10^{-12} \text{ m}$). Kation lebih kecil daripada atomnya karena kehilangan seluruh kulit terluar. Anion lebih besar karena elektron tambahan saling tolak.

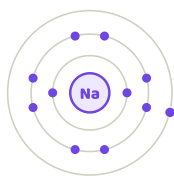
Lalu apa yang menyatukan Na^{+} dan Cl^{-} ? Muatan berlawanan saling tarik, seperti kutub utara dan selatan magnet.



ATURAN • IKATAN ION

Ikatan ion adalah gaya tarik elektrostatis yang kuat antara ion-ion bermuatan berlawanan. Ikatan ion umumnya terbentuk antara **logam** (energi ionisasi rendah) dan **nonlogam** (afinitas elektron besar). Jumlah elektron yang dilepas logam selalu sama dengan jumlah elektron yang diterima nonlogam.

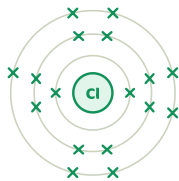
Atom natrium, Na



2 . 8 . 1

• = elektron natrium

Atom klorin, Cl

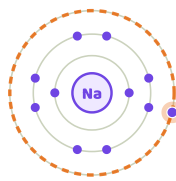


2 . 8 . 7

x = elektron klorin

Langkah 1. Atom natrium (2.8.1) dan atom klorin (2.8.7) sama-sama netral. Elektron natrium digambar titik (•), elektron klorin digambar silang (x), supaya asal setiap elektron mudah dilacak.

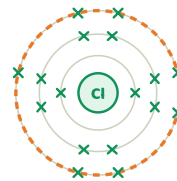
Atom natrium, Na



2 . 8 . 1

1 elektron valensi

Atom klorin, Cl

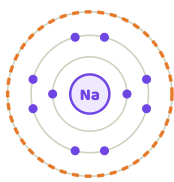


2 . 8 . 7

7 elektron valensi, kurang 1

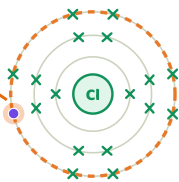
Langkah 2. Perhatikan kulit terluar. Natrium hanya punya 1 elektron valensi, sedangkan klorin punya 7 dan kurang 1 untuk oktet.

Atom natrium, Na



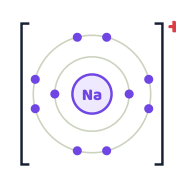
2 . 8 . 1

Atom klorin, Cl

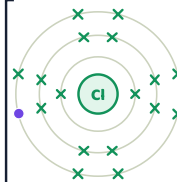


2 . 8 . 7

Langkah 3. Satu elektron berpindah dari Na ke Cl. Di diagram, titik itu kini duduk di antara silang-silang milik klorin.

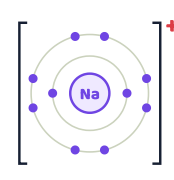
Ion natrium, Na⁺

2 . 8 (seperti Ne)

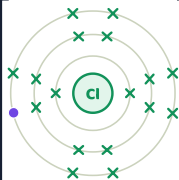
Ion klorida, Cl⁻

2 . 8 . 8 (seperti Ar)

Langkah 4. Natrium kehilangan kulit terluarnya dan menjadi Na⁺ (2.8, seperti Ne). Klorin menjadi Cl⁻ (2.8.8, seperti Ar). Ion ditulis di dalam kurung siku dengan muatan di pojok kanan atas.

Ion natrium, Na⁺

2 . 8 (seperti Ne)

Ion klorida, Cl⁻

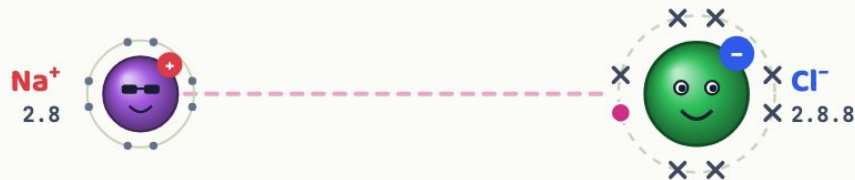
2 . 8 . 8 (seperti Ar)

[Na]⁺ [Cl]⁻ → satuan rumus NaCl

Langkah 5. Ion positif dan ion negatif saling tarik secara elektrostatis. Gaya tarik inilah **ikatan ion**.

Cara menggambar ini disebut **diagram titik-silang**. Titik dan silang hanya penanda asal: di alam, semua elektron identik.

Semua sudah serapi gas mulia. Muatan berlawanan saling tarik: ikatan ion!



+ ↔ -

NaCl • natrium klorida

Elektron berpindah

1 dari 1

Logam

Na⁺ (2.8, seperti Ne)

Nonlogam

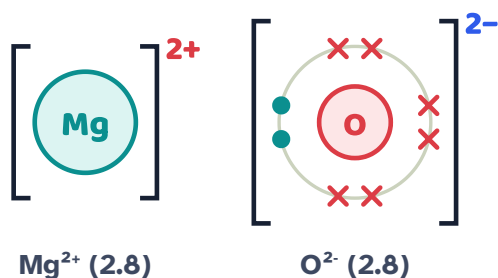
Cl⁻ (2.8.8, seperti Ar)

Senyawa

NaCl (natrium klorida)

Seret elektron valensi logam (titik magenta) ke atom nonlogam, atau tekan ► Jalankan. Coba "Magnesium + oksigen": berapa elektron yang harus pindah? Lalu "2 aluminium + 3 oksigen": mengapa butuh 2 atom Al dan 3 atom O? Perhatikan juga ukuran atom yang berubah setelah menjadi ion.

Magnesium oksida, MgO



• = elektron dari logam • x = elektron milik nonlogam

Kalsium klorida, CaCl₂

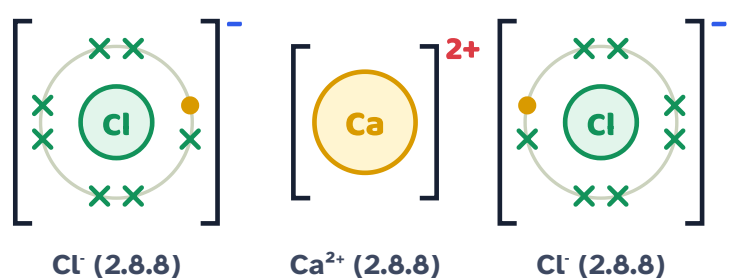


Diagram titik-silang untuk ujian cukup menampilkan kulit terluar. Mg memberi 2 elektron kepada satu atom O. Ca juga melepas 2 elektron, tetapi setiap atom Cl hanya butuh 1, sehingga diperlukan dua atom Cl.

CONTOH Pembentukan magnesium oksida

Pita magnesium ($Z = 12$) dibakar di udara dan bereaksi dengan oksigen ($Z = 8$), menghasilkan abu putih magnesium oksida. Jelaskan pembentukan ikatannya dan tuliskan rumusnya.

- 1 Susunan elektron: Mg 2.8.2 (2 elektron valensi), O 2.6 (kurang 2 untuk oktet).
- 2 Magnesium melepas 2 elektron: $\text{Mg} \rightarrow \text{Mg}^{2+} + 2\text{e}^-$, susunannya menjadi 2.8 (seperti Ne).
- 3 Oksigen menerima 2 elektron itu: $\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{O}^{2-}$, susunannya menjadi 2.8 (juga seperti Ne).
- 4 Muatan +2 dan -2 sudah saling meniadakan dengan perbandingan 1 : 1.

Rumusnya MgO . Karena muatan ionnya ganda, tarikan antarionnya jauh lebih kuat daripada di NaCl : MgO baru meleleh pada 2.852°C dan dipakai sebagai pelapis tahan api di dalam tungku industri.



TAMU DARI MASA LALU

Pada 1916, fisikawan Jerman **Walther Kossel** mengusulkan bahwa atom membentuk ion dengan melepas atau menerima elektron sampai susunannya menyerupai gas mulia. Pada tahun yang sama, kimiawan Amerika **Gilbert N. Lewis** menggambar elektron valensi sebagai titik-titik di sekeliling lambang unsur, cikal bakal diagram titik-silang. Tiga tahun kemudian **Irving Langmuir** mempopulerkan istilah *oktet*.

10.3 Menulis rumus senyawa ion

Senyawa ion selalu **netral**: total muatan positif sama dengan total muatan negatif. Dari prinsip sederhana ini, kita dapat menulis rumus senyawa ion apa pun, asalkan tahu muatan ion-ionnya.



ATURAN • MENULIS RUMUS SENYAWA ION

1. Tulis kation lebih dulu, lalu anion.
2. Pilih jumlah setiap ion supaya total muatannya nol.
3. Pakai perbandingan bilangan bulat terkecil.
4. Bila ion poliatom muncul lebih dari satu, beri tanda kurung: $\text{Ca}(\text{OH})_2$, bukan CaOH_2 .
5. Muatan ion tidak ditulis di dalam rumus senyawa.



TRIK KAK TIRTA • SILANG MUATAN

Tulis kedua ion dengan muatannya, lalu "silangkan" angka muatan menjadi indeks ion lawannya, kemudian sederhanakan. Al^{3+} dan $\text{O}^{2-} \rightarrow \text{Al}_2\text{O}_3$. Mg^{2+} dan $\text{O}^{2-} \rightarrow \text{Mg}_2\text{O}_2 \rightarrow \text{MgO}$. Silang muatan hanyalah jalan pintas supaya total muatannya nol: cek selalu, $2 \times (+3) + 3 \times (-2) = 0$ ✓.

$$x : y = \frac{b}{\text{FPB}} : \frac{a}{\text{FPB}}$$

x kation dan y anion: x sama dengan besar muatan anion, y sama dengan besar muatan kation, lalu keduanya dibagi FPB (faktor persekutuan terbesar) dari a dan b .

 a Muatan kation (+ a) b Besar muatan anion (– b) x

Jumlah kation per satuan rumus

JUMLAH KATION PER SATUAN
RUMUS

2

contoh: Al_2O_3 , Fe_2O_3 , $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$

Rumus umum: M_2X_3 . Cek muatan: $2 \times (+3) + 3 \times (-2) = 0 \checkmark$

RUMUS HIDUP: GESER NILAINYA DAN KUMPULKAN KARTUNYA DI AURUMGEN.MY.ID/CHEMIPEDIA#RM-SILANG-MUATAN

Banyak ion terdiri atas beberapa atom yang terikat kuat satu sama lain dan membawa muatan bersama. Ion seperti ini disebut **ion poliatom**. Di dalam kisi, ion poliatom berperilaku seperti satu "ion besar" yang tidak terpecah.

Muatan	Ion monoatomik	Ion poliatom
+1	natrium Na^+ , kalium K^+ , perak Ag^+	amonium NH_4^+
+2	magnesium Mg^{2+} , kalsium Ca^{2+} , barium Ba^{2+} , seng Zn^{2+} , besi(II) Fe^{2+} , tembaga(II) Cu^{2+}	–
+3	aluminium Al^{3+} , besi(III) Fe^{3+}	–
–1	fluorida F^- , klorida Cl^- , bromida Br^- , iodida I^-	hidroksida OH^- , nitrat NO_3^- , hidrogen karbonat HCO_3^-
–2	oksida O^{2-} , sulfida S^{2-}	sulfat SO_4^{2-} , karbonat CO_3^{2-}
–3	nitrida N^{3-}	fosfat PO_4^{3-}

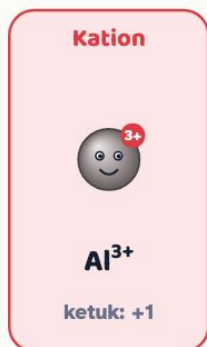
Bahasa sederhana • Angka romawi pada besi(II) dan besi(III) bukan jumlah atom, melainkan muatan ion besi. Besi bisa membentuk dua macam ion, jadi namanya harus menyebut yang mana.

LAB MINI Mak Comblang Ion: jodohkan sampai netral

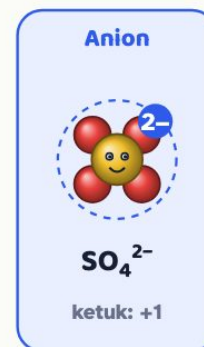
LAB MINI INTERAKTIF • COBA SENDIRI DI AURUMGEN.MY.ID/CHEMIPEDIA#BAB-10



Kelebihan muatan +1: tambah anion atau kurangi kation



$\neq$



muatan + : 3  muatan - : 2 

Total muatan +1: belum netral

Muatan total
+1

Rumus
—

Nama
—

Misi
—

Pilih kation dan anion, lalu ketuk kolom kiri atau kanan (atau tombol **+**) sampai muatan total nol. Rumus dan nama tertulis otomatis, lengkap dengan kurung untuk ion poliatom. Coba aluminium + sulfat dan amonium + fosfat. Bagaimana bila kamu membuat Mg_2O_2 ? Nyalakan **Mode misi** untuk menyusun senyawa dari namanya.



AWAS JEBAKAN

Tanda kurung hanya untuk ion poliatom yang jumlahnya lebih dari satu. CaOH_2 berarti satu atom O dan dua atom H, padahal maksudnya dua ion OH^- : yang benar $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Sebaliknya, NaOH tidak perlu ditulis $\text{Na}(\text{OH})$. Jangan pula mengubah rumus ion poliatom: sulfat selalu SO_4^{2-} , jadi aluminium sulfat ditulis $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, bukan $\text{Al}_2\text{S}_3\text{O}_{12}$.

Pupuk ZA (dari bahasa Belanda *zwavelzure ammoniak*) adalah amonium sulfat. Tuliskan rumusnya, lalu hitung jumlah setiap jenis atom dan jumlah ion dalam satu satuan rumus.

- 1 Ion-ionnya: amonium NH_4^+ (+1) dan sulfat SO_4^{2-} (-2).
- 2 Supaya netral, setiap ion sulfat butuh dua ion amonium: $2(+1) + (-2) = 0$.
- 3 Amonium adalah ion poliatom dan muncul dua kali, jadi diberi kurung: $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$.
- 4 Hitung atom: N = 2, H = $2 \times 4 = 8$, S = 1, O = 4, total 15 atom dalam 3 ion.

$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$: 2 N, 8 H, 1 S, dan 4 O. Satu karung ZA menyumbang dua unsur hara sekaligus bagi padi: nitrogen dan belerang.

(a) Tuliskan rumus kalsium fosfat. (b) Mineral tulang dan email gigi sebenarnya adalah hidroksiapatit, yang tersusun atas 5 ion Ca^{2+} , 3 ion PO_4^{3-} , dan 1 ion OH^- . Tuliskan rumusnya dan buktikan bahwa senyawa itu netral.

- 1 (a) Ca^{2+} dan PO_4^{3-} : silang muatan memberi 3 Ca dan 2 PO_4 . Cek: $3(+2) + 2(-3) = 0$.
- 2 Fosfat muncul dua kali, jadi rumusnya $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$.
- 3 (b) Tulis kation dulu, lalu anion: $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$.
- 4 Cek muatan: $5(+2) + 3(-3) + 1(-1) = 10 - 9 - 1 = 0 \checkmark$.

(a) $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$; (b) $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$, netral. Fluorida dalam pasta gigi menggantikan sebagian ion OH^- dengan F^- (muatannya sama!) sehingga terbentuk fluorapatit, $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$, yang lebih tahan asam dari sisa makanan manis.

Latihan kilat 60 detik dengan soal acak dan rekor pribadi.

Jumlah kation = b, jumlah anion = a, lalu sederhanakan. Contoh: Al^{3+} dan $\text{O}^{2-} \rightarrow \text{Al}_2\text{O}_3 \rightarrow 5$ ion.

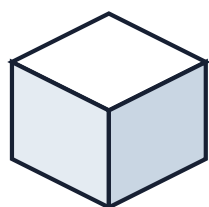


KIMIA NUSANTARA • KAPUR SIRIH, TAWAS, DAN GIPS

Kapur sirih, $\text{Ca}(\text{OH})_2$, dibuat dari cangkang kerang atau batu kapur yang dibakar menjadi kapur tohor (CaO), lalu disiram air. Rendaman air kapur sirih membuat keripik dan manisan pepaya lebih renyah karena ion Ca^{2+} "mengikat" pektin di dinding sel buah. **Tawas**, $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12 \text{H}_2\text{O}$, dipakai menjernihkan air sumur dan sebagai deodoran tradisional. **Gips**, $\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$, dipakai untuk plafon rumah dan pembalut patah tulang. Cek: $(+1) + (+3) + 2(-2) = 0$ ✓.

10.4 Kisi kristal raksasa: tidak ada "molekul" NaCl

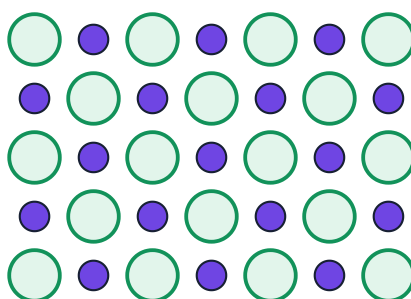
Ambil sejumput garam dan amati dengan kaca pembesar atau kamera HP yang diperbesar. Butirnya berbentuk **kubus** kecil dengan permukaan rata dan sudut siku! Bentuk itu adalah petunjuk tentang susunan ion di dalamnya.



makroskopik

butir garam berbentuk kubus

perbesar
 $\pm 10^7 \times$



submikroskopik

Na^+ (kecil) dan Cl^- (besar) selang-seling

hitung
ion

NaCl

$\text{Na}^+ : \text{Cl}^- = 1 : 1$

simbolik

satuan rumus

Garam dapur pada tiga tingkat: yang kita lihat (butir kubus), yang tak terlihat (ion-ion tersusun selang-seling), dan yang kita tulis (NaCl , perbandingan ion 1 : 1).

Di dalam sebutir garam, ion Na^+ dan Cl^- tidak berpasang-pasangan. Mereka tersusun selang-seling ke tiga arah (depan-belakang, kiri-kanan, atas-bawah), membentuk **kisi kristal raksasa**. Setiap ion ditarik oleh **semua** tetangga yang bermuatan lawan, bukan hanya oleh satu "pasangan".

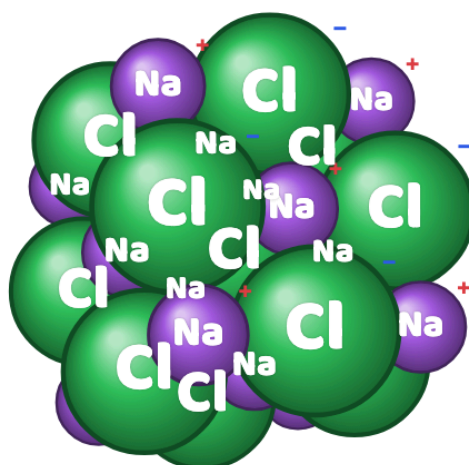


DEFINISI • KISI ION DAN BILANGAN KOORDINASI

Kisi ion adalah susunan teratur dan berulang dari ion positif dan ion negatif dalam tiga dimensi.

Bilangan koordinasi adalah jumlah ion lawan terdekat yang mengelilingi sebuah ion. Dalam NaCl bilangan koordinasinya 6 : 6, yaitu setiap Na^+ dikelilingi 6 ion Cl^- dan setiap Cl^- dikelilingi 6 ion Na^+ , membentuk oktahedron.

MOLEKUL 3D Kisi raksasa NaCl: hitung tetangganya!



Seret untuk memutar • ketuk atom untuk mengukur

Kisi natrium klorida (NaCl) NaCl

Setiap ion Na^+ dikelilingi 6 ion Cl^- dan sebaliknya (bilangan koordinasi 6). Tidak ada "molekul" NaCl, yang ada kisi raksasa.

Model **isi ruang** menunjukkan ion-ion yang menempel rapat. Ganti ke **bola-tongkat**: garis putus-putus hanya menandai tetangga terdekat, bukan "pasangan". Hitung ion Na^+ di sekeliling Cl^- yang di tengah, dan ketuk dua ion bertetangga untuk mengukur jaraknya (± 282 pm). Lalu pilih CsCl: berapa tetangga Cs^+ ?

Bahasa sederhana • Bayangkan papan catur yang ditumpuk bertingkat-tingkat. Kotak hitam adalah Na^+ dan kotak putih adalah Cl^- . Setiap kotak hitam selalu bertetangga dengan kotak putih di depan, belakang, kiri, kanan, atas, dan bawahnya. Itulah 6 tetangga!



AWAS JEBAKAN

Tidak ada molekul NaCl di dalam kristal garam. Rumus NaCl hanya menyatakan **satuan rumus**: perbandingan ion $\text{Na}^+ : \text{Cl}^- = 1 : 1$ di seluruh kisi. Karena itu, untuk senyawa ion kita memakai istilah "massa rumus relatif" dan "satuan rumus", bukan "molekul". Pasangan NaCl yang terpisah hanya ada dalam uap garam pada suhu sangat tinggi.



TAMU DARI MASA LALU

Pada 1913, ayah dan anak **William Henry Bragg** dan **William Lawrence Bragg** menembakkan sinar-X ke kristal garam. Pola pantulannya menunjukkan ion natrium dan klorida tersusun selang-seling dalam kubus, tanpa pasangan NaCl yang terpisah. Sebagian kimiawan saat itu sulit menerima bahwa "molekul garam" tidak ada! Keduanya meraih Nobel Fisika 1915, dan Lawrence yang baru berusia 25 tahun menjadi peraih Nobel Fisika termuda sepanjang sejarah.



KIMIA NUSANTARA · GARAM MADURA DAN GARAM BERYODIUM

Air laut mengandung $\pm 3,5\%$ garam terlarut, sebagian besar NaCl. Petani garam di Madura mengalirkan air laut ke petak-petak tambak dan membiarkan matahari serta angin menguapkan airnya. Saat larutan lewat jenuh, ion Na^+ dan Cl^- menyusun diri menjadi kristal kubus. Garam krosok terasa sedikit pahit karena ikut membawa ion Mg^{2+} . Untuk mencegah gondok, garam konsumsi wajib ditambah kalium iodat, KIO_3 , yang mengandung ion poliatom IO_3^- .



LANJUT · IB & OLIMPIADE

SEL SATUAN DAN RASIO JARI-JARI

Pola kisi NaCl dapat diringkas dalam satu kubus kecil yang berulang, disebut **sel satuan**. Ion di sudut kubus dipakai bersama 8 sel, ion di sisi 2 sel, ion di rusuk 4 sel, dan ion di pusat milik 1 sel saja. Untuk sel satuan NaCl (rusuk ± 564 pm):

- Cl^- : $8 \text{ sudut} \times \frac{1}{8} + 6 \text{ sisi} \times \frac{1}{2} = 4 \text{ ion}$;
- Na^+ : $12 \text{ rusuk} \times \frac{1}{4} + 1 \text{ pusat} \times 1 = 4 \text{ ion}$.

Jadi satu sel satuan berisi 4 satuan rumus NaCl. Mengapa NaCl memilih koordinasi 6 sedangkan CsCl koordinasi 8? Bandingkan **rasio jari-jari** r_+/r_- . Semakin besar kation, semakin banyak anion yang muat di sekelilingnya. Kira-kira: rasio 0,225–0,414 memberi koordinasi 4 ($\text{ZnS} \approx 0,40$), 0,414–0,732 koordinasi 6 (NaCl : $102/181 \approx 0,56$), dan di atas 0,732 koordinasi 8 (CsCl : $174/181 \approx 0,96$).

10.5 Sifat-sifat senyawa ion

Kisi raksasa yang dipegang gaya tarik kuat ke segala arah menjelaskan hampir semua sifat senyawa ion.

1. Titik leleh tinggi

Untuk melelehkan kristal ion, ion-ion harus dilepaskan dari kedudukannya di kisi. Karena setiap ion ditarik oleh banyak tetangga, energi yang diperlukan sangat besar.

Zat	Jenis partikel	Muatan ion	Titik leleh ($^{\circ}\text{C}$)
NaF	ion	+1 dan -1	993
NaCl (garam dapur)	ion	+1 dan -1	801

KCl	ion	+1 dan -1	770
CaO (kapur tohor)	ion	+2 dan -2	±2.600
MgO	ion	+2 dan -2	2.852
Gula pasir (sukrosa)	molekul	-	±186 (lalu terurai)
Es (air)	molekul	-	0

Perhatikan dua pola. Makin besar ion (dari NaF ke KCl), makin jauh jarak antarinti dan makin rendah titik lelehnya. Makin besar muatan (dari NaF ke MgO, yang ukuran ionnya mirip), titik lelehnya melonjak hampir tiga kali lipat. Keduanya diatur oleh **hukum Coulomb**: gaya tarik sebanding dengan hasil kali muatan dan berbanding terbalik dengan kuadrat jarak.

RUMUS HIDUP Gaya tarik antarion (hukum Coulomb)

$$\frac{F}{F_{\text{NaCl}}} = \frac{q_+ q_-}{1 \times 1} \left(\frac{282 \text{ pm}}{r} \right)^2$$

Muatan dua kali lebih besar, tarikan dua kali lebih kuat. Jarak dua kali lebih jauh, tarikan tinggal seperempat.

q_+ Muatan kation

q_- Besar muatan anion

r Jarak antarinti ion pm

F_{rel} Gaya tarik relatif (NaCl = 1) × NaCl

GAYA TARIK RELATIF (NaCl = 1)

7,21

× NaCl

🔥 ini MgO (titik leleh 2.852 °C)

tarikan sangat kuat → titik leleh sangat tinggi

Ion bermuatan +2 dan -2 pada jarak 210 pm saling tarik **7,21** kali lebih kuat daripada ion Na⁺ dan Cl⁻ di garam dapur.

RUMUS HIDUP: GESER NILAINYA DAN KUMPULKAN KARTUNYA DI AURUMGEN.MY.ID/CHEMIPEDIA#RM-GAYA-COULOMB

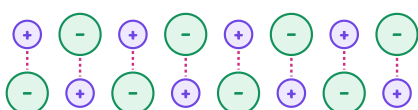
▼ Mengapa MgO jauh lebih sulit meleleh daripada NaF?

Keempat ion Na^+ , Mg^{2+} , F^- , dan O^{2-} isoelektronik dengan neon, dan jarak antarintinya mirip ($\text{NaF} \pm 231 \text{ pm}$, $\text{MgO} \pm 210 \text{ pm}$). Bedanya pada hasil kali muatan: 4 untuk MgO, 1 untuk NaF. Tarikan dalam MgO jauh lebih kuat, sehingga titik leleh MgO (2.852°C) hampir tiga kali NaF (993°C).



2. Keras tetapi getas

Kristal garam cukup keras, tetapi bila dipukul ulekan ia pecah berkeping-keping, tidak penyok seperti paku. Lihat lapisan ionnya.



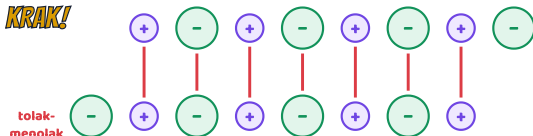
Langkah 1. Dalam kristal ion, lapisan-lapisan ion tersusun selang-seling. Setiap ion positif bertetangga dengan ion negatif, sehingga lapisan-lapisannya saling tarik.

pukulan



Langkah 2. Kristal dipukul. Lapisan atas bergeser sejauh satu ion.

KRAK!



Langkah 3. Sekarang ion bermuatan sama saling berhadapan: + dengan +, - dengan -. Mereka saling tolak dan kristal retak. Itulah sebabnya garam getas dan tidak bisa ditempa seperti logam.

3. Menghantarkan listrik hanya bila meleleh atau larut



Tebak Dulu!

Dua kabel dari baterai dan lampu LED ditancapkan ke segunduk kristal garam kering. Apakah LED menyala?

Ya, terang, karena garam tersusun dari ion-ion bermuatan.

Ya, tetapi redup, karena kristal garam keras.

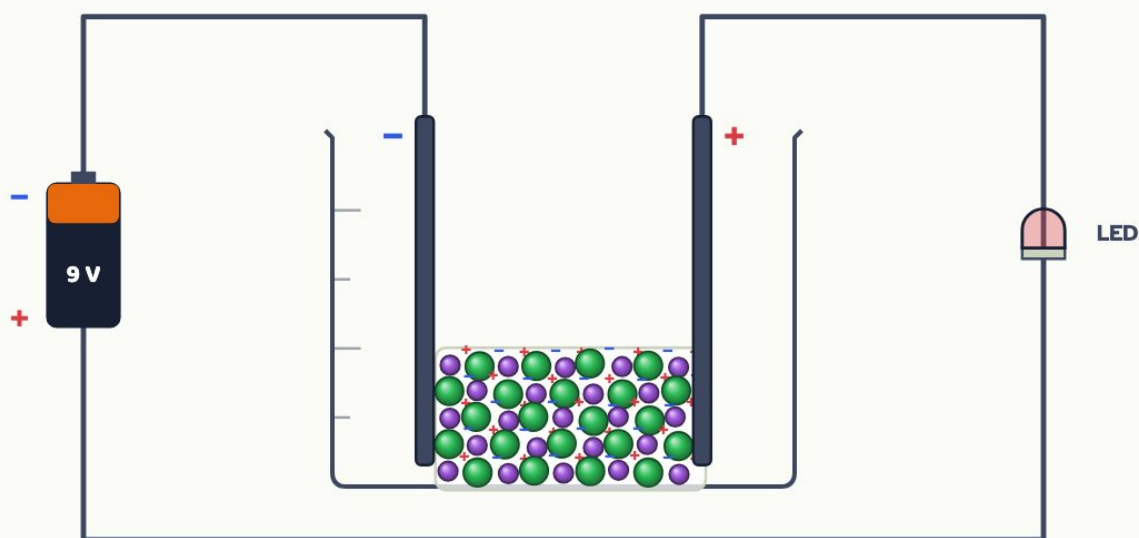
Tidak, karena garam sama sekali tidak mengandung partikel bermuatan.

Tidak, karena ion-ion dalam kristal terkunci di tempatnya dan tidak dapat bergerak.

Jawabannya: tidak menyala, karena ionnya tidak bisa bergerak. Arus listrik adalah aliran muatan. Garam memang penuh muatan, tetapi di dalam kristal setiap ion terkunci di kedudukannya. Begitu garam dilelehkan ($801\text{ }^{\circ}\text{C}$) atau dilarutkan dalam air, kisinya runtuh, ion-ion bebas bergerak, dan LED pun menyala.

Saat garam larut, molekul air yang polar mengerumuni setiap ion dan menariknya keluar dari kisi. Ion-ion yang terbungkus air (**ion terhidrasi**) bebas berkeliaran. Bila dua elektrode dicelupkan, kation bergerak ke elektrode negatif dan anion ke elektrode positif: muatan mengalir! Zat yang larutan atau lelehannya menghantarkan listrik disebut **elektrolit**. Humphry Davy memanfaatkan sifat ini pada 1807: ia mengalirkan listrik ke dalam soda kaustik leleh dan untuk pertama kalinya memperoleh logam natrium murni.

Kristal garam (NaCl padat)



Ion terkunci di kisi: tidak ada muatan yang dapat mengalir.

Lampu LED
padam

Ion yang bebas bergerak
tidak ada (ion terkunci di kisi)

Jenis zat

padatan ion: bukan penghantar

Pilih zat dan tutup sakelar. Di kabel yang bergerak adalah elektron, di dalam cairan yang bergerak adalah ion. Mengapa kristal garam gagal, tetapi garam leleh dan air garam berhasil? Mengapa air gula gagal walaupun gula larut? Di dunia nyata, uji seperti ini hanya boleh memakai baterai 9 V, bukan listrik rumah.

**KESELAMATAN**

Jangan pernah menguji daya hantar dengan listrik PLN atau stopkontak: tegangan 220 V dapat mematikan, apalagi melalui air. Pakai baterai 9 V dan LED saja. Garam leleh (801 °C) cukup dilihat di simulasi, jangan dicoba di rumah. Saat menguji air garam, gelembung di elektrode positif bisa mengandung sedikit gas klorin, jadi nyalakan rangkaian sebentar saja (± 10 detik) di ruangan berventilasi.

4. Banyak yang larut dalam air, tidak larut dalam minyak

Garam, tawas, dan pupuk ZA mudah larut dalam air tetapi tidak larut dalam minyak goreng atau minyak tanah. Air polar mampu "membungkus" ion, sedangkan minyak tidak. Meski begitu, tidak semua senyawa ion larut: batu kapur (CaCO_3) dan perak klorida (AgCl) praktis tidak larut, karena tarikan di kisinya lebih kuat daripada tarikan air. Kelarutan dibahas lebih dalam di Bab 28.

MITOS

"Kristal garam menghantarkan listrik karena tersusun dari ion."

MITOS

"Di dalam garam dapur ada molekul-molekul NaCl."

FAKTA

Ion dalam kristal terkunci di tempatnya, padahal arus listrik butuh muatan yang bisa bergerak. Garam baru menghantar setelah dilelehkan atau dilarutkan dalam air.

FAKTA

Kristal garam adalah kisi raksasa ion Na^+ dan Cl^- dengan perbandingan 1 : 1. NaCl adalah satuan rumus, bukan rumus molekul.

MITOS

"Air murni adalah penghantar listrik yang baik."

FAKTA

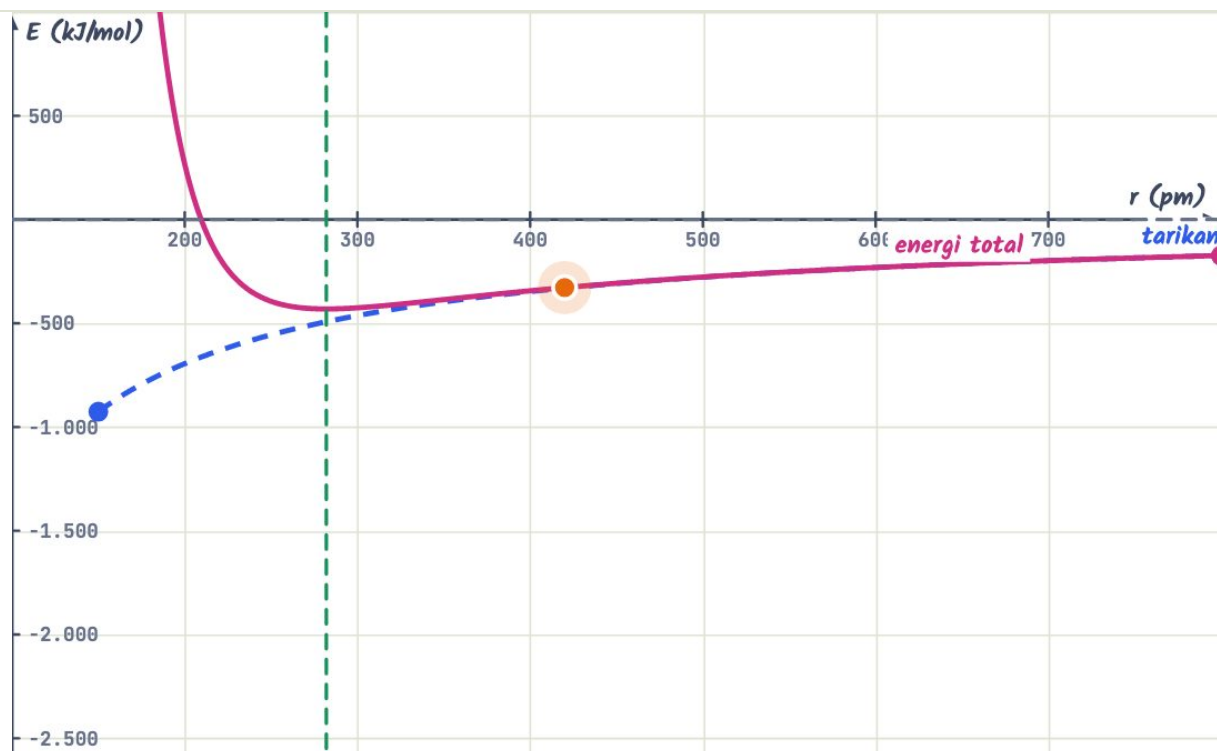
Air murni hampir tanpa ion, jadi penghantarnya sangat buruk. Air keran dan keringat menghantar karena berisi ion terlarut. Itu sebabnya tangan basah tetap berbahaya di dekat listrik.

10.6 Lanjut: energi kisi, siklus Born–Haber, dan aturan Fajans

Mengapa ion-ion berhenti mendekat pada jarak tertentu? Karena ada dua gaya yang bertarung. Tarikan Coulomb menarik ion berlawanan muatan, tetapi bila terlalu dekat, awan elektron kedua ion mulai saling tolak dengan sangat kuat. Energi total paling rendah pada jarak setimbang r_0 , seperti bola yang menggelinding ke dasar sumur.

$$E(r) = -\frac{138\,935\, z_+ z_-}{r} \left[1 - \frac{1}{8} \left(\frac{r_0}{r} \right)^7 \right]$$

$$z_+ z_- = 1, \, r = 420 \, \text{pm} \Rightarrow E = -328,25 \, \text{kJ/mol}$$



E pada jarak r

-328 kJ/molE terendah (di r_0)**-431 kJ/mol**

Seret titik oranye ke kiri dan kanan. Di mana energinya paling rendah? Lalu ubah muatan menjadi 2 dan 2 (seperti MgO) dan perkecil r_0 : sumurnya menjadi jauh lebih dalam. Garis biru putus-putus adalah tarikan Coulomb saja; selisihnya dengan garis magenta adalah tolakan jarak dekat.

Kedalaman "sumur" untuk satu mol senyawa padat, dengan menghitung semua tetangga di kisi, disebut **energi kisi**.



DEFINISI • ENERGI KISI

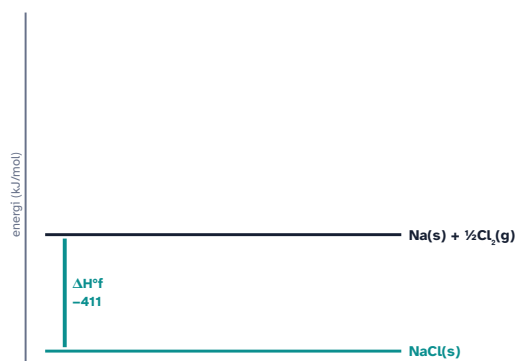
Energi kisi (U) adalah perubahan entalpi ketika 1 mol senyawa ion padat terbentuk dari ion-ion gasnya yang terpisah jauh, misalnya $\text{Na}^+(\text{g}) + \text{Cl}^-(\text{g}) \rightarrow \text{NaCl}(\text{s})$, $U = -787 \, \text{kJ/mol}$. Makin besar nilainya (makin negatif), makin kuat kisinya.



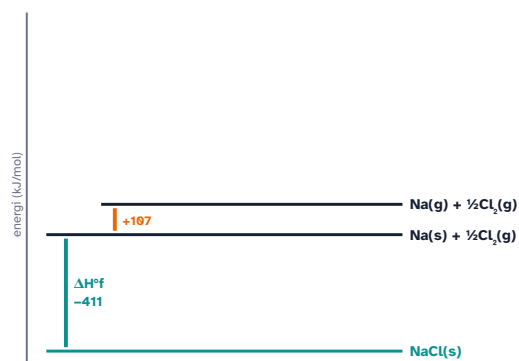
AWAS JEBAKAN

Perhatikan arah definisinya. Sebagian buku (termasuk buku data IB) mendefinisikan entalpi kisi sebagai energi untuk **memecah** kisi menjadi ion gas, sehingga nilainya positif: $+787 \text{ kJ/mol}$ untuk NaCl. Buku lain memakai arah **pembentukan**, sehingga nilainya negatif: -787 kJ/mol . Besarnya sama, tandanya berlawanan. Selalu tulis persamaan reaksinya agar tidak keliru.

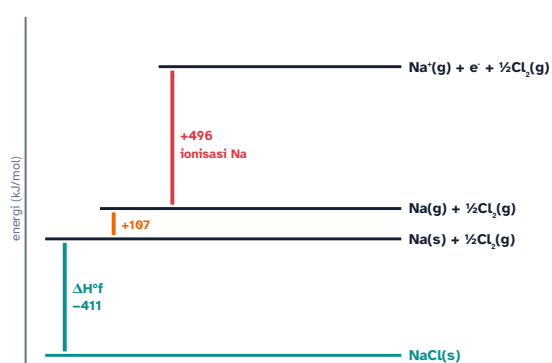
Energi kisi tidak bisa diukur langsung. Namun, **hukum Hess** (Bab 19) menyelamatkan kita: perubahan entalpi total tidak bergantung pada jalan yang ditempuh. Jalan memutar dari unsur ke ion-ion gas lalu ke kristal disebut **siklus Born-Haber**.



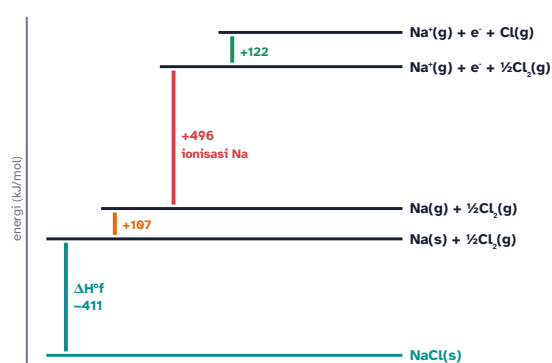
Langkah 1. Kita mencari energi kisi NaCl. Yang mudah diukur adalah entalpi pembentukan dari unsur-unsurnya: $\Delta H_f^\circ = -411 \text{ kJ/mol}$.



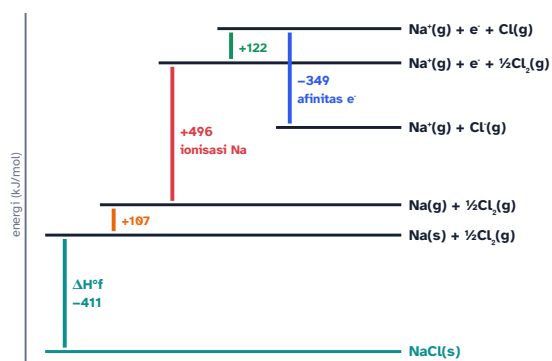
Langkah 2. Langkah 1 · Atomisasi natrium: $\text{Na(s)} \rightarrow \text{Na(g)}$, $+107 \text{ kJ/mol}$.



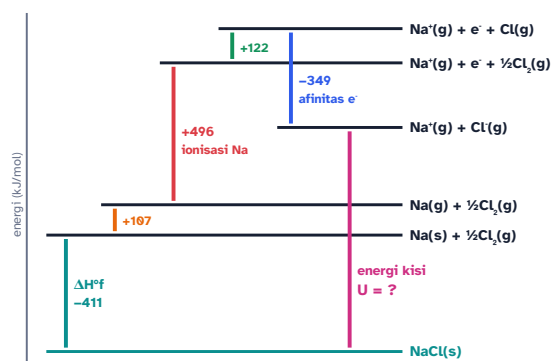
Langkah 3. Langkah 2 · Ionisasi natrium: $\text{Na(g)} \rightarrow \text{Na}^+(\text{g}) + \text{e}^-$, $+496 \text{ kJ/mol}$. Mahal!



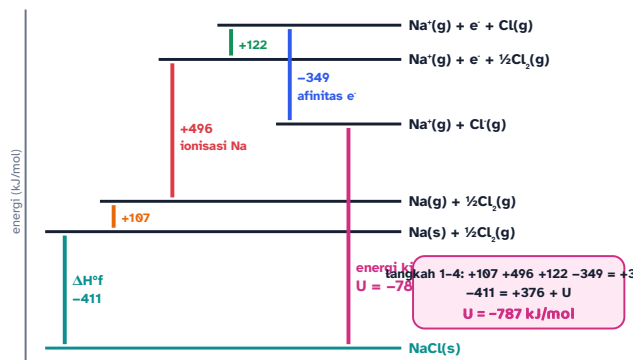
Langkah 4. Langkah 3 · Atomisasi klorin: $\frac{1}{2} \text{Cl}_2(\text{g}) \rightarrow \text{Cl(g)}$, $+122 \text{ kJ/mol}$, yaitu setengah energi ikatan Cl-Cl.



Langkah 5. Langkah 4 · Afinitas elektron klorin: $\text{Cl(g)} + \text{e}^- \rightarrow \text{Cl}^-(\text{g})$, -349 kJ/mol . Sebagian energi kembali, tetapi ion-ion gas masih 376 kJ/mol di atas unsur-unsurnya.



Langkah 6. Langkah 5 · Ion-ion gas bergabung menjadi kisi: $\text{Na}^+(\text{g}) + \text{Cl}^-(\text{g}) \rightarrow \text{NaCl(s)}$. Inilah energi kisi U yang dicari.



Langkah 7. Hukum Hess: jalan memutar sama dengan jalan langsung. $-411 = (107 + 496 + 122 - 349) + U$, jadi $U = -787$ kJ/mol. Energi kisi yang besar inilah yang "membayar" semua langkah mahal tadi.

RUMUS HIDUP Energi kisi dari siklus Born-Haber

$$U = \Delta H_f^\circ - (\Delta H_{at}^M + E_i + \Delta H_{at}^X + E_{ae})$$

Energi kisi sama dengan entalpi pembentukan dikurangi jumlah semua langkah memutar dari unsur menjadi ion-ion gas.

ΔH_f° Entalpi pembentukan senyawa kJ/mol

ΔH_{at}^M Atomisasi logam kJ/mol

E_i Energi ionisasi pertama logam kJ/mol

ΔH_{at}^X Atomisasi nonlogam kJ/mol

E_{ae} Afinitas elektron pertama nonlogam kJ/mol

U Energi kisi (arah pembentukan) kJ/mol

ENERGI KISI (ARAH PEMBENTUKAN)

-787
kJ/mol

NaCl: 787 kJ/mol

Ion-ion gas berada **376** kJ/mol di atas unsur-unsurnya. Saat kisi terbentuk, dilepaskan **787** kJ/mol.

Cek satuan: semua suku dalam kJ/mol ✓

RUMUS HIDUP: GESER NILAINYA DAN KUMPULKAN KARTUNYA DI [AURUMGEN.MY.ID/CHEMIPEDIA#RM-BORN-HABER](https://aurumgen.my.id/chemipedia#rm-born-haber)

Hitung energi kisi KCl dari data berikut (kJ/mol): ΔH_f° KCl = -437 ; atomisasi K = $+89$; energi ionisasi K = $+419$; atomisasi Cl = $+122$; afinitas elektron Cl = -349 . Bandingkan dengan NaCl.

- 1 Jumlah langkah memutar: $89 + 419 + 122 - 349 = +281$ kJ/mol.
- 2 Hukum Hess: $\Delta H_f^\circ = 281 + U$, jadi $U = -437 - 281 = -718$ kJ/mol.
- 3 Bandingkan: NaCl -787 kJ/mol. Ion K^+ (138 pm) lebih besar daripada Na^+ (102 pm), jarak antarinti lebih jauh, tarikan lebih lemah.

U KCl = -718 kJ/mol, sekitar 9% lebih lemah daripada NaCl. Cocok dengan titik leleh KCl (770°C) yang lebih rendah daripada NaCl (801°C).



TAMU DARI MASA LALU

Siklus ini disusun pada 1919 oleh **Max Born** dan **Fritz Haber**, penemu proses pembuatan amonia yang kini menjadi bahan baku pupuk urea di Bontang dan Gresik. Pada tahun yang sama **Kazimierz Fajans** menerbitkan gagasan serupa, lalu pada 1923 merumuskan aturan kapan ikatan ion mulai bersifat kovalen.



MEMPERKIRAKAN ENERGI KISI TANPA SIKLUS: PERSAMAAN KAPUSTINSKII

Bila data siklus Born–Haber tidak lengkap, energi kisi dapat diperkirakan dari model ion bermuatan saja. Persamaan Kapustinskii (1956) hanya membutuhkan jumlah ion per satuan rumus (ν), muatan, dan jumlah jari-jari ion (r , dalam pm).

RUMUS HIDUP Perkiraan energi kisi (Kapustinskii)

$$|U| \approx 1,2025 \times 10^5 \frac{\nu z_+ z_-}{r} \left(1 - \frac{34,5}{r} \right)$$

Makin banyak ion, makin besar muatannya, dan makin pendek jaraknya, makin besar energi kisinya.

 ν Jumlah ion per satuan rumus z_+ Muatan kation z_- Besar muatan anion r Jumlah jari-jari ion $r_+ + r_-$ pm $|U|$ Besar energi kisi (perkiraan) kJ/molBESAR ENERGI KISI
(PERKIRAAN)**746**

kJ/mol

NaCl: perkiraan ± 746 , data Born–Haber 787 (selisih $\pm 5\%$)

Perkiraan **746** kJ/mol, yaitu **0,948** kali energi kisi NaCl dari siklus Born–Haber (787 kJ/mol).

RUMUS HIDUP: GESER NILAINYA DAN KUMPULKAN KARTUNYA DI AURUMGEN.MY.ID/CHEMIPEDIA#RM-KAPUSTINSKII

**ATURAN FAJANS: KETIKA IKATAN ION "BERBAGI" SEDIKIT**

Model ion murni menganggap ion sebagai bola bermuatan yang bulat sempurna. Kenyataannya, kation dapat **mempolarisasi** anion: menarik awan elektron anion ke arahnya sehingga sebagian elektron seolah-olah dipakai bersama. Akibatnya ikatan memperoleh sedikit **karakter kovalen**. Menurut Kazimierz Fajans, karakter kovalen makin besar bila:

1. **kation kecil dan bermuatan besar** (rapat muatannya tinggi), misalnya Al^{3+} , Be^{2+} , Li^{+} ;
2. **anion besar dan bermuatan besar** (mudah dipolarisasi), misalnya I^{-} lebih mudah daripada F^{-} ;
3. kation tidak bersusunan gas mulia, misalnya Ag^{+} dan Cu^{+} (kulit d penuh melindungi inti kurang baik).

Buktinya: aluminium klorida menyublim pada $\pm 180^{\circ}\text{C}$ (NaCl baru meleleh pada 801°C) dan uapnya berupa molekul Al_2Cl_6 . Untuk NaCl , model ion murni hanya meleset beberapa persen dari hasil siklus Born–Haber. Untuk AgCl , siklus Born–Haber memberi $\pm 916\text{ kJ/mol}$, kira-kira 6–10% lebih besar daripada perkiraan model ion; kelebihan itu berasal dari sifat kovalen. Jadi ikatan ion dan ikatan kovalen bukan dua kotak yang terpisah, melainkan dua ujung sebuah **spektrum**. Bab 11 akan memperkenalkan ujung yang satunya.

Kimia di sekitarmu**Garam beryodium**

Garam dapur (NaCl) ditambah sedikit kalium iodat, KIO_3 . Ion iodat memasok iodin untuk kelenjar tiroid dan mencegah gondok.

**Kapur sirih**

Kalsium hidroksida, $\text{Ca}(\text{OH})_2$, dipakai untuk menyirih dan untuk merendam keripik atau manisan supaya renyah berkat ion Ca^{2+} .

**Tawas penjernih air**

Ion Al^{3+} bermuatan besar menetralkan partikel lumpur yang bermuatan negatif sehingga menggumpal dan mengendap. Air sumur yang keruh pun menjadi jernih.

**Gips dan tulang**

Gips ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) membungkus tulang yang patah, sementara tulang kita sendiri dibangun dari kristal ion kalsium fosfat (hidroksiapatit).

**Oralit**

Saat diare, tubuh kehilangan ion Na^{+} , K^{+} , dan Cl^{-} . Oralit menggantinya dalam takaran yang tepat bersama sedikit glukosa.

Cek Cepat

Ion Cl^- ($Z = 17$) mempunyai susunan elektron yang sama dengan ...

atom neon

ion Na^+

atom argon

atom krypton

Rumus senyawa yang terbentuk dari ion Ba^{2+} dan ion NO_3^- adalah ...

$\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$

BaNO_3

Ba_2NO_3

BaN_2O_6

Dalam kisi NaCl , setiap ion Na^+ dikelilingi oleh berapa ion Cl^- terdekat?

1

4

8

6

Kunci Cek Cepat: 1. C • 2. A • 3. D



Tantangan Rumah: kebun kristal garam dan tawas

Bahan: garam dapur (lebih bagus garam krosok), tawas dari warung atau toko bahan kue, air panas dari termos, 2 gelas atau toples kaca bening, sendok, benang katun, 2 pensil atau sedotan, kertas label, kaca pembesar atau kamera HP.

1. Minta orang dewasa menuang ± 150 mL air panas ke gelas pertama. Larutkan garam sedikit demi sedikit sambil diaduk sampai tidak bisa larut lagi (larutan jenuh).
2. Ulangi dengan tawas di gelas kedua.
3. Ikat benang pada pensil, lalu gantung benang ke dalam larutan tanpa menyentuh dasar gelas.
4. Simpan kedua gelas di tempat tenang dan beri label "BAHAN PERCOBAAN, JANGAN DIMINUM".
5. Amati setiap hari selama 3–7 hari. Foto kristal dengan kamera HP yang diperbesar dan bandingkan bentuknya.

Keselamatan: air panas hanya dituang oleh orang dewasa. Tawas tidak boleh dicicipi atau ditelan, dan cuci tangan setelah memegangnya. Jauhkan gelas dari jangkauan adik kecil. Sisa larutan dibuang ke wastafel sambil dibilas banyak air.

Pertanyaan: Kristal garam tumbuh berbentuk kubus, sedangkan kristal tawas berbentuk seperti dua piramida yang ditempel (oktahedron). Mengapa sebesar apa pun kristal garam, bentuknya tetap kubus? Hubungkan dengan susunan ion di subbab 10.4.



RINGKASAN KILAT

Bab 10 dalam 3 menit

✓ Kamu sekarang bisa...

- menjelaskan kestabilan gas mulia dan **aturan oktet**, lalu meramalkan ion yang dibentuk suatu unsur
- menggambarkan pembentukan **ikatan ion** dengan **diagram titik-silang**
- menuliskan **rumus senyawa ion** dari muatan ionnya, termasuk senyawa dengan **ion poliatom**
- menjelaskan **kisi kristal** NaCl dan **sifat-sifat senyawa ion** (titik leleh, kegetasan, daya hantar listrik)
- menghitung **energi kisi** dengan siklus Born–Haber dan menjelaskan karakter kovalen dengan **aturan Fajans**



Istilah kunci

Elektron valensi

Aturan oktet

duplet

ion

Kation

Anion

isoelektronik

Ikatan ion

diagram titik-silang

ion poliatom

kisi kristal raksasa

Kisi ion

Bilangan koordinasi

satuan rumus

sel satuan

hukum Coulomb



Rumus penting

$$x : y = \frac{b}{\text{FPB}} : \frac{a}{\text{FPB}}$$

Silang muatan: berapa kation dan anion?. x kation dan y anion: x sama dengan besar muatan anion, y sama dengan besar muatan kation, lalu keduanya dibagi FPB (faktor persekutuan terbesar) dari a dan b.

$$\frac{F}{F_{\text{NaCl}}} = \frac{q_+ q_-}{1 \times 1} \left(\frac{282 \text{ pm}}{r} \right)^2$$

Gaya tarik antarion (hukum Coulomb). Muatan dua kali lebih besar, tarikan dua kali lebih kuat. Jarak dua kali lebih jauh, tarikan tinggal seperempat.

$$U = \Delta H_f^\circ - (\Delta H_{at}^M + E_i + \Delta H_{at}^X + E_{ae})$$

Energi kisi dari siklus Born-Haber. Energi kisi sama dengan entalpi pembentukan dikurangi jumlah semua langkah memutar dari unsur menjadi ion-ion gas.

$$|U| \approx 1,2025 \times 10^5 \frac{\nu z_+ z_-}{r} \left(1 - \frac{34,5}{r} \right)$$

Perkiraan energi kisi (Kapustinskii). Makin banyak ion, makin besar muatannya, dan makin pendek jaraknya, makin besar energi kisinya.

⚠ Jangan sampai terjebak

- Natrium sebenarnya tidak "senang" melepas elektron: proses itu justru menyerap 496 kJ/mol.
- Tanda kurung hanya untuk ion poliatom yang jumlahnya lebih dari satu.
- Tidak ada molekul NaCl di dalam kristal garam.

📄 Tangga Latihan: 24 soal bab ini (Lv 1 Pemula sampai Lv 6 Olimpiade) ada di PDF Bank Soal dan di aurumgen.my.id/chemipedia#soal?bab=10

🧩 Teka-teki untuk Bab 11

Dua atom klorin sama-sama rakus: masing-masing butuh satu elektron lagi untuk oktet, dan tidak ada yang mau mengalah. Lalu bagaimana keduanya bisa bersatu menjadi molekul Cl₂, gas kuning kehijauan yang dipakai untuk membunuh kuman di instalasi air minum?

▼ Intip petunjuk

Kalau tidak ada yang mau memberi, mereka bisa **berbagi**. Masing-masing menyumbang satu elektron untuk dipakai bersama, sehingga keduanya "merasa" memiliki 8 elektron. Pasangan elektron bersama ini disebut **ikatan kovalen**, tokoh utama Bab 11.

11

BAB 11 · IKATAN & WUJUD ZAT

Ikatan Kovalen: Seni Berbagi Elektron

Dua atom klorin sama-sama rakus elektron, dan tidak ada yang mau mengalah. Jalan keluarnya sederhana sekaligus indah: berbagi. Dari cara berbagi inilah lahir air yang kamu minum, oksigen yang kamu hirup, dan gas di tabung LPG dapurmu.

Setelah bab ini, kamu bisa

- menjelaskan **ikatan kovalen** sebagai pemakaian bersama pasangan elektron dan membedakan ikatan **tunggal, rangkap dua, dan rangkap tiga**;
- menggambar **struktur Lewis** molekul dan ion poliatom langkah demi langkah;
- mengenali **ikatan kovalen koordinasi** dan molekul yang **menyimpang dari aturan oktet**;
- memperkirakan **kepolaran ikatan** dari selisih keelektronegatifan dan memandang ion-kovalen sebagai spektrum;
- menghitung **muatan formal**, menuliskan **struktur resonansi**, dan mengaitkan orde ikatan dengan panjang dan energi ikatan.

SATU PAYUNG BERDUA

KOMIK · 4 PANEL

Pulang sekolah, hujan turun deras

BIMA

Waduh, payungku ketinggalan! Aku lari saja, ah!

LARAS

Jangan, Bim, bukumu bisa basah semua. Payungku muat berdua, kok.

BRESSS!

LARAS

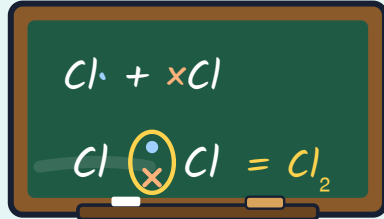
Payungnya tetap satu, tapi kita berdua sama-sama terlindung.

BIMA

Asyik! Tidak ada yang mengalah, tidak ada yang basah!

KAK TIRTA

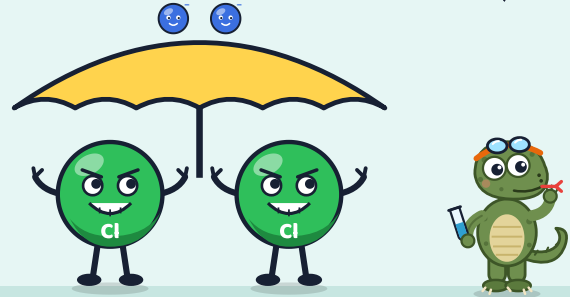
Itulah **ikatan kovalen**! Dua atom klorin sama-sama rakus elektron. Tak ada yang mau melepas, jadi mereka **memakai sepasang elektron berdua**.



Kimo menyimpulkan...

KIMO

Sepasang elektron dipakai berdua = satu ikatan kovalen. Kini tiap Cl "merasa" punya 8 elektron. Dua-duanya menang!



Tebak Dulu!

Dua atom klorin bertemu. Keduanya sama-sama butuh satu elektron lagi supaya kulit terluarnya penuh. Apa yang paling mungkin terjadi?

Atom yang lebih kuat merebut elektron atom lainnya, sehingga terbentuk ion Cl^+ dan Cl^- .

Keduanya memakai sepasang elektron bersama sehingga terbentuk molekul Cl_2 .

Keduanya saling tolak karena sama-sama bermuatan negatif.

Tidak terjadi apa-apa; klorin di alam selalu berupa atom tunggal.

Jawabannya: berbagi. Kedua atom Cl identik, jadi tarikannya terhadap elektron sama kuat: tidak ada yang bisa "menang" merebut. Atom juga netral, bukan bermuatan negatif. Dengan memakai sepasang elektron bersama, masing-masing dikelilingi 8 elektron. Gas klorin yang dipakai untuk membunuh kuman di instalasi pengolahan air minum memang berupa molekul Cl_2 .

11.1 Berbagi pasangan elektron: tunggal, rangkap dua, rangkap tiga

Di Bab 10, natrium yang royal menyerahkan satu elektronnya kepada klorin. Hasilnya ion Na^+ dan Cl^- yang saling tarik. Tetapi bagaimana jika kedua atom sama-sama "rakus"? Atom **nonlogam** seperti **H**, **C**, **N**, **O**, dan **Cl** mempunyai energi ionisasi tinggi. Melepas elektron terlalu mahal bagi mereka. Jalan keluarnya: elektron tidak dipindahkan, melainkan **dipakai bersama**.

Bahasa sederhana • Bayangkan kembali Bima dan Laras di bawah satu payung. Payungnya tidak berpindah tangan, tetapi melindungi keduanya. Atom-atom kecil seperti hidrogen dan oksigen melakukan hal yang sama: mereka menaruh elektron di tengah-tengah dan memakainya berdua. Elektron yang dipakai berdua itulah "lem" yang menyatukan atom menjadi molekul.



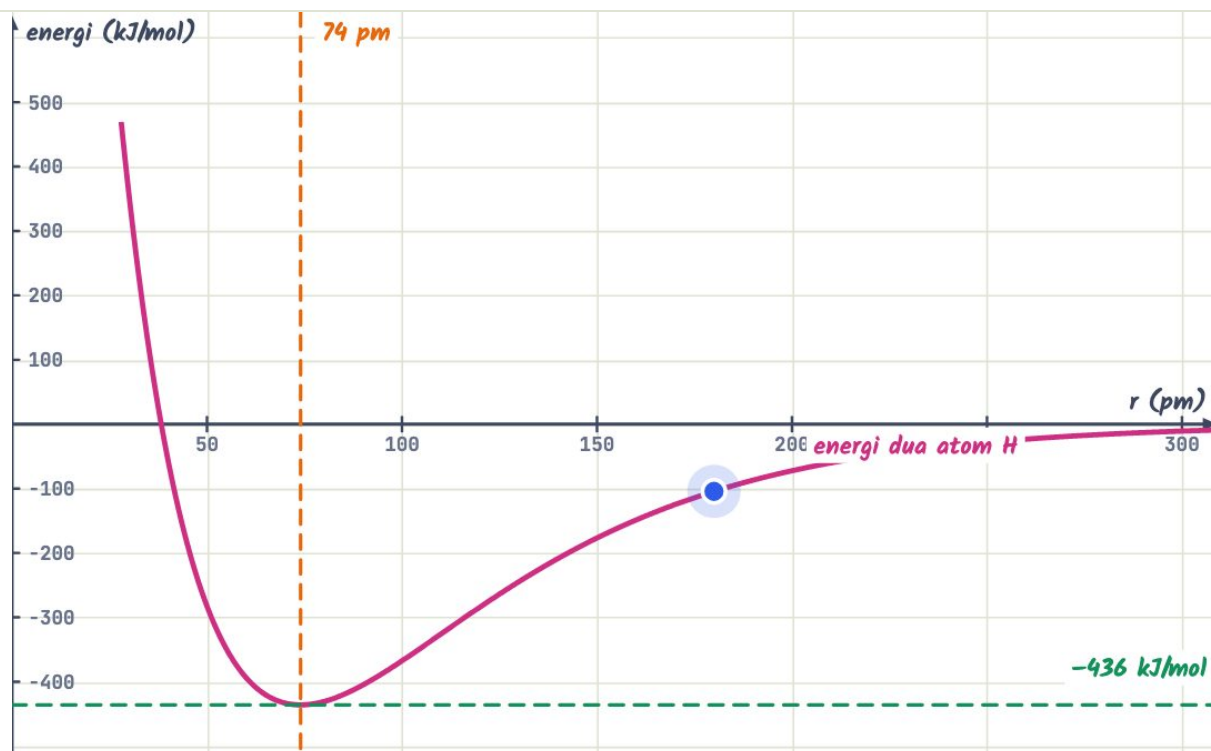
DEFINISI • IKATAN KOVALEN

Ikatan kovalen adalah ikatan yang terbentuk ketika dua atom memakai bersama satu atau lebih pasangan elektron. Pasangan elektron bersama itu berada di antara kedua inti dan ditarik oleh **kedua inti sekaligus**; tarikan elektrostatik inilah yang mengikat atom. Ikatan kovalen umumnya terjadi antara sesama atom nonlogam, dan kumpulan atom yang terikat kovalen disebut **molekul**.

Mengapa dua atom hidrogen mau mendekat, tetapi tidak sampai menempel? Saat jaraknya berkurang, inti setiap atom mulai menarik elektron atom tetangganya, sehingga energi sistem turun. Jika terlalu dekat, kedua inti (yang sama-sama positif) saling tolak dan energi naik lagi. Jarak dengan energi **paling rendah** itulah **panjang ikatan**, dan energi yang dilepaskan saat ikatan terbentuk sama dengan **energi ikatan**. Untuk H_2 : 74 pm dan 436 kJ/mol.

$$E(r) = D \left[\left(1 - e^{-a(r-r_0)} \right)^2 - 1 \right]$$

$$r = 180 \text{ pm} : E = -104,41 \text{ kJ/mol}$$



saling tarik: inti menarik elektron atom tetangga

jarak antarinti

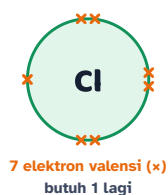
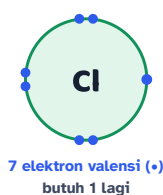
180 pm

energi sistem

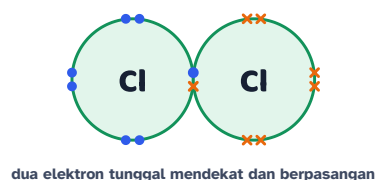
-104 kJ/mol

Seret titik biru dari kanan ke kiri, seolah dua atom H saling mendekat. Di mana energinya paling rendah? Apa yang terjadi jika kamu memaksanya lebih dekat dari 60 pm? (Kurva ini model Morse yang disederhanakan.)

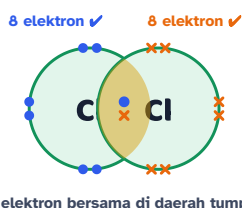
Klorin bekerja dengan cara yang sama, tetapi kita perlu melihat elektron valensinya. Ikuti animasinya langkah demi langkah:



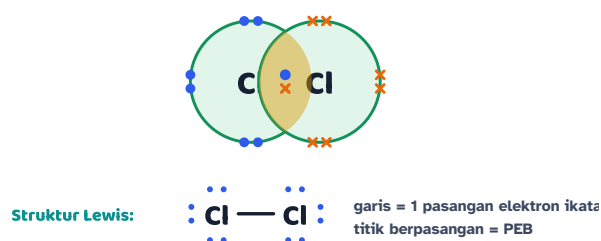
Langkah 1. Dua atom klorin mendekat. Masing-masing punya 7 elektron valensi (• milik Cl kiri, x milik Cl kanan) dan butuh 1 lagi supaya oktet.



Langkah 2. Tidak ada yang mau melepas elektron. Elektron tunggal milik keduanya berpasangan di antara kedua inti.



Langkah 3. Kulit terluar keduanya tumpang tindih: sepasang elektron dipakai berdua. Hitung elektron di lingkaran masing-masing: 8! Kedua Cl kini oktet.



Langkah 4. Ditulis sebagai struktur Lewis: satu garis = satu pasangan elektron ikatan (PEI), titik berpasangan = pasangan elektron bebas (PEB). Cl_2 punya 1 PEI dan 6 PEB.

Diagram dengan titik (•) dan silang (x) seperti di atas disebut **diagram titik-silang**. Titik dan silang hanya penanda asal elektron; di dalam molekul, semua elektron identik.

Oksigen butuh **dua** elektron lagi. Dua atom O memakai bersama dua pasang elektron: **ikatan rangkap dua**, $\text{O}=\text{O}$. Nitrogen butuh tiga, sehingga dua atom N memakai bersama tiga pasang: **ikatan rangkap tiga**, $\text{N}\equiv\text{N}$. Satu pasang saja disebut **ikatan tunggal**, seperti $\text{H}-\text{H}$ dan $\text{Cl}-\text{Cl}$.

Molekul	Struktur	Pasangan bersama	Jenis ikatan	Panjang ikatan	Energi ikatan
Hidrogen, H_2	$\text{H}-\text{H}$	1 (2 elektron)	tunggal	74 pm	436 kJ/mol
Klorin, Cl_2	$\text{Cl}-\text{Cl}$	1 (2 elektron)	tunggal	199 pm	242 kJ/mol
Hidrogen klorida, HCl	$\text{H}-\text{Cl}$	1 (2 elektron)	tunggal	127 pm	431 kJ/mol
Oksigen, O_2	$\text{O}=\text{O}$	2 (4 elektron)	rangkap dua	121 pm	498 kJ/mol
Nitrogen, N_2	$\text{N}\equiv\text{N}$	3 (6 elektron)	rangkap tiga	110 pm	945 kJ/mol

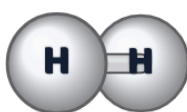


AWAS JEBAKAN

Satu garis ikatan berarti **sepasang (2) elektron**, bukan satu elektron. Ikatan rangkap tiga $\text{N}\equiv\text{N}$ berisi 6 elektron. Jadi saat menghitung elektron dalam struktur Lewis, setiap garis dihitung 2.

MOLEKUL 3D

Tunggal, rangkap dua, rangkap tiga: ukur sendiri!



Seret untuk memutar · ketuk atom untuk mengukur

Hidrogen H_2 $Mr \approx 2,02$

Molekul paling sederhana: dua proton berbagi sepasang elektron.

Pilih molekul, lalu ketuk dua atom yang berikatan untuk mengukur panjang ikatannya. Bandingkan etana, etena, dan etuna: makin banyak pasangan elektron bersama, makin pendek ikatannya. Nyalakan "pasangan elektron bebas" untuk melihat PEB.



TRIK KAK TIRTA · "HONC 1-2-3-4"

Hafalkan jumlah "tangan" (ikatan) yang biasa dibuat atom: **H** 1, **O** 2, **N** 3, **C** 4. Halogen (F, Cl, Br, I) seperti H: 1 tangan. Angka ini sama dengan jumlah elektron yang masih dibutuhkan untuk oktet (atau duplet untuk H): 8 – elektron valensi. Kalau di struktur buatanmu karbon punya 5 tangan atau oksigen 3 tangan, periksa lagi (kecuali ion, lihat 11.3).



KIMIA NUSANTARA • NITROGEN DI BAN, OKSIGEN DI PUSKESMAS

Di banyak bengkel dan SPBU kamu bisa mengisi ban dengan **nitrogen**. Ikatan rangkap tiga $\text{N}\equiv\text{N}$ yang sangat kuat membuat gas ini nyaris tidak bereaksi, dan gas nitrogen kering tidak membawa uap air yang dapat memicu karat pada pelek. Ingat juga bahwa udara biasa sudah berisi 78% nitrogen, jadi bedanya tidak sebesar yang sering diiklankan.

Tabung **oksigen medis** di puskesmas berisi O_2 murni bertekanan tinggi. Ikatan $\text{O}=\text{O}$ lebih mudah "dibuka" daripada $\text{N}\equiv\text{N}$, sehingga oksigen sangat aktif membantu pembakaran. Karena itu petugas melarang merokok di dekat tabung dan menjauhkan regulatornya dari minyak atau gemuk.

11.2 Menggambar struktur Lewis langkah demi langkah

Sebelum menggambar molekul, kita perlu "kartu identitas" setiap atom: berapa elektron valensinya. **Lambang Lewis** (lambang titik elektron) menuliskan lambang unsur yang dikelilingi titik sebanyak elektron valensinya. Untuk unsur golongan utama, jumlahnya mengikuti golongan: golongan 1 dan 2 punya 1 dan 2; golongan 13 sampai 18 punya 3 sampai 8.

golongan	1	2	13	14	15	16	17	18
periode 2	Li • 1 e ⁻	•Be• 2 e ⁻	•B• 3 e ⁻	•C• 4 e ⁻	•N• 5 e ⁻	•O• 6 e ⁻	•F• 7 e ⁻	•Ne• 8 e ⁻
periode 3	Na • 1 e ⁻	•Mg• 2 e ⁻	•Al• 3 e ⁻	•Si• 4 e ⁻	•P• 5 e ⁻	•S• 6 e ⁻	•Cl• 7 e ⁻	•Ar• 8 e ⁻

Lambang Lewis unsur periode 2 dan 3. Unsur dalam satu golongan punya jumlah elektron valensi yang sama, sehingga cenderung membentuk jumlah ikatan yang sama: C dan Si 4, N dan P 3, O dan S 2, F dan Cl 1.

Bahasa sederhana • Struktur Lewis seperti peta tempat duduk elektron. Garis menunjukkan elektron yang "duduk berdua" di antara dua atom (pasangan ikatan), sedangkan pasangan titik menunjukkan elektron yang hanya menjadi milik satu atom (pasangan bebas). Aturan mainnya: semua elektron valensi harus mendapat tempat, dan setiap atom sebisa mungkin "penuh".

Dalam struktur Lewis, sepasang elektron yang dipakai bersama disebut **pasangan elektron ikatan (PEI)** dan digambar sebagai garis. Pasangan yang tidak ikut berikatan disebut **pasangan elektron bebas (PEB)** dan digambar sebagai dua titik.



ATURAN • ENAM LANGKAH MENGGAMBAR STRUKTUR LEWIS

1. **Hitung** total elektron valensi semua atom. Ion negatif: **tambah** elektron sebanyak muatannya; ion positif: **kurangi**.
2. **Pilih atom pusat**: biasanya atom yang jumlahnya paling sedikit dan paling kurang elektronegatif (sering C, N, P, S). H dan F tidak pernah menjadi atom pusat.
3. **Hubungkan** atom pusat dengan setiap atom luar memakai ikatan tunggal (2 elektron per ikatan).
4. **Lengkapi oktet atom luar** dengan PEB (H cukup 2 elektron).
5. **Sisa elektron** diletakkan di atom pusat. Jika atom pusat belum oktet, ubah PEB atom luar menjadi ikatan rangkap.
6. **Periksa**: jumlah elektron sama dengan langkah 1, setiap atom oktet (atau duplet), dan muatan formal sekecil mungkin (11.6).

CO₂ • elektron valensi: $4 + 2 \times 6 = 16$ (8 pasang)

sisa: 16



Langkah 1. Langkah 1 • Hitung. C (golongan 14) punya 4 elektron valensi, setiap O (golongan 16) punya 6. Total $4 + 2 \times 6 = 16$ elektron, yaitu 8 pasang.

CO₂ • elektron valensi: $4 + 2 \times 6 = 16$ (8 pasang)

sisa: 16



Langkah 2. Langkah 2 • Kerangka. Atom pusat adalah C: jumlahnya paling sedikit dan paling kurang elektronegatif. Kedua O di luar.

CO₂ • elektron valensi: $4 + 2 \times 6 = 16$ (8 pasang)

sisa: 12



Langkah 3. Langkah 3 • Ikatan tunggal. Dua ikatan memakai 4 elektron; sisa 12.

CO₂ • elektron valensi: $4 + 2 \times 6 = 16$ (8 pasang)

sisa: 0 ✓



Langkah 4. Langkah 4 • Lengkapi atom luar. Tiap O mendapat 3 PEB (6 elektron). Sisa 0, tetapi C baru dikelilingi 4 elektron!

CO₂ • elektron valensi: $4 + 2 \times 6 = 16$ (8 pasang)

sisa: 0 ✓



Langkah 5. Langkah 5 • Geser PEB. Atom pusat belum oktet, jadi satu PEB dari setiap O digeser menjadi pasangan ikatan (panah).

CO₂ • elektron valensi: $4 + 2 \times 6 = 16$ (8 pasang)

sisa: 0 ✓



O: 8 ✓ • C: 8 ✓ • O: 8 ✓ • 16 elektron ✓
muatan formal: O 0, C 0, O 0

Langkah 6. Langkah 6 • Periksa. Total 16 elektron ✓, semua atom oktet ✓, muatan formal semua nol ✓. Inilah O=C=O.



TAMU DARI MASA LALU

Pada 1916, kimiawan Amerika **Gilbert N. Lewis** mengusulkan gagasan berani: atom dapat terikat dengan *memakai bersama sepasang elektron*. Ia menggambar atom sebagai kubus dengan elektron di sudut-sudutnya, dan dari situ lahirlah titik-titik yang kini kita kenal sebagai struktur Lewis. Tiga tahun kemudian, **Irving Langmuir** memopulerkan istilah *covalence* (kovalen). Lewis berkali-kali dinominasikan untuk Hadiah Nobel, tetapi tidak pernah menerimanya, padahal gagasannya dipakai setiap hari oleh kimiawan di seluruh dunia.



TRIK KAK TIRTA • HITUNG IKATAN DENGAN "N - A"

Sebelum menggambar, tebak dulu jumlah garisnya. **N** = elektron yang *dibutuhkan* supaya semua atom penuh (8 untuk setiap atom selain H, 2 untuk setiap H). **A** = elektron yang *tersedia* (total elektron valensi). Selisihnya harus dipakai berdua, dan setiap ikatan memakai 2 elektron. Trik ini berlaku untuk molekul yang taat oktet.

RUMUS HIDUP

Jumlah ikatan dari kebutuhan dan ketersediaan elektron

$$\text{ikatan} = \frac{N - A}{2}, \quad N = 8n_X + 2n_H$$

Elektron yang dibutuhkan semua atom dikurangi elektron yang tersedia adalah elektron yang harus dipakai berdua; setiap ikatan memakai dua.

 n_X

Jumlah atom selain H atom

 n_H

Jumlah atom H atom

A

Elektron valensi tersedia elektron

ikatan

Jumlah garis ikatan

JUMLAH GARIS IKATAN

4**CO₂: 4 garis, yaitu O=C=O ✓**

Dibutuhkan **24** elektron, tersedia **16**. Jadi **8** elektron dipakai berdua = **4** garis ikatan, dan **8** elektron sisanya menjadi PEB.

Cek satuan: elektron ÷ (2 elektron per ikatan) = ikatan ✓

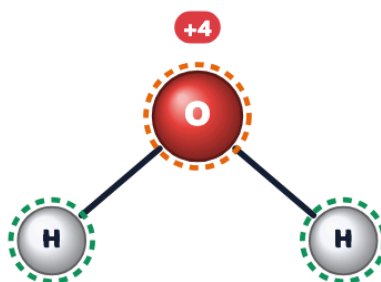
RUMUS HIDUP: GESER NILAINYA DAN KUMPULKAN KARTUNYA DI AURUMGEN.MY.ID/CHEMIPEDIA#RM-KOV-TRIK-IKATAN

Sekarang giliranmu. Di lab berikut, kerangkanya sudah disediakan; tugasmu menempatkan pasangan elektron.

LAB MINI**Penggambar Lewis: tempatkan setiap pasangan elektron**LAB MINI INTERAKTIF · COBA SENDIRI DI AURUMGEN.MY.ID/CHEMIPEDIA#BAB-11**Air · H₂O**elektron valensi: $O\ 6 + H\ 1 \times 2 = 8$

sisa elektron: 4

● ● ●

O: 4 e⁻ ✗ H (x2): 2 e⁻ ✓

Ketuk atom: + PEB · Ketuk garis: tunggal → rangkap dua → rangkap tiga

Status: masih ada 4 elektron belum ditempatkan

Elektron valensi

8

Elektron terpakai

4

 Σ |muatan formal|

4

Status

masih ada 4 elektron belum ditempatkan

Pilih molekul. **Ketuk atom** untuk menambah satu PEB, **ketuk garis ikatan** untuk mengubahnya: tunggal → rangkap dua → rangkap tiga. Cincin hijau = atom sudah penuh, jingga = belum. Perhatikan "sisa elektron" di kanan atas, lalu tekan ✓ **Periksa**. Tantangan: selesaikan CO, O₃, dan NO₃⁻ tanpa melihat jawaban!

CONTOH Struktur Lewis air

Gambarkan struktur Lewis air, H_2O , dan tentukan jumlah PEI dan PEB pada atom O.

- 1 Total elektron valensi: $\text{O} = 6$, $\text{H} = 2 \times 1 = 2$. Total 8 elektron (4 pasang).
- 2 Atom pusat O (H tidak pernah menjadi pusat). Kerangka H–O–H memakai 2 pasang.
- 3 H sudah duplet. Sisa 4 elektron (2 pasang) diletakkan di O sebagai PEB.
- 4 Periksa: O dikelilingi 2 PEI + 2 PEB = 8 elektron ✓; setiap H 2 elektron ✓.

Struktur H–O–H dengan 2 PEI dan 2 PEB pada O. Kedua PEB inilah yang kelak membuat molekul air bengkok (Bab 12).

KERJAKAN BERSAMA Formalin: struktur Lewis formaldehida

Formalin, larutan formaldehida (CH_2O), dilarang dipakai untuk mengawetkan tahu atau ikan karena beracun. Gambarkan struktur Lewis formaldehida. (C golongan 14, O golongan 16)

- 1 Elektron valensi: $\text{C } 4 + \text{H } 2 \times 1 + \text{O } 6 = 12$ elektron (6 pasang).
- 2 Atom pusat C; H dan O terikat pada C. Tiga ikatan tunggal memakai 6 elektron, sisa 6.
- 3 Lengkapi O dengan 3 PEB (6 elektron). Sisa 0, tetapi C hanya dikelilingi 6 elektron.
- 4 Geser satu PEB dari O menjadi ikatan $\text{C}=\text{O}$. Sekarang C 8 ✓, O 8 ✓ (2 PEI + 2 PEB), H 2 ✓.
- 5 Cek dengan trik $N - A$: $N = 8(2) + 2(2) = 20$, $A = 12$, ikatan = $(20 - 12)/2 = 4$ garis ✓ (dua C–H dan satu $\text{C}=\text{O}$).

Formaldehida punya satu ikatan rangkap dua $\text{C}=\text{O}$ dan dua PEB pada O. Gugus $\text{C}=\text{O}$ yang reaktif inilah yang membuat formaldehida mengikat silang protein, sehingga berbahaya bila tertelan.



AWAS JEBAKAN

Hydrogen tidak pernah menjadi atom pusat dan tidak pernah punya PEB, sebab kulitnya sudah penuh dengan 2 elektron (duplet). Untuk ion, jangan lupa muatannya: OH^- punya $6 + 1 + 1 = 8$ elektron, sedangkan NH_4^+ punya $5 + 4 - 1 = 8$ elektron.

11.3 Ikatan kovalen koordinasi: satu pihak yang membawa payung

Pada ikatan kovalen biasa, setiap atom menyumbang satu elektron ke pasangan bersama. Tetapi ada kalanya **kedua** elektron berasal dari satu atom saja, seperti satu orang yang membawa payung lalu mengajak temannya berteduh. Atom penyumbang harus punya PEB, sedangkan atom penerima harus punya "tempat kosong".

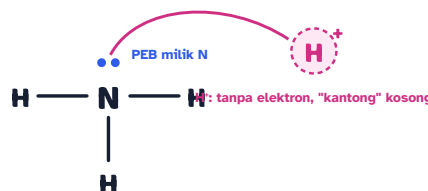


DEFINISI · IKATAN KOVALEN KOORDINASI

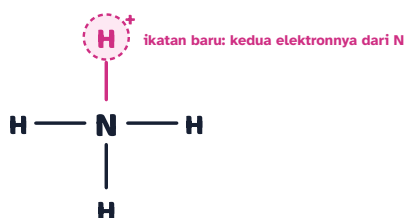
Ikatan kovalen koordinasi (ikatan datif) adalah ikatan kovalen yang pasangan elektron bersamanya berasal dari **satu atom saja** (donor). Atom lain (akseptor) menerima pasangan itu ke orbital yang kosong. Kadang ditulis dengan panah dari donor ke akseptor, misalnya $\text{H}_3\text{N} \longrightarrow \text{H}^+$.



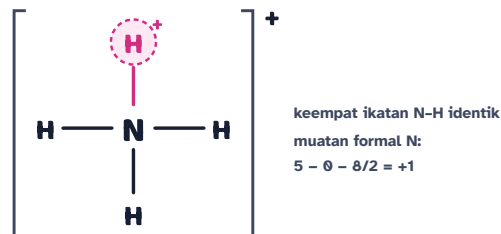
Langkah 1. Amonia, NH_3 , punya satu PEB pada atom N. Ion H^+ hanyalah proton telanjang: tidak punya elektron sama sekali.



Langkah 2. PEB milik N "menyambar" proton. Panah lengkung menunjukkan ke mana pasangan elektron bergerak.

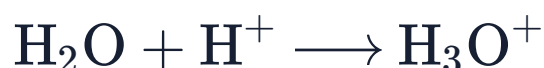
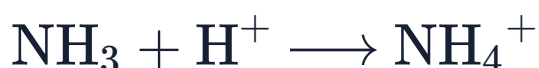


Langkah 3. Terbentuk ikatan N-H baru yang **kedua elektronnya berasal dari N**: inilah ikatan kovalen koordinasi.

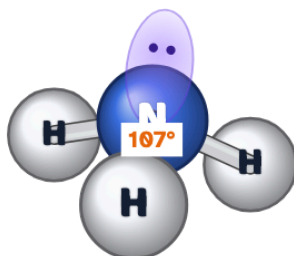


Langkah 4. Hasilnya ion amonium, NH_4^+ . Setelah terbentuk, keempat ikatan N-H sama persis. Muatan +1 milik seluruh ion; secara formal ditempatkan pada N.

Dengan cara yang sama, molekul air menangkap H^+ menjadi **ion hidronium**, H_3O^+ . Ion inilah yang sebenarnya beredar di setiap larutan asam (Bab 26):



Contoh yang lebih mengejutkan adalah **karbon monoksida**, CO . Dua pasang elektron dipakai bersama dengan cara biasa, sedangkan pasangan ketiga disumbangkan O kepada C. Hasilnya ikatan rangkap tiga $\text{C}\equiv\text{O}$ yang sangat kuat (1.072 kJ/mol). Boron trifluorida, BF_3 , yang boronnya "kekurangan" elektron, juga gemar menerima PEB dari amonia: $\text{F}_3\text{B} \longleftarrow \text{NH}_3$.



Seret untuk memutar · ketuk atom untuk mengukur

Amonia (VSEPR) NH_3

$M_r \approx 17,03$

AX3E · piramida trigonal

Satu pasangan elektron bebas menekan ketiga ikatan N–H sehingga sudutnya mengecil menjadi $\pm 107^\circ$.

Bandingkan NH_3 dengan NH_4^+ , lalu H_2O dengan H_3O^+ . PEB mana yang "hilang"? Ukur keempat ikatan N–H pada NH_4^+ : adakah yang berbeda?



AWAS JEBAKAN

Setelah terbentuk, ikatan kovalen koordinasi tidak bisa dibedakan dari ikatan kovalen biasa. Keempat ikatan N–H pada NH_4^+ sama panjang dan sama kuat; istilah "koordinasi" hanya bercerita tentang *asal-usul* elektronnya, bukan jenis ikatan yang berbeda.



KIMIA NUSANTARA · AMONIUM DI SAWAH

Pupuk ZA (amonium sulfat, $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$) yang dibuat di pabrik pupuk Gresik mengandung ion NH_4^+ . Pupuk urea pun di tanah sawah diubah enzim urease menjadi amonia, $\text{CO}(\text{NH}_2)_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{NH}_3 + \text{CO}_2$, lalu amonia di tanah yang lembap menangkap H^+ menjadi ion amonium yang diserap akar padi. Bau pesing di toilet yang jarang disiram? Itu amonia yang belum "menangkap" proton.

11.4 Melanggar oktet dengan gaya



Tebak Dulu!

Belerang heksafluorida, SF_6 , adalah gas yang dipakai sebagai penyekat listrik di gardu induk. Berapa elektron yang mengelilingi atom S di dalam molekul ini?

8, karena setiap atom dalam molekul stabil harus oktet.

6, sama dengan elektron valensi S.

12, karena S membentuk enam ikatan tunggal.

14, karena S juga menyimpan satu PEB.

Jawabannya: 12. Enam ikatan $\text{S-F} \times 2$ elektron = 12 elektron di sekitar S, dan S tidak punya PEB ($6 + 6 \times 7 = 48$ elektron habis untuk 6 ikatan dan 18 PEB di F). Aturan oktet adalah pedoman yang sangat berguna, bukan hukum alam yang mutlak.

Aturan oktet bekerja sangat baik untuk C, N, O, dan F. Namun ada tiga kelompok molekul yang "melanggarnya", dan ketiganya stabil serta nyata.

Jenis penyimpangan	Contoh	Elektron di sekitar atom pusat	Mengapa?
Oktet tak lengkap	BeCl_2 (gas)	4	Be hanya punya 2 elektron valensi
	BF_3 , BCl_3	6	B hanya punya 3 elektron valensi; gemar menerima PEB
Elektron ganjil (radikal)	NO (11 elektron)	7 pada N	jumlah ganjil tidak bisa semuanya berpasangan
	NO_2 (17 elektron)	7 pada N	gas coklat dari asap kendaraan

Oktet diperluas	PCl_5	10	atom pusat periode 3 atau lebih besar sehingga muat lebih dari 4 tetangga
	SF_6	12	
	XeF_4	12 (4 PEI + 2 PEB)	

Mengapa hanya atom periode 3 ke bawah yang bisa "melebihi" oktet? Atom **P**, **S**, dan **Xe** jauh lebih besar daripada N dan O, sehingga ada cukup ruang untuk lima atau enam atom tetangga di sekelilingnya. Atom periode 2 terlalu kecil: tidak pernah ada NCl_5 atau OF_6 . Atom tetangga yang paling sering muncul pada oktet diperluas adalah F, O, dan Cl, yaitu atom kecil yang sangat elektronegatif.

MOLEKUL 3D Galeri pelanggar oktet



Seret untuk memutar · ketuk atom untuk mengukur

Berilium klorida (gas) BeCl_2 Mr $\approx 79,91$ AX2 · linear

Be hanya punya 2 pasangan elektron di sekitarnya (oktet tak lengkap) → linear 180° .

Hitung pasangan elektron di sekitar atom pusat setiap molekul (ikatan + PEB). Mana yang kurang dari 4 pasang, mana yang lebih? Bentuk 3D-nya akan kamu pelajari di Bab 12.

Gambarkan struktur Lewis SF_4 dan tentukan jumlah elektron di sekitar atom S. (S golongan 16, F golongan 17)

- 1 Elektron valensi: $\text{S } 6 + \text{F } 4 \times 7 = 34$ elektron (17 pasang).
- 2 S di pusat, empat ikatan tunggal S–F memakai 4 pasang. Sisa 13 pasang.
- 3 Lengkapi setiap F dengan 3 PEB: $4 \times 3 = 12$ pasang. Sisa 1 pasang.
- 4 Pasangan terakhir diletakkan di atom pusat S sebagai PEB.

S dikelilingi 4 PEI + 1 PEB = 10 elektron (oktet diperluas, sah karena S di periode 3). Semua muatan formal nol.



LANJUT • IB & OLIMPIADE

BENARKAH OKTETNYA "DIPERLUAS"?

Buku lama menjelaskan oktet diperluas dengan orbital 3d kosong yang "ikut dipakai" atom pusat (hibridisasi sp^3d dan sp^3d^2 , Bab 12). Perhitungan kimia kuantum modern menunjukkan bahwa orbital d hampir tidak ikut berikatan. Molekul seperti SF_6 lebih tepat digambarkan sebagai **molekul hipervalen**: sebagian ikatannya bersifat ion (S bermuatan cukup positif, F negatif) dan sebagian memakai ikatan tiga-pusat-empat-elektron, misalnya F–S–F yang berseberangan memakai bersama 4 elektron.

Untuk ujian sekolah, IGCSE, dan IB, cukup ingat: atom periode 3 ke bawah *boleh* dikelilingi lebih dari 8 elektron; atom periode 2 *tidak pernah*.

11.5 Tarik-tambang elektron: kepolaran ikatan

Pada H_2 dan Cl_2 , kedua atom identik sehingga pasangan elektron bersama berada tepat di tengah. Bagaimana dengan HCl ? Inti klorin menarik pasangan elektron lebih kuat daripada inti hidrogen, sehingga pasangan itu **condong ke Cl**, seperti tarik-tambang yang tidak seimbang.

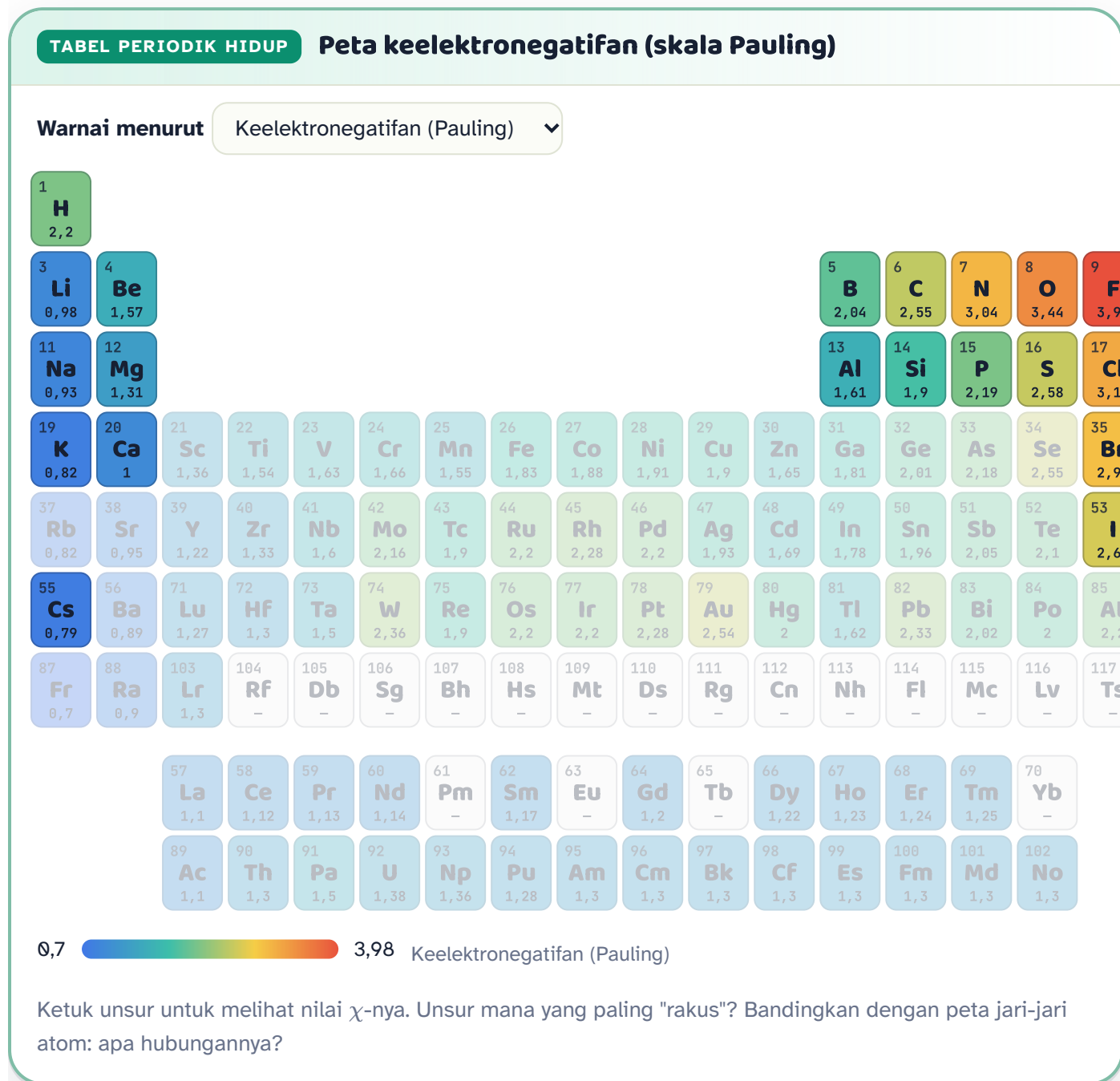


DEFINISI • KEELEKTRONEGATIFAN DAN IKATAN POLAR

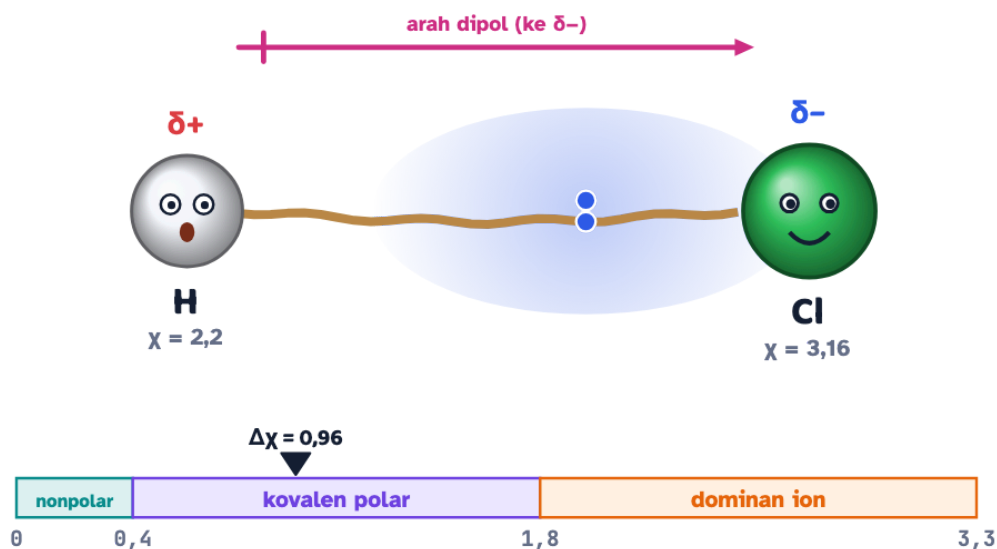
Keelektronegatifan (χ) adalah kemampuan sebuah atom dalam ikatan untuk menarik pasangan elektron bersama ke arahnya. Pada skala Pauling, fluorin paling elektronegatif (3,98), sedangkan sesium termasuk yang paling rendah (0,79). Jika keelektronegatifan dua atom berbeda, terbentuk **ikatan kovalen polar**: atom yang lebih elektronegatif bermuatan parsial negatif (δ^-), atom lainnya bermuatan parsial positif (δ^+).

Bahasa sederhana • Bayangkan dua anak bermain tarik-tambang memperebutkan sepasang elektron. Kalau kekuatan mereka sama, elektronnya diam di tengah. Kalau salah satu jauh lebih kuat, elektronnya tertarik ke arahnya. Atom yang "menang" menjadi sedikit negatif, yang "kalah" menjadi sedikit positif.

Keelektronegatifan naik dari kiri ke kanan dalam satu periode (muatan inti makin besar, jari-jari makin kecil) dan turun dari atas ke bawah dalam satu golongan (elektron ikatan makin jauh dari inti). Lihat polanya pada tabel periodik mini ini:



Siapa menang tarik-tambang elektron?



χ kiri
2,2

χ kanan
3,16

$\Delta\chi$
0,96

karakter ion $\pm$
21 %

Jenis ikatan
kovalen polar

Pilih dua atom. Pasangan elektron (titik biru) dan awan elektronnya bergeser ke atom yang lebih elektronegatif. Coba H-H, lalu H-Cl, H-F, dan Na-Cl. Di mana tali tarik-tambangnya "putus" dan elektron benar-benar pindah? Coba juga Al-Cl dan B-F: apakah logam + nonlogam selalu ion?



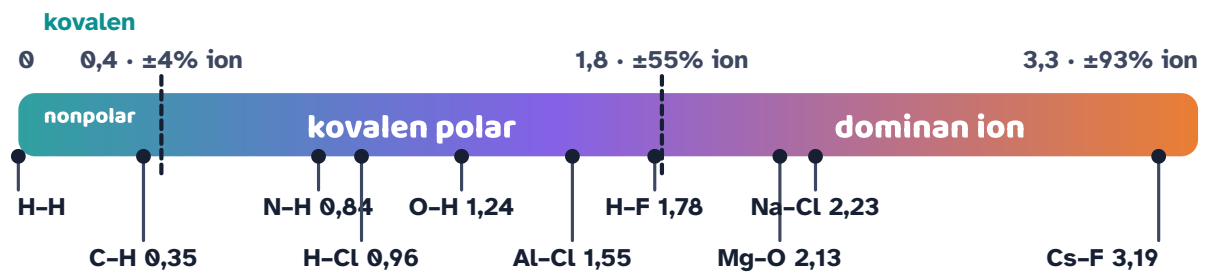
ATURAN PRAKTIS • DARI SELISIH KEELEKTRONEGATIFAN KE JENIS IKATAN

Hitung $\Delta\chi = |\chi_A - \chi_B|$. Sebagai pedoman kasar:

- $\Delta\chi < 0,4$: **kovalen nonpolar** (H-H, C-H, Cl-Cl)
- $0,4 \leq \Delta\chi \leq 1,8$: **kovalen polar** (O-H, N-H, H-Cl)
- $\Delta\chi > 1,8$: **dominan ion** (Na-Cl, Mg-O, Cs-F)

Batasnya tidak tajam: ikatan ion dan kovalen adalah dua ujung dari **satu spektrum**.

Selisih keelektronegatifan, $\Delta\chi$



Spektrum ikatan. Makin besar $\Delta\chi$, makin berat sebelah pasangan elektronnya, sampai akhirnya elektron praktis berpindah dan terbentuk ion. Persentase karakter ion dihitung dengan rumus Pauling di bawah.

RUMUS HIDUP Selisih keelektronegatifan → jenis ikatan

$$\% \text{ ion} \approx \left(1 - e^{-(\chi_B - \chi_A)^2 / 4} \right) \times 100\%$$

Makin jauh beda kekuatan tarik kedua atom, makin berat sebelah pasangan elektronnya, sampai elektron praktis berpindah dan ikatannya menjadi ion.

χ_A Keelektronegatifan atom A

χ_B Keelektronegatifan atom B

% ion

Karakter ion (perkiraan Pauling) %

KARAKTER ION (PERKIRAAN PAULING)

20,6

%

kovalen polar

ini H-Cl

$\Delta\chi = 0,96$: karakter ion ±20,6 %, karakter kovalen ±79,422 %.

Cek satuan: tanpa satuan (skala Pauling) → persen

RUMUS HIDUP: GESER NILAINYA DAN KUMPULKAN KARTUNYA DI AURUMGEN.MY.ID/CHEMIPEDIA#RM-KOV-KARAKTER-ION

CONTOH Ke mana elektron condong?

Tentukan jenis ikatan dan atom yang bermuatan parsial negatif pada (a) H-Cl, (b) C-H, (c) Na-Cl. (χ : H 2,20; C 2,55; Na 0,93; Cl 3,16)

- 1 (a) $\Delta\chi = 3,16 - 2,20 = 0,96$: kovalen polar, $\text{H}^{\delta+} - \text{Cl}^{\delta-}$.
- 2 (b) $\Delta\chi = 2,55 - 2,20 = 0,35$: praktis kovalen nonpolar; C sedikit lebih negatif.
- 3 (c) $\Delta\chi = 3,16 - 0,93 = 2,23$: dominan ion, Na^+ dan Cl^- (Bab 10).

Urutan kepolaran: C-H < H-Cl < Na-Cl. Itulah sebabnya minyak (penuh ikatan C-H) tidak bercampur dengan air, sedangkan garam mudah larut.



AWAS JEBAKAN

Aturan " $\Delta\chi > 1,8$ berarti ion" hanyalah pedoman, bukan hukum. Ikatan B-F ($\Delta\chi = 1,94$) tetap kovalen karena BF_3 berupa molekul gas, sedangkan aluminium klorida (Al-Cl, $\Delta\chi = 1,55$) adalah senyawa logam + nonlogam yang banyak bersifat kovalen dan menyublim pada $\pm 180^\circ\text{C}$. Lihat zatnya, bukan hanya angkanya.



TAMU DARI MASA LALU

Skala keelektronegatifan diusulkan **Linus Pauling** pada 1932. Ia memperhatikan bahwa ikatan antara dua atom berbeda, misalnya H-Cl, selalu lebih kuat daripada rata-rata ikatan H-H dan Cl-Cl. "Kelebihan" energi itu ia tafsirkan sebagai sumbangan tarik-menarik listrik akibat elektron yang condong. Pauling meraih Nobel Kimia 1954 untuk penelitiannya tentang ikatan kimia, lalu Nobel Perdamaian 1962. Ia satu-satunya orang yang memenangi dua Nobel tanpa berbagi dengan orang lain.



LANJUT • IB & OLIMPIADE

SEGITIGA IKATAN VAN ARKEL-KETELAAR

Satu angka $\Delta\chi$ belum cukup untuk membedakan ikatan kovalen dari ikatan logam: Na-K dan Cl-Cl sama-sama punya $\Delta\chi$ kecil. IB memakai **segitiga ikatan**: sumbu mendatar adalah *rata-rata* keelektronegatifan $\bar{\chi} = \frac{1}{2}(\chi_A + \chi_B)$, sumbu tegak adalah $\Delta\chi$.

- $\bar{\chi}$ kecil, $\Delta\chi$ kecil $\rightarrow$ **logam** (Na, Na-K)
- $\bar{\chi}$ besar, $\Delta\chi$ kecil $\rightarrow$ **kovalen** (Cl_2 , CCl_4)
- $\Delta\chi$ besar $\rightarrow$ **ion** (CsF , NaCl)

Senyawa seperti AlCl_3 ($\bar{\chi} = 2,39$, $\Delta\chi = 1,55$) jatuh di daerah peralihan, sesuai sifatnya yang setengah ion setengah kovalen.

11.6 Lanjut: muatan formal, resonansi, panjang dan energi ikatan

Terkadang satu molekul bisa digambar dengan beberapa struktur Lewis yang sama-sama oktet. Contohnya CO_2 : $\text{O}=\text{C}=\text{O}$ atau $\text{O}\equiv\text{C}-\text{O}$? Kedua struktur memakai 16 elektron dan semua atomnya oktet. Untuk memilih yang paling mendekati kenyataan, kimiawan memakai **muatan formal**: muatan yang "dimiliki" sebuah atom jika setiap pasangan ikatan dibagi **sama rata**.

RUMUS HIDUP Muatan formal

$$MF = V - N - \frac{B}{2}$$

Muatan formal = elektron valensi atom bebas dikurangi elektron yang menjadi miliknya di dalam molekul: semua elektron bebasnya ditambah separuh elektron ikatannya.

V Elektron valensi atom bebas

N Elektron bebas (bukan ikatan) pada atom itu

B Elektron ikatan di sekitar atom itu

MF Muatan formal

MUATAN FORMAL

1

ini N pada NH_4^+ : +1

Atom dengan **5** elektron valensi, **0** elektron bebas, dan **8** elektron ikatan bermuatan formal **1**.

Cek satuan: satuan muatan elementer (e)

RUMUS HIDUP: GESER NILAINYA DAN KUMPULKAN KARTUNYA DI [AURUMGEN.MY.ID/CHEMIPEDIA#RM-KOV-MUATAN-FORMAL](https://aurumgen.my.id/chemipedia#rm-kov-muatan-formal)



ATURAN • MEMILIH STRUKTUR LEWIS TERBAIK

1. Jumlah muatan formal semua atom selalu sama dengan muatan molekul atau ion.
2. Struktur terbaik punya muatan formal **sekecil mungkin** (sebanyak mungkin nol).
3. Jika harus ada muatan negatif, letakkan pada atom yang **paling elektronegatif**.
4. Hindari muatan formal sejenis pada dua atom yang bertetangga.

Untuk CO_2 : $\text{O}=\text{C}=\text{O}$ bermuatan formal (0, 0, 0), sedangkan $\text{O}\equiv\text{C}-\text{O}$ bermuatan formal (+1, 0, -1). Pemenangnya jelas $\text{O}=\text{C}=\text{O}$.



ADU CEPAT

Muatan formal kilat

ADU CEPAT • MAINKAN DI AURUMGEN.MY.ID/CHEMIPEDIA#BAB-11

Latihan kilat 60 detik dengan soal acak dan rekor pribadi.

$\text{MF} = \text{V} - \text{N} - \text{B}/2$. Contoh: N pada $\text{NH}_4^+ \rightarrow 5 - 0 - 8/2 = +1$.

COBA SENDIRI

Gas tertawa di ruang praktik dokter gigi

Dinitrogen oksida, N_2O ("gas tertawa"), dipakai sebagai pereda nyeri ringan di sebagian praktik dokter gigi. Susunan atomnya N-N-O. (a) Gambarkan tiga struktur Lewis yang oktet dan hitung muatan formalnya. (b) Tentukan struktur yang paling besar kontribusinya. (c) Mengapa susunannya bukan N-O-N?

- 1 Elektron valensi: $2(5) + 6 = 16$. Trik N - A: $(24 - 16)/2 = 4$ garis ikatan.
- 2 Struktur 1: $\text{N}=\text{N}=\text{O}$. MF: N ujung $5 - 4 - 2 = -1$; N tengah $5 - 0 - 4 = +1$; O $6 - 4 - 2 = 0$.
- 3 Struktur 2: $\text{N}\equiv\text{N}-\text{O}$. MF: N ujung $5 - 2 - 3 = 0$; N tengah $+1$; O $6 - 6 - 1 = -1$.
- 4 Struktur 3: $\text{N}-\text{N}\equiv\text{O}$. MF: N ujung $5 - 6 - 1 = -2$; N tengah $+1$; O $6 - 2 - 3 = +1$. Muatan besar dan positif pada O: paling buruk.
- 5 Struktur 2 menaruh muatan negatif pada O (paling elektronegatif), struktur 1 pada N. Keduanya menyumbang; struktur 2 sedikit lebih besar kontribusinya.
- 6 Susunan N-O-N terbaik ($\text{N}=\text{O}=\text{N}$) memberi MF -1, +2, -1: muatan +2 pada O yang elektronegatif sangat tidak disukai.

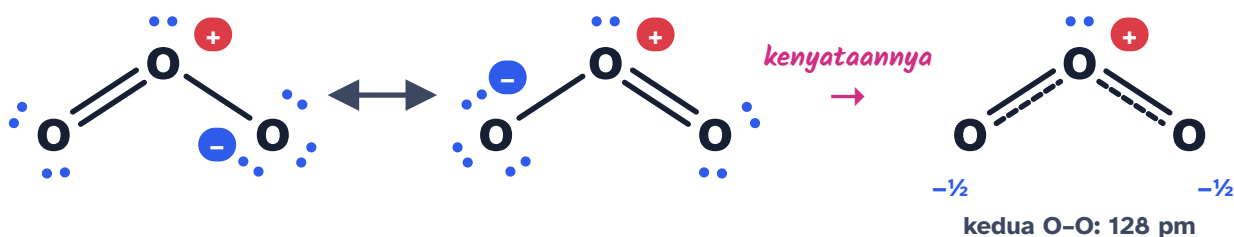
N_2O adalah hibrida dari $\text{N}\equiv\text{N}-\text{O}$ dan $\text{N}=\text{N}=\text{O}$. Data mendukungnya: ikatan N-N (113 pm) di antara rangkap dua dan rangkap tiga, ikatan N-O (119 pm) di antara tunggal dan rangkap dua.

Resonansi: satu molekul, beberapa gambar

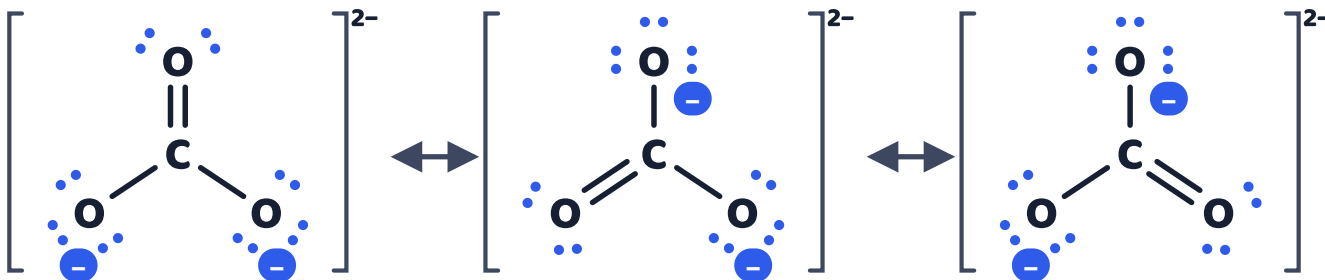
Ozon, O_3 , punya 18 elektron valensi. Struktur Lewisnya menempatkan satu ikatan rangkap dua dan satu ikatan tunggal. Tetapi di sisi mana ikatan rangkapnya? Kiri dan kanan sama-sama sah. Hasil pengukuran justru mengejutkan: **kedua ikatan O–O sama panjang**, yaitu 128 pm, di antara O–O tunggal (± 148 pm) dan O=O (121 pm).

Penjelasannya adalah **resonansi**. Molekul ozon yang sebenarnya bukan struktur kiri atau kanan, melainkan **hibrida resonansi**: pasangan elektron "ekstra" tersebar (terdelokalisasi) merata di kedua ikatan. Struktur-struktur Lewis yang kita gambar hanyalah cara menuliskan sesuatu yang tidak bisa diwakili satu gambar saja.

Ozon, O_3 (18 elektron valensi)



Ion karbonat, CO_3^{2-} (24 elektron valensi)



Struktur resonansi ozon dan ion karbonat. Panah berkepala dua ($\leftrightarrow$) berarti "struktur sebenarnya adalah campuran keduanya", bukan reaksi bolak-balik. Pada ion karbonat dari batu kapur, ketiga ikatan C–O sama panjang (± 129 pm) dengan orde ikatan rata-rata $1\frac{1}{3}$.

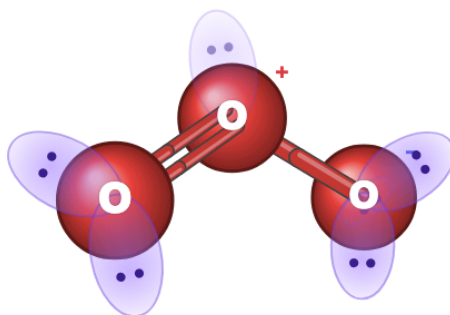


AWAS JEBAKAN

Resonansi bukan berarti molekul berganti-ganti struktur dengan cepat. Warna hijau bukanlah "sebentar biru, sebentar kuning", melainkan campuran keduanya sepanjang waktu. Begitu pula ozon: setiap saat kedua ikatannya sama, masing-masing berorde 1,5.

MOLEKUL 3D

Resonansi dalam 3D: ukur, lalu terkejutlah



Seret untuk memutar · ketuk atom untuk mengukur

Ozon O₃ Mr ≈ 48

Digambar sebagai satu struktur resonansi, tetapi koordinatnya nyata: kedua O–O sama panjang (128 pm) dan bersudut $\pm 117^\circ$. Ozon di stratosfer menyerap sinar UV.

Model menggambar ikatan rangkap di satu tempat saja, tetapi ketuk dua atom untuk mengukur: pada ozon dan karbonat, semua ikatannya sama panjang! Pada benzena, keenam ikatan C–C sekitar 139–140 pm, di antara C–C (154 pm) dan C=C (134 pm).



TAMU DARI MASA LALU

Pada 1865, **August Kekulé** mengusulkan bahwa enam atom karbon benzena membentuk cincin dengan ikatan tunggal dan rangkap bergantian. Menurut kisah yang ia ceritakan sendiri bertahun-tahun kemudian, gagasan itu muncul ketika ia melamun tentang ular yang menggigit ekornya. Masalahnya, semua ikatan C–C benzena ternyata sama panjang. Teka-teki ini baru terjawab tuntas pada 1930-an lewat teori resonansi (Pauling) dan teori orbital molekul: elektron benzena terdelokalisasi merata di seluruh cincin, sehingga kini cincinnya sering digambar dengan lingkaran di tengah.

Panjang dan energi ikatan



Tebak Dulu!

Energi ikatan tunggal C–C adalah 347 kJ/mol. Kira-kira berapa energi ikatan rangkap dua C=C?

694 kJ/mol, tepat dua kali karena pasangannya dua.

614 kJ/mol: lebih kuat, tetapi kurang dari dua kali.

347 kJ/mol, sama saja karena atomnya sama.

Kurang dari 347 kJ/mol, karena elektronnya berdesakan.

Jawabannya: 614 kJ/mol. Pasangan kedua tidak berada tepat di antara kedua inti seperti pasangan pertama, melainkan di "atas" dan "bawah" sumbu ikatan (ikatan pi, Bab 12). Tumpang tindihnya kurang efektif sehingga sumbangannya hanya $614 - 347 = 267$ kJ/mol.

Orde ikatan adalah jumlah pasangan elektron yang dipakai bersama di antara dua atom: 1 untuk tunggal, 2 untuk rangkap dua, 3 untuk rangkap tiga, dan bisa pecahan untuk hibrida resonansi (ozon 1,5). Makin besar orde ikatan, ikatannya makin **kuat** dan makin **pendek**.

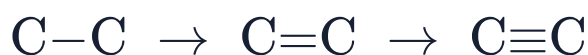
Ikatan	Orde	Panjang rata-rata (pm)	Energi ikatan rata-rata (kJ/mol)
C–C	1	154	347
C=C	2	134	614
C≡C	3	120	839
C–C benzena	1,5	140	±518
C–O	1	143	358
C=O	2	±122 (CO ₂ : 116)	±745 (CO ₂ : ±800)
C≡O (CO)	3	113	1.072
N–N / N=N / N≡N	1 / 2 / 3	145 / 125 / 110	±160 / ±420 / 945
O–O / O=O	1 / 2	148 / 121	±145 / 498

Kata "rata-rata" penting: energi ikatan C–O di metanol sedikit berbeda dengan di etanol atau gula, karena tetangganya berbeda. Tabel memuat nilai rata-rata dari banyak senyawa, dan angkanya bisa sedikit berbeda antara buku data yang satu dan yang lain. Kamu akan memakainya untuk memperkirakan kalor reaksi di Bab 19.

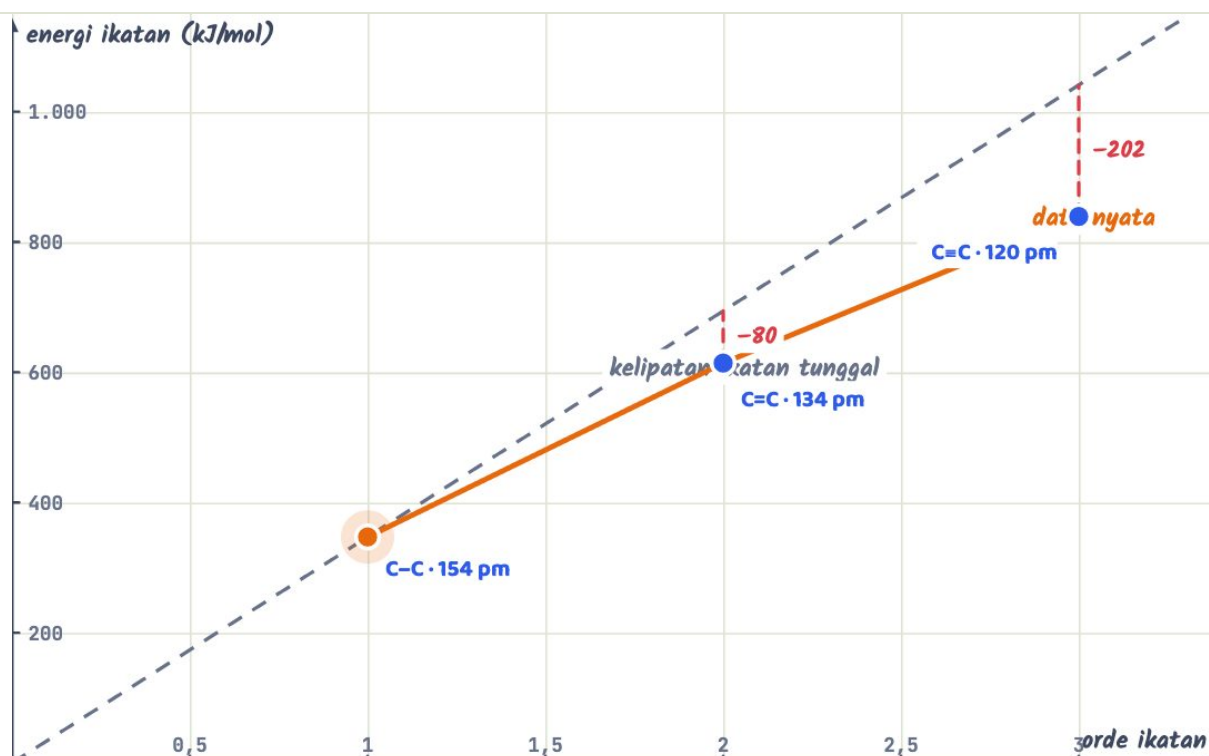
GRAFIK HIDUP

Orde ikatan karbon–karbon: makin rangkap, makin kuat dan pendek

GRAFIK HIDUP INTERAKTIF • COBA SENDIRI DI AURUMGEN.MY.ID/CHEMIPEDIA#BAB-11



orde 1 : $E \approx 347 \text{ kJ/mol}$, $d \approx 154 \text{ pm}$



energi (data)
347 kJ/mol

kalau sekadar kelipatan
347 kJ/mol

panjang (rumus empiris)
154 pm

Seret titik jingga dari orde 1 ke orde 3. Garis putus-putus adalah tebakan "dua kali, tiga kali lipat". Seberapa jauh data nyata di bawahnya? Panjang ikatan dihitung dengan rumus empiris $d \approx 154 - 71 \log n \text{ pm}$.

MITOS

"Ikatan rangkap dua dua kali lebih kuat daripada ikatan tunggal."

MITOS

"Setiap atom dalam molekul yang stabil pasti oktet."

FAKTA

$C=C$ (614 kJ/mol) kurang dari $2 \times C-C$ (694 kJ/mol). Pasangan kedua membentuk ikatan pi yang tumpang tindihnya lebih lemah. Rangkap tiga pun kurang dari tiga kali lipat.

FAKTA

H cukup 2 elektron, B pada BF_3 hanya 6, N pada NO_2 hanya 7, dan S pada SF_6 malah 12. Oktet adalah pedoman, terutama untuk C, N, O, F.

MITOS

"Pada ikatan kovalen, elektron selalu dibagi sama rata."

FAKTA

Hanya jika kedua atomnya sama ($H-H$, $Cl-Cl$). Pada $H-Cl$ dan $O-H$, pasangan elektron condong ke atom yang lebih elektronegatif sehingga ikatannya polar.



LANJUT • IB & OLIMPIADE

MUATAN FORMAL BUKAN BILANGAN OKSIDASI

Keduanya sama-sama "muatan khayalan", tetapi dengan asumsi yang berlawanan. **Muatan formal** menganggap setiap pasangan ikatan dibagi *sama rata* (ikatan 100% kovalen). **Bilangan oksidasi** (Bab 29) menganggap seluruh pasangan ikatan menjadi milik atom yang lebih elektronegatif (ikatan 100% ion).

Contoh $C \equiv O$: muatan formal C = -1 dan O = +1, sedangkan bilangan oksidasi C = +2 dan O = -2. Kenyataannya di antara keduanya: momen dipol CO sangat kecil (0,11 D) dengan ujung C sedikit negatif. Itulah sebabnya CO menempel pada zat besi hemoglobin lewat atom C-nya, lebih dari 200 kali lebih kuat daripada O_2 , sehingga sangat beracun.

Kimia di sekitarmu



LPG di dapur

Propana dan butana tersusun atas ikatan tunggal C–C dan C–H yang nyaris nonpolar. Saat terbakar, ikatan itu putus dan terbentuk ikatan C=O serta O–H yang lebih kuat; selisih energinya menjadi panas kompor. Bau "gas bocor" berasal dari zat berbau belerang yang sengaja ditambahkan.



Air, pelarut serba bisa

Ikatan O–H sangat polar ($\Delta\chi$ 1,24). Ujung H yang $\delta+$ dan ujung O yang $\delta-$ membuat air mampu melarutkan garam, gula, dan sirup. Bab 13 menceritakan kehebatan lainnya.



Waspada formalin

Gugus C=O formaldehida sangat reaktif dan mengikat protein. Karena itu formalin dilarang untuk tahu, mi basah, atau ikan; petugas pengawas pangan rutin mengujinya di pasar.



SF₆ di gardu listrik

Molekul pelanggar oktet ini sangat stabil dan tidak menghantar listrik, sehingga dipakai sebagai penyekat di pemutus arus gardu induk. Sayangnya, efek rumah kacanya lebih dari 20.000 kali CO₂, jadi kebocorannya harus dicegah.



Ozon, pelindung sekaligus polutan

Molekul beresonansi O₃ di stratosfer menyerap sinar UV yang merusak kulit. Di permukaan tanah, ozon dari asap kendaraan yang terkena sinar matahari justru menjadi polutan yang membuat mata pedih.



Cek Cepat

Berapa pasangan elektron yang dipakai bersama dalam molekul N_2 ?

1 pasang

2 pasang

3 pasang

6 pasang

Ikatan manakah yang paling polar? (χ : H 2,20; C 2,55; N 3,04; Cl 3,16; F 3,98)

C-H

H-F

N-H

H-Cl

Spesi manakah yang mengandung ikatan kovalen koordinasi?

NH_4^+

CH_4

H_2O

CO_2

Kunci Cek Cepat: 1. C • 2. B • 3. A

Tantangan Rumah: molekul dari permen kenyal

Bahan: permen kenyal (jeli) atau plastisin dalam 4 warna, tusuk gigi, sedotan lentur (untuk ikatan rangkap), kertas, dan spidol.

1. Tentukan kode warna seperti di Molekul 3D: hitam/cokelat = C, merah = O, biru = N, putih/kuning = H.
2. Satu tusuk gigi = satu pasangan elektron ikatan. Untuk ikatan rangkap dua atau tiga, pakai dua atau tiga potong sedotan lentur yang dilengkungkan di antara dua atom yang sama.
3. Bangun H_2O , CH_4 , CO_2 , N_2 , C_2H_4 , dan HCN . Pastikan H selalu punya 1 tangan, O 2, N 3, dan C 4.
4. Gambar struktur Lewis setiap model di kertas, lengkap dengan PEB, lalu periksa dengan Penggambar Lewis di 11.2.

Keselamatan: ujung tusuk gigi runcing; pegang di bagian tengah dan jangan diarahkan ke wajah. Jangan memakan permen yang sudah ditusuk dan dipegang-pegang. Awasi adik kecil agar tidak menelan permen atau plastisin. Buang sisa permen ke tempat sampah tertutup supaya tidak mengundang semut, lalu cuci tangan.

Pertanyaan: Mengapa model N_2 dan CO_2 sulit dibuat dengan tusuk gigi lurus saja? Hitung jumlah "batang" pada CO_2 dan HCN : mengapa keduanya sama-sama 4?

RINGKASAN KILAT

Bab 11 dalam 3 menit

Kamu sekarang bisa...

- menjelaskan **ikatan kovalen** sebagai pemakaian bersama pasangan elektron dan membedakan ikatan **tunggal, rangkap dua, dan rangkap tiga**
- menggambar **struktur Lewis** molekul dan ion poliatom langkah demi langkah
- mengenali **ikatan kovalen koordinasi** dan molekul yang **menyimpang dari aturan oktet**
- memperkirakan **kepolaran ikatan** dari selisih keelektronegatifan dan memandang ion-kovalen sebagai spektrum
- menghitung **muatan formal**, menuliskan **struktur resonansi**, dan mengaitkan orde ikatan dengan panjang dan energi ikatan

Istilah kunci

Ikatan kovalen

molekul

panjang ikatan

energi ikatan

diagram titik-silang

ikatan rangkap dua

ikatan rangkap tiga

ikatan tunggal

Lambang Lewis

pasangan elektron ikatan (PEI)

pasangan elektron bebas (PEB)

Ikatan kovalen koordinasi

ion hidronium

Keelektronegatifan

ikatan kovalen polar

muatan formal

Rumus penting

$$\text{ikatan} = \frac{N - A}{2}, \quad N = 8n_X + 2n_H$$

Jumlah ikatan dari kebutuhan dan ketersediaan elektron. Elektron yang dibutuhkan semua atom dikurangi elektron yang tersedia adalah elektron yang harus dipakai berdua; setiap ikatan memakai dua.

$$\% \text{ ion} \approx \left(1 - e^{-(\chi_B - \chi_A)^2/4}\right) \times 100\%$$

Selisih keelektronegatifan → jenis ikatan.

Makin jauh beda kekuatan tarik kedua atom, makin berat sebelah pasangan elektronnya, sampai elektron praktis berpindah dan ikatannya menjadi ion.

$$MF = V - N - \frac{B}{2}$$

Muatan formal. Muatan formal = elektron valensi atom bebas dikurangi elektron yang menjadi miliknya di dalam molekul: semua elektron bebasnya ditambah separuh elektron ikatannya.

⚠ Jangan sampai terjebak

- Satu garis ikatan berarti sepasang (2) elektron, bukan satu elektron.
- Hidrogen tidak pernah menjadi atom pusat dan tidak pernah punya PEB, sebab kulitnya sudah penuh dengan 2 elektron (duplet).
- Setelah terbentuk, ikatan kovalen koordinasi tidak bisa dibedakan dari ikatan kovalen biasa.

📄 Tangga Latihan: 24 soal bab ini (Lv 1 Pemula sampai Lv 6 Olimpiade) ada di PDF Bank Soal dan di aurumgen.my.id/chemipedia#soal?bab=11

🧩 Teka-teki untuk Bab 12

CO₂ dan H₂O sama-sama terdiri atas tiga atom dengan atom pusat di tengah. Tetapi molekul CO₂ lurus seperti tusuk sate, sedangkan molekul air bengkok seperti huruf V. Siapa yang "membengkokkan" molekul air?

▼ Intip petunjuk

Lihat lagi struktur Lewisnya. Atom C pada CO₂ tidak punya PEB, sedangkan atom O pada H₂O punya **dua PEB**. Pasangan elektron, baik ikatan maupun bebas, saling tolak dan berusaha menjauh sejauh mungkin, seperti balon-balon yang diikat di satu titik. Di Bab 12 aturan ini disebut teori VSEPR.

12 Bentuk Molekul: Balon Elektron yang Tak Pernah Akur

Karbon dioksida lurus seperti lidi, tetapi air bengkok seperti bumerang. Rahasiannya sederhana: pasangan elektron bersifat seperti balon pesta yang diikat jadi satu, selalu saling menjauh. Dari aturan kecil itu lahir bentuk setiap molekul, dari metana di sawah sampai obat di apotek.

Setelah bab ini, kamu bisa

- menghitung **jumlah domain elektron** atom pusat dan menuliskan **notasi VSEPR AX_nE_m** ;
- meramalkan **bentuk molekul** (dari linear sampai oktahedral beserta turunannya) dan sudut ikatannya;
- menjelaskan mengapa **pasangan elektron bebas** menyempitkan sudut: $109,5^\circ \rightarrow 107^\circ \rightarrow 104,5^\circ$;
- menentukan **kepolaran molekul** dari bentuk dan arah dipol ikatannya;
- menjelaskan **hibridisasi** sp , sp^2 , sp^3 , sp^3d , sp^3d^2 serta membedakan **ikatan sigma (σ)** dan **pi (π)**, termasuk sekilas teori orbital molekul O_2 .

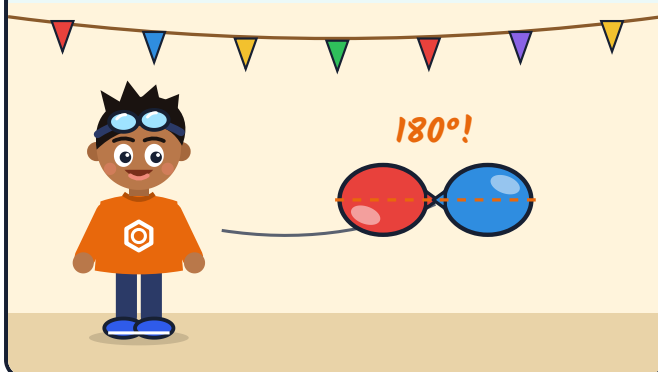
BALON YANG TIDAK AKUR

KOMIK • 4 PANEL

Sabtu sore, menghias kelas untuk pesta perpisahan

BIMA

Dua balon kuikat jadi satu... lho, kok malah saling membelakangi, lurus begini?

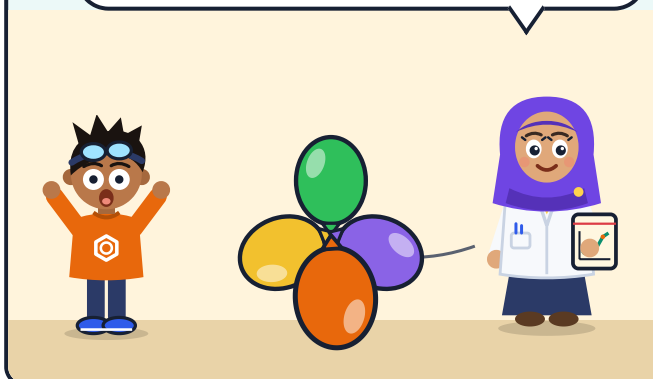


BIMA

Empat balon kok tidak jadi tanda plus yang datar? Balon-balonnya tidak akur!

LARAS

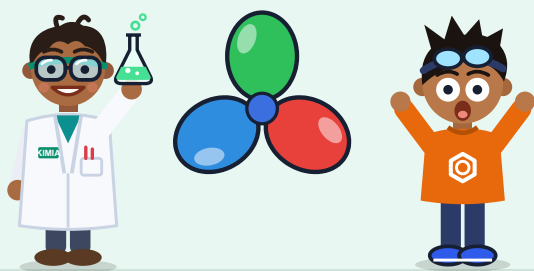
Mereka menjauh ke segala arah, Bim. Kuukur, sudutnya $\pm 109^\circ$.



KAK TIRTA

Persis seperti pasangan elektron di sekitar atom pusat! Muatannya sama-sama negatif, jadi mereka saling tolak sejauh mungkin. Itulah teori VSEPR.

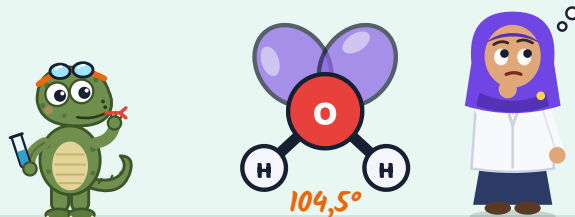
AHA!

**Kimo membawa kabar...****KIMO**

Air punya 4 "balon": 2 ikatan O-H dan 2 pasangan bebas. Hasilnya bengkok $104,5^\circ$. Kalau air lurus, garam tak bisa larut di dalamnya!

LARAS

Jadi bentuk molekul bisa ditebak dari jumlah balonnya...

**Tebak Dulu!**

CO_2 dan H_2O sama-sama terdiri atas tiga atom dengan atom pusat di tengah. CO_2 berbentuk lurus. Bagaimana bentuk molekul air?

Lurus 180° , sama seperti CO_2 , karena kedua atom H saling tolak sejauh mungkin.

Bengkok, dengan sudut H-O-H sekitar $104,5^\circ$.

Bengkok dengan sudut tepat 90° , karena orbital p saling tegak lurus.

Segitiga datar 120° , karena ada tiga atom.

Jawabannya: bengkok $\pm 104,5^\circ$. Yang saling tolak bukan atom H, melainkan *pasangan elektron*. Atom O dikelilingi empat "balon" elektron: dua ikatan O-H dan dua pasangan elektron bebas. Keempatnya menjauh membentuk tetrahedron, tetapi yang tampak hanya atom-atomnya, jadi molekul air bengkok. Atom C dalam CO_2 hanya punya dua "balon", sehingga lurus.

12.1 Balon pesta dan teori VSEPR

Coba ikat beberapa balon tiup pada satu simpul. Dua balon selalu berseberangan membentuk garis lurus. Tiga balon membentuk segitiga datar seperti baling-baling. Empat balon tidak mau menjadi tanda plus yang datar,

melainkan menyebar ke segala arah seperti kaki-kaki sebuah limas. Setiap balon "ingin" punya ruang sebanyak mungkin, sehingga mereka saling mendorong sampai berjarak sejauh-jauhnya.

Bahasa sederhana • Bayangkan atom pusat sebagai simpul pengikat balon. Setiap pasangan elektron di sekelilingnya adalah satu balon. Karena elektron bermuatan negatif, balon-balon itu saling menolak dan mencari posisi sejauh mungkin. Posisi balon-balon itulah yang membuat molekul berbentuk lurus, segitiga, atau limas.

Elektron di sekitar atom pusat berperilaku serupa. Pasangan-pasangan elektron sama-sama bermuatan negatif, sehingga saling tolak. Gagasan sederhana ini disebut teori **VSEPR** (*Valence Shell Electron Pair Repulsion*, tolakan pasangan elektron kulit valensi).



DEFINISI • TEORI VSEPR

Pasangan-pasangan elektron di kulit valensi atom pusat saling tolak dan menempati posisi **sejauh mungkin** satu sama lain. Susunan pasangan elektron inilah yang menentukan **bentuk molekul**.

Daerah tempat elektron berkumpul di sekitar atom pusat disebut **domain elektron**. Ada dua jenis domain:

- **pasangan elektron ikatan (PEI)**: elektron yang dipakai bersama dengan atom tetangga. Ujung balon ini "diduduki" sebuah atom;
- **pasangan elektron bebas (PEB)**: pasangan elektron milik atom pusat sendiri, tanpa atom di ujungnya.

Kimiawan meringkasnya dengan **notasi VSEPR AX_nE_m** : **A** adalah atom pusat, **X** adalah atom yang terikat pada A (sebanyak n), dan **E** adalah pasangan elektron bebas pada A (sebanyak m). Contohnya: metana CH_4 adalah AX_4 , amonia NH_3 adalah AX_3E , dan air H_2O adalah AX_2E_2 .

$$\text{jumlah domain} = \underbrace{n}_{\text{PEI} = \text{atom terikat}} + \underbrace{m}_{\text{PEB}}$$

Cara cepat menghitung jumlah domain tanpa menggambar struktur Lewis lengkap: jumlahkan elektron valensi atom pusat (V) dan elektron yang "disumbangkan" atom tetangga (L), sesuaikan dengan muatan ion (q), lalu bagi dua. Atom H dan halogen yang terikat dengan ikatan tunggal masing-masing menyumbang 1 elektron, sedangkan O dan S yang berikatan rangkap dengan atom pusat dihitung 0.

$$D = \frac{1}{2} (V + L - q)$$

Elektron valensi atom pusat ditambah sumbangan atom tetangga, dikurangi muatan ion, lalu dibagi dua: itulah banyaknya 'balon' di sekitar atom pusat. Kurangi dengan jumlah atom terikat untuk mendapatkan pasangan bebas.

V

Elektron valensi atom pusat

L

Elektron dari atom tetangga

q

Muatan ion

X

Jumlah atom terikat (PEI)

D

Jumlah domain domain

JUMLAH DOMAIN

4

domain

AX₂E₂ • bengkokini H₂O

4 domain di sekitar atom pusat: 2 PEI dan 2 PEB.

Cek satuan: elektron ÷ 2 = pasangan elektron = domain ✓

RUMUS HIDUP: GESER NILAINYA DAN KUMPULKAN KARTUNYA DI AURUMGEN.MY.ID/CHEMIPEDIA#RM-DOMAIN-VSEPR



TRIK KAK TIRTA • HITUNG BALONNYA

"Satu tetangga, satu balon." Ikatan tunggal, rangkap dua, atau rangkap tiga ke atom yang sama tetap dihitung **satu domain**, karena semua elektronnya berada di daerah yang sama, di antara dua inti. Lalu tambahkan PEB atom pusat. Domain = jumlah atom tetangga + jumlah PEB.

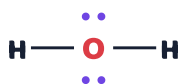


AWAS JEBAKAN

Ikatan rangkap tidak dihitung sebagai dua atau tiga domain. Dalam O=C=O, atom C hanya punya **dua** domain (dua ikatan rangkap dua, tanpa PEB), sehingga CO₂ linear. Kalau ikatan rangkap dihitung empat domain, kamu akan keliru meramalkan bentuk tetrahedral.

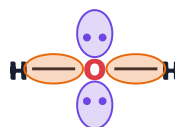
Mari kita lihat langkah demi langkah bagaimana VSEPR meramalkan bentuk molekul air.

Struktur Lewis H₂O



Langkah 1. Mulai dari struktur Lewis air. Atom pusatnya O. Di sekitar O ada dua ikatan O–H dan dua pasangan elektron bebas (titik ungu).

Struktur Lewis H₂O

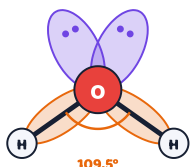
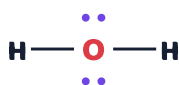


$$6 (\text{O}) + 1 + 1 (\text{H}) = 8 \text{ elektron} \\ = 4 \text{ pasang} = 4 \text{ domain}$$

Langkah 2. Hitung balonnya: O punya 6 elektron valensi, setiap H menyumbang 1. Total 8 elektron = 4 pasang = **4 domain**, yaitu 2 PEI (oranye) dan 2 PEB (ungu).

Struktur Lewis H₂O

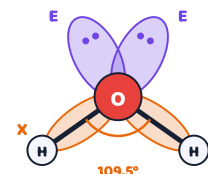
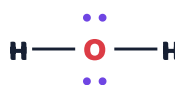
susunan domain: tetrahedral



Langkah 3. Empat domain saling menjauh sejauh mungkin di ruang tiga dimensi. Susunannya **tetrahedral**, dengan sudut ideal 109,5°.

Struktur Lewis H₂O

notasi VSEPR

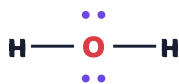


$$\text{A} = \text{O} \rightarrow \text{AX}_2\text{E}_2$$

Langkah 4. Beri nama: A = atom O, dua X = dua atom H, dua E = dua PEB. Notasi VSEPR-nya AX₂E₂.

Struktur Lewis H₂O

lihat atomnya saja

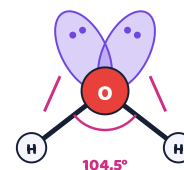
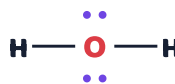


bentuk: bengkok (huruf V)

Langkah 5. Bentuk molekul hanya dilihat dari posisi **atom**. PEB tetap ada tetapi tidak "terlihat" sebagai atom, sehingga H–O–H tampak **bengkok** seperti huruf V.

Struktur Lewis H₂O

PEB "gemuk" menekan sudut



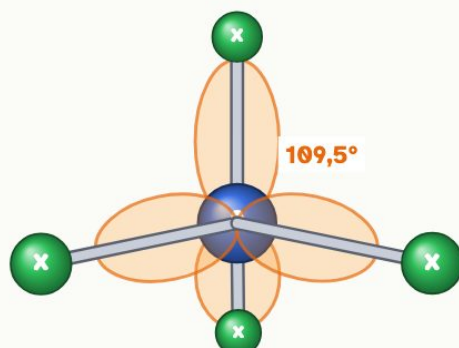
bentuk: bengkok (huruf V)

Langkah 6. PEB lebih "gemuk" daripada PEI dan menekan kedua ikatan O–H. Sudutnya menyempit dari 109,5° menjadi **104,5°**. Subbab 12.3 menjelaskan alasannya.

Sekarang giliranmu menjadi "pengikat balon". Atur jumlah pasangan elektron ikatan dan bebas, lalu lihat balon-balon itu saling dorong sampai menemukan posisinya.

AX₄ • tetrahedral

4 domain → geometri tetrahedral



sudut nyata

seret untuk memutar

Legenda

- PEI + atom X
- PEB (lebih gemuk)
- atom pusat
- 4 PEI + 0 PEB = 4 balon
-

Coba:

- PEB 1 → 2: sudut menyempit?
- 5 balon: di mana PEB memilih duduk?
- matikan balon PEB
- tekan Tantangan

Notasi

AX₄

Geometri domain

tetrahedral (4 domain)

Bentuk molekul

tetrahedral

Sudut ideal → nyata

109,5° → 109,5°

Contoh

CH₄, CCl₄, NH₄⁺

Tantangan tuntas

0

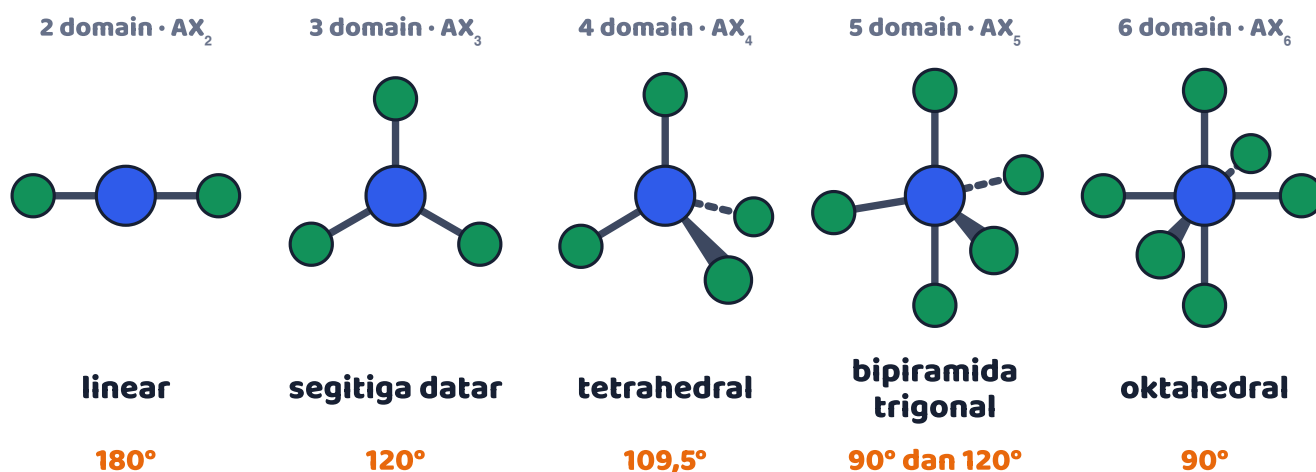
Geser jumlah **PEI** (balon oranye berujung atom X) dan **PEB** (balon ungu yang lebih gemuk). Matikan "Tampilkan balon PEB" untuk melihat *bentuk molekul* yang sebenarnya. Bandingkan sudut **ideal** dengan sudut **nyata**. Tekan Tantangan dan coba susun balon untuk molekul yang diminta. Seret gambar untuk memutar.

**TAMU DARI MASA LALU**

Pada 1940, dua kimiawan Inggris, **Nevil Sidgwick** dan **Herbert Powell**, memperhatikan bahwa bentuk molekul dapat ditebak dari jumlah pasangan elektron di sekitar atom pusat. Pada 1957, **Ronald Gillespie** dan **Ronald Nyholm** menyempurnakannya, termasuk aturan bahwa pasangan elektron bebas menolak lebih kuat. Lahirlah teori VSEPR. Gillespie, yang kemudian mengajar di Kanada, senang menunjukkan teorinya dengan balon tiup di depan kelas, persis seperti Bima!

12.2**Lima bentuk dasar dan keluarganya**

Jumlah domain menentukan **geometri domain**, yaitu cara semua balon (PEI maupun PEB) tersusun di sekitar atom pusat. Ada lima susunan dasar untuk 2 sampai 6 domain:



Lima geometri domain dasar. Garis putus-putus menjauhi pembaca (ke belakang kertas); baji hitam mendekati pembaca. Tetrahedral, bipiramida trigonal, dan oktahedral adalah bentuk tiga dimensi.

Kalau sebagian domain adalah PEB, susunan balonnya tetap sama, tetapi **nama bentuk molekul** berubah karena kita hanya menamai posisi atom. Dari lima susunan dasar lahirlah "keluarga" bentuk berikut.

Domain	Notasi	Geometri domain	Bentuk molekul	Sudut ikatan	Contoh
2	AX ₂	linear	linear	180°	BeCl ₂ , CO ₂
3	AX ₃	segitiga datar	segitiga datar	120°	BF ₃ , SO ₃
3	AX ₂ E	segitiga datar	bengkok	±118° (< 120°)	SO ₂ , O ₃
4	AX ₄	tetrahedral	tetrahedral	109,5°	CH ₄ , CCl ₄
4	AX ₃ E	tetrahedral	piramida trigonal	±107°	NH ₃ , PCl ₃
4	AX ₂ E ₂	tetrahedral	bengkok	±104,5°	H ₂ O, OF ₂
5	AX ₅	bipiramida trigonal	bipiramida trigonal	90° dan 120°	PCl ₅ , PF ₅
5	AX ₄ E	bipiramida trigonal	jungkat-jungkit	±102° dan ±173°	SF ₄
5	AX ₃ E ₂	bipiramida trigonal	bentuk T	±87,5°	ClF ₃ , BrF ₃
5	AX ₂ E ₃	bipiramida trigonal	linear	180°	XeF ₂ , I ₃ ⁻

6	AX_6	oktahedral	oktahedral	90°	SF_6
6	AX_5E	oktahedral	piramida segi empat	$\pm 85^\circ$	BrF_5, IF_5
6	AX_4E_2	oktahedral	segi empat datar	90°	XeF_4, ICl_4^-



AWAS JEBAKAN

Geometri domain tidak sama dengan bentuk molekul. Amonia punya empat domain yang tersusun **tetrahedral**, tetapi bentuk molekulnya **piramida trigonal**, karena PEB di puncaknya tidak dihitung sebagai "sudut" bangun. Kalau soal menanyakan *bentuk molekul*, jawablah dengan posisi atom saja.

Molekul dengan 5 domain punya dua jenis posisi yang tidak setara: tiga posisi **ekuatorial** (di "sabuk" segitiga, saling bersudut 120°) dan dua posisi **aksial** (di "kutub" atas dan bawah). Di mana PEB akan duduk?



TRIK KAK TIRTA • KURSI UNTUK SI GEMUK

Pada 5 domain, PEB selalu memilih kursi **ekuatorial**. Pada 6 domain, PEB pertama boleh duduk di mana saja (semua posisi setara), tetapi PEB kedua duduk **berseberangan** dengan yang pertama. Itulah sebabnya XeF_4 segi empat datar, bukan bentuk lain.

▼ Mengapa begitu? Hitung tetangga 90° -nya

Tolakan paling kuat terjadi antara domain yang bersudut 90° (paling dekat). Pada bipiramida trigonal, sebuah posisi **aksial** punya tiga tetangga pada 90° (ketiga posisi ekuatorial). Sebuah posisi **ekuatorial** hanya punya dua tetangga pada 90° (kedua posisi aksial); dua tetangga lainnya berjarak 120° , lebih lega.

PEB yang "gemuk" butuh tempat paling lega, jadi ia memilih posisi ekuatorial. Hasilnya: SF_4 (1 PEB) berbentuk jungkat-jungkit, ClF_3 (2 PEB) berbentuk T, dan XeF_2 (3 PEB di sabuk ekuator) berbentuk linear. Pada oktahedral, dua PEB yang berseberangan (180°) tidak bersentuhan pada 90° , sedangkan bila bersebelahan mereka saling tekan pada 90° .

MOLEKUL 3D

Galeri VSEPR: 15 molekul, satu aturan



Seret untuk memutar · ketuk atom untuk mengukur

Berilium klorida (gas) BeCl_2 Mr $\approx 79,91$ AX2 · linear

Be hanya punya 2 pasangan elektron di sekitarnya (oktet tak lengkap) $\rightarrow$ linear 180° .

Pilih molekul dari daftar. Balon ungu adalah pasangan elektron bebas; label oranye menunjukkan sudut ikatan ideal di sekitar atom pusat. Matikan "Pasangan elektron bebas" dan perhatikan: XeF_2 tiba-tiba tampak sama dengan BeCl_2 , padahal xenon menyimpan tiga PEB di sabuknya! Ketuk tiga atom (misalnya F-S-F pada SF_4) untuk mengukur sudutnya sendiri.



KIMO BERBISIK

Model di galeri memakai sudut ideal untuk molekul 5 dan 6 domain. Pada molekul nyata, PEB sedikit menekan sudut-sudut itu: SF_4 punya sudut F-S-F $\pm 102^\circ$ (bukan 120°) dan $\pm 173^\circ$ (bukan 180°), sedangkan BrF_5 $\pm 85^\circ$ (bukan 90°). Lihat perbedaannya di Lab Mini **Balon Elektron** dengan pilihan sudut "nyata".

CONTOH Bentuk fosforus triklorida

Tentukan bentuk molekul PCl_3 dan perkirakan sudut Cl-P-Cl -nya. (P golongan 15, Cl golongan 17)

- 1 Atom pusat P punya 5 elektron valensi; tiga atom Cl masing-masing menyumbang 1. $D = \frac{1}{2}(5 + 3) = 4$ domain.
- 2 Ada 3 atom terikat, jadi $\text{PEI} = 3$ dan $\text{PEB} = 4 - 3 = 1$. Notasinya AX_3E .
- 3 Empat domain tersusun tetrahedral; satu posisi diisi PEB, sehingga atom-atomnya membentuk **piramida trigonal**.
- 4 PEB menekan ketiga ikatan, jadi sudutnya lebih kecil daripada $109,5^\circ$.

PCl_3 berbentuk **piramida trigonal (AX_3E)** dengan sudut $\text{Cl-P-Cl} < 109,5^\circ$ (data: $\pm 100^\circ$).
Bentuknya mirip amonia.

KERJAKAN BERSAMA Xenon, gas mulia yang mau berikatan

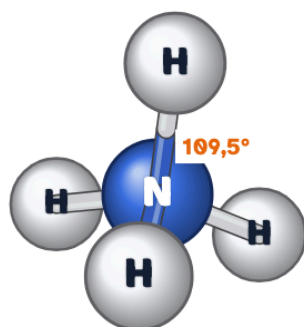
Xenon tetrafluorida, XeF_4 , adalah kristal putih yang dibuat dari xenon dan fluorin. Tentukan notasi VSEPR, geometri domain, dan bentuk molekulnya.

- 1 Xe golongan 18: 8 elektron valensi. Empat F menyumbang 4. $D = \frac{1}{2}(8 + 4) = 6$ domain.
- 2 $\text{PEI} = 4$ (empat F), $\text{PEB} = 6 - 4 = 2$. Notasi AX_4E_2 .
- 3 Enam domain tersusun oktahedral. Dua PEB memilih posisi berseberangan (atas dan bawah) agar tidak saling tekan pada 90° .
- 4 Empat atom F tinggal di "sabuk" datar di sekeliling Xe.

AX_4E_2 , geometri domain oktahedral, bentuk molekul segi empat datar dengan sudut F-Xe-F 90° .

Ion poliatom juga punya bentuk. Caranya sama, hanya saja muatan ion ikut dihitung: anion menambah elektron, kation mengurangi.

MOLEKUL 3D Ion poliatom juga punya bentuk



Seret untuk memutar · ketuk atom untuk mengukur

Ion amonium NH_4^+

Mr $\approx 18,04$

AX4 · tetrahedral

N: 5 elektron valensi + 4 dari H – 1 (muatan +) = 8 $\rightarrow$ 4 domain, tanpa PEB. Tetrahedral $109,5^\circ$, persis seperti metana.

Untuk setiap ion, hitung dulu jumlah domainnya dengan rumus $D = \frac{1}{2}(V + L - q)$, tebak bentuknya, baru periksa dengan model. Perhatikan pasangan kembar: I_3^- dan XeF_2 di galeri sama-sama linear, ICl_4^- dan XeF_4 sama-sama segi empat datar.

ADU CEPAT

Kilat PEB: hitung pasangan bebas atom pusat

ADU CEPAT · MAINKAN DI AURUMGEN.MY.ID/CHEMIPEDIA#BAB-12

Latihan kilat 60 detik dengan soal acak dan rekor pribadi.

Domain = $(V + X) \div 2$, lalu PEB = domain – X. Cepatnya: PEB = $(V - X) \div 2$.

12.3 Pasangan bebas yang "gemuk": $109,5^\circ \rightarrow 107^\circ \rightarrow 104,5^\circ$

Tebak Dulu!

Metana CH_4 , amonia NH_3 , dan air H_2O sama-sama punya 4 domain di sekitar atom pusatnya. Bagaimana sudut ikatan H-A-H pada ketiganya?

Sama semua, $109,5^\circ$, karena geometri domainnya sama-sama tetrahedral.

Air paling besar, karena atom O paling elektronegatif dan menarik H lebih kuat.

Metana paling besar, lalu amonia, dan air paling kecil.

Amonia paling kecil, karena punya atom H paling banyak.

Jawabannya: CH_4 $109,5^\circ > \text{NH}_3$ $107^\circ > \text{H}_2\text{O}$ $104,5^\circ$. Makin banyak PEB, makin sempit sudut antar-ikatan. PEB ibarat balon yang ditiup lebih besar: ia mendesak balon-balon ikatan agar merapat.

Mengapa PEB lebih "gemuk"? Pasangan elektron ikatan ditarik oleh **dua** inti atom sekaligus, sehingga tertarik memanjang di antara keduanya, seperti balon yang ujungnya diikat ke tiang. Pasangan elektron bebas hanya dipegang **satu** inti (atom pusat), sehingga awannya lebih dekat ke atom pusat dan lebih melebar. Akibatnya, PEB menolak domain lain lebih kuat.



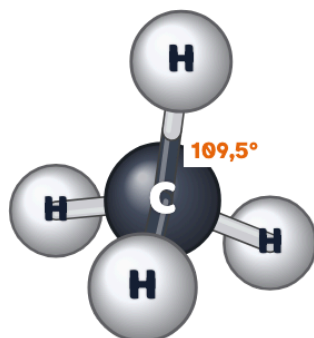
ATURAN · URUTAN KEKUATAN TOLAKAN

$$\text{PEB-PEB} > \text{PEB-PEI} > \text{PEI-PEI}$$

Setiap PEB menyempitkan sudut antar-ikatan sekitar $2-3^\circ$ pada molekul 4 domain. Ikatan rangkap juga sedikit lebih "gemuk" daripada ikatan tunggal, sehingga sudut di dekatnya ikut melebar.

Molekul	Domain	PEI	PEB	Bentuk molekul	Sudut H-A-H
CH_4	4	4	0	tetrahedral	$109,5^\circ$
NH_3	4	3	1	piramida trigonal	107°
H_2O	4	2	2	bengkok	$104,5^\circ$

Sudut $109,5^\circ$ bukan angka kebetulan. Itulah sudut di antara garis-garis yang menghubungkan pusat sebuah tetrahedron sempurna ke keempat pojoknya. Nilai eksaknya memenuhi $\cos \theta = -\frac{1}{3}$, sehingga $\theta = 109,47^\circ$. Di Subbab 12.5 kamu bisa memainkan rumus yang melahirkan angka ini.



Seret untuk memutar · ketuk atom untuk mengukur

Metana (VSEPR) CH_4

$M_r \approx 16,04$

AX4 · tetrahedral

Empat pasangan elektron ikatan menjauh sejauh mungkin → tetrahedral, $109,5^\circ$.

Ketuk tiga atom berurutan, misalnya H, lalu atom pusat, lalu H lain. Bandingkan sudut pada CH_4 , NH_3 , dan H_2O . Lalu periksa PH_3 dan H_2S : mengapa sudutnya hampir 90° ? Simpan pertanyaan ini untuk kotak Lanjut di bawah dan teka-teki di akhir bab.



LANJUT · IB & OLIMPIADE

KETIKA VSEPR MULAI KEWALAHAN

VSEPR meramalkan "sedikit di bawah $109,5^\circ$ " untuk NH_3 dan H_2O , dan itu tepat. Namun untuk saudara-saudaranya dari periode 3, sudutnya anjlok mendekati 90° : $\text{PH}_3 \pm 93,5^\circ$ dan $\text{H}_2\text{S} \pm 92^\circ$. Atom pusat yang besar dan kurang elektronegatif "enggan" mencampur orbital s dan p-nya (lihat Subbab 12.5). Ikatannya hampir murni memakai orbital p yang saling tegak lurus, sedangkan PEB-nya bersembunyi di orbital yang kaya karakter s.

Keelektronegatifan atom tetangga juga berpengaruh. Pada NF_3 , atom F menarik elektron ikatan menjauhi N, sehingga awan PEI menipis di dekat N dan PEB makin leluasa menekan: sudut $\text{F-N-F} \pm 102^\circ$, lebih kecil daripada H-N-H pada NH_3 . Kecenderungan ini dirumuskan sebagai **aturan Bent**: atom pusat mengarahkan orbital yang kaya karakter s ke substituen yang lebih elektropositif.

12.4 Kepolaran molekul: tarik tambang elektron



Tebak Dulu!

Ikatan C=O sangat polar: oksigen jauh lebih elektronegatif daripada karbon. Apakah molekul CO₂ bersifat polar?

Ya, sangat polar, karena kedua ikatannya polar.

Ya, sedikit polar, karena ada dua atom O yang menarik elektron.

Tidak. CO₂ nonpolar karena kedua tarikan sama kuat dan berlawanan arah.

Tidak bisa ditentukan tanpa mengukur titik didihnya.

Jawabannya: nonpolar. Bayangkan dua regu tarik tambang yang sama kuat menarik tali ke arah berlawanan: simpul di tengah tidak bergeser. Kedua dipol C=O sama besar dan berlawanan arah (180°), sehingga saling meniadakan. Bentuk molekul menentukan segalanya!

Gosokkan penggaris plastik ke rambut yang kering, lalu dekatkan ke aliran air keran yang kecil. Aliran air membelok ke arah penggaris! Air tersusun atas molekul yang punya ujung sedikit negatif dan ujung sedikit positif. (Para ilmuwan mencatat bahwa muatan yang terinduksi pada aliran air juga ikut berperan, jadi percobaan ini adalah petunjuk, bukan bukti tunggal.)

Di Bab 11 kamu sudah belajar bahwa ikatan antara dua atom dengan keelektronegatifan berbeda bersifat polar. Atom yang lebih elektronegatif mendapat muatan parsial negatif (δ^-), pasangannya δ^+ . Ketidakseimbangan ini digambarkan dengan **panah dipol** yang ekornya bertanda silang di ujung δ^+ dan kepalanya menunjuk ke ujung δ^- . Besarnya diukur sebagai **momen dipol** (μ) dalam satuan debye (D).

Bahasa sederhana • Bayangkan setiap ikatan sebagai regu tarik tambang. Atom yang lebih rakus elektron menarik lebih kuat. Kalau regu-regu itu menarik ke arah yang sama, molekulnya punya "sisi negatif" dan "sisi positif": molekul itu polar. Kalau tarikannya sama kuat ke segala arah, semuanya seimbang: molekul itu nonpolar.



ATURAN • POLAR ATAU NONPOLAR?

Momen dipol molekul adalah **jumlah vektor** semua dipol ikatannya. Molekul disebut **molekul polar** bila jumlah vektornya tidak nol, dan nonpolar bila jumlahnya nol. Jalan pintas: bila atom pusat **tidak punya PEB** dan **semua atom tetangganya sama** (AX₂, AX₃, AX₄, AX₅, AX₆), molekul itu nonpolar. Dua pengecualian yang tetap nonpolar karena simetris sempurna: AX₂E₃ (XeF₂) dan AX₄E₂ (XeF₄).

Untuk molekul bengkok dengan dua ikatan sama, penjumlahan vektornya bisa dihitung dengan trigonometri sederhana. Mainkan sudutnya sampai 180° dan lihat apa yang terjadi pada dipol bersih.

$$\mu_{\text{bersih}} = 2 \mu_{\text{ikatan}} \cos \frac{\theta}{2}$$

Dua panah dipol ikatan yang sama besar dijumlahkan. Makin lebar sudut di antara keduanya, makin banyak yang saling meniadakan. Pada 180°, hasilnya nol.

 μ_{ikatan}

Dipol satu ikatan D

 θ

Sudut ikatan °

 μ_{bersih}

Dipol bersih D

DIPOL BERSIH

1,84

D

molekul polar



mendekati air (data: 1,85 D)

Dua ikatan masing-masing **1,5 D** dengan sudut **104,5°** menghasilkan dipol bersih **1,84 D**.

Cek satuan: D (debye); 1 D = $3,336 \times 10^{-30}$ C·m

RUMUS HIDUP: GESER NILAINYA DAN KUMPULKAN KARTUNYA DI AURUMGEN.MY.ID/CHEMIPEDIA#RM-DIPOL-BERSIH

nonpolar (dipol saling meniadakan)



Seret untuk memutar · ketuk atom untuk mengukur

Karbon dioksida CO₂

Mr ≈ 44,01

PubChem ↗

Linear (180°), nonpolar walau ikatannya polar. Keluar dari napas kita dan diserap tumbuhan.

Panah magenta menunjukkan arah dipol bersih (ke ujung δ^-). Bandingkan pasangan "kembar": CO₂ dan SO₂ (sama-sama tiga atom), CCl₄ dan CHCl₃ (beda satu atom saja), BF₃ dan NH₃ (sama-sama empat atom). Apa yang membuat salah satunya polar?

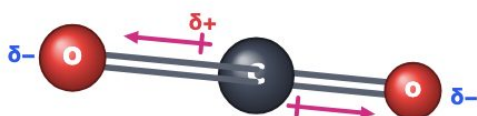
LAB MINI

Detektif Kepolaran: jumlahkan panahnya!

LAB MINI INTERAKTIF • COBA SENDIRI DI AURUMGEN.MY.ID/CHEMIPEDIA#BAB-12

CO₂ • Karbon dioksida

bentuk: linear



panah magenta = dipol ikatan (ke ujung δ^-)

Papan vektor

Tebak dulu: polar atau nonpolar?

lalu tekan + Jumlahkan vektor

Medan listrik: mati



nyalakan medan untuk menguji

Ikatan ($\Delta\chi$)

C-O 0,89

Bentuk

linear

Dipol bersih (data)

? (tebak dulu)

Kesimpulan

?

Tebakan benar

0 dari 0

Pilih molekul (atau tekan 🎲), tebak dulu: **polar** atau **nonpolar**? Lalu tekan + Jumlahkan vektor. Panah-panah dipol ikatan disusun ujung-ke-pangkal di papan vektor: kalau kembali ke titik awal, dipol bersihnya nol. Nyalakan medan listrik dan amati: molekul polar berbaris mengikuti medan, molekul nonpolar tetap berputar acak.



AWAS JEBAKAN

Ikatan polar tidak menjamin molekul polar. CO₂, BF₃, dan CCl₄ semuanya punya ikatan polar, tetapi bentuknya simetris sehingga dipol-dipolnya saling meniadakan. Sebaliknya, ganti satu Cl pada CCl₄ dengan H, dan CHCl₃ langsung menjadi polar.

MITOS

"Molekul yang ikatannya polar pasti polar."

MITOS

"Bentuk molekul ditentukan oleh semua pasangan elektron, jadi NH_3 itu tetrahedral."

FAKTA

Belum tentu. Yang menentukan adalah

jumlah vektor

dipolnya.

CO_2

dan

CCl_4

berikatan polar tetapi nonpolar karena bentuknya simetris.

FAKTA

Semua pasangan menentukan

susunan domain

(tetrahedral), tetapi

bentuk molekul

dinamai dari posisi atom saja:

NH_3

piramida trigonal,

H_2O

bengkok.

MITOS

"Ikatan rangkap dua mendorong dua kali lebih kuat, jadi dihitung dua domain."

FAKTA

Ikatan rangkap tetap

satu domain

, meski sedikit lebih gemuk. Karena itu

CO_2

linear (2 domain) dan

SO_3

segitiga datar (3 domain).

Boron triklorida, BCl₃, dan fosforus triklorida, PCl₃, sama-sama punya tiga ikatan dengan klorin. Tentukan bentuk dan kepolaran masing-masing.

- 1 BCl₃: B punya 3 elektron valensi, $D = \frac{1}{2}(3 + 3) = 3$, tanpa PEB $\rightarrow AX_3$, **segitiga datar**.
- 2 Tiga dipol B-Cl sama besar dan bersudut 120°. Jumlahkan ujung-ke-pangkal: membentuk segitiga tertutup $\rightarrow$ dipol bersih nol.
- 3 PCl₃: P punya 5 elektron valensi, $D = \frac{1}{2}(5 + 3) = 4$, PEB = 1 $\rightarrow AX_3E$, **piramida trigonal**.
- 4 Ketiga dipol P-Cl sama-sama condong ke bawah (menjauhi PEB), sehingga jumlahnya tidak nol.

BCl₃ **nonpolar (segitiga datar simetris)**, PCl₃ **polar (piramida trigonal)**. Satu PEB mengubah segalanya!



KIMIA NUSANTARA • KAIN BASAH PARA PENAMBANG IJEN

Di Kawah Ijen, Jawa Timur, penambang belerang memikul bongkahan kuning menembus asap gunung api yang menyesakkan. Banyak di antara mereka menutup hidung dengan kain basah. Mengapa air membantu? Gas utama yang perih itu, belerang dioksida SO₂, berbentuk **bengkok** (AX₂E) sehingga **polar**, dan mudah larut dalam air yang juga polar: $SO_2 + H_2O \rightleftharpoons H_2SO_3$. Kain basah tidak menyaring semuanya (masker khusus jauh lebih aman), tetapi kepolaran SO₂ menjelaskan mengapa air kawah dan hujan di sekitarnya sangat asam, dan mengapa malam hari tampak "api biru" saat gas belerang terbakar.

12.5 Hibridisasi: orbital yang "diaduk"

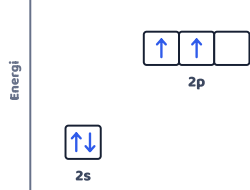
VSEPR meramalkan bentuk dengan sangat baik, tetapi ada teka-teki. Konfigurasi elektron karbon adalah $1s^2 2s^2 2p^2$: hanya ada **dua** elektron tunggal di orbital 2p, yang saling tegak lurus. Kalau begitu, karbon mestinya hanya membentuk dua ikatan bersudut 90°. Kenyataannya, metana punya **empat** ikatan C-H yang sama persis panjangnya, bersudut 109,5°. Bagaimana orbital 2s yang bulat dan tiga orbital 2p yang seperti balon panjang bisa menghasilkan empat ikatan identik?



DEFINISI • HIBRIDISASI

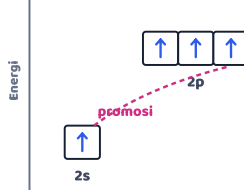
Hibridisasi adalah pencampuran orbital-orbital atom dalam satu atom (misalnya satu orbital s dan beberapa orbital p) menjadi sejumlah **orbital hibrida** yang setara, dengan arah yang sesuai bentuk molekul. Jumlah orbital hibrida sama dengan jumlah orbital yang dicampur.

keadaan dasar: hanya 2 elektron tunggal

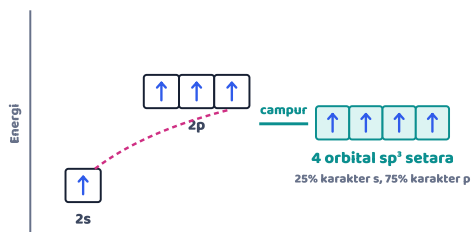


Langkah 1. Keadaan dasar karbon: $2s^2 2p^2$. Hanya ada dua elektron tunggal, padahal metana punya empat ikatan C-H yang identik. Ada yang janggal!

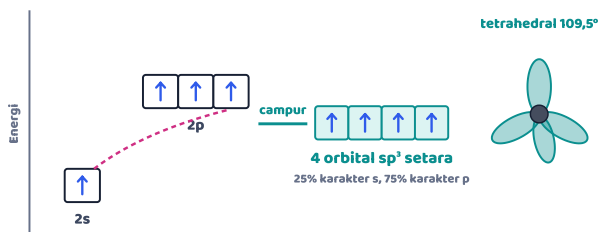
kini 4 elektron tunggal



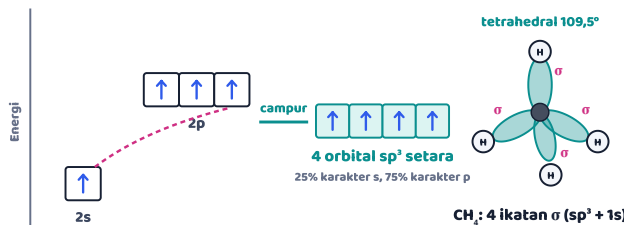
Langkah 2. Promosi: satu elektron 2s naik ke orbital 2p yang kosong. Kini ada empat elektron tunggal. Energi untuk promosi ini terbayar kembali karena karbon bisa membentuk dua ikatan tambahan.



Langkah 3. Hibridisasi: satu orbital 2s dan tiga orbital 2p "diaduk" menjadi empat orbital sp^3 yang setara. Energinya di antara 2s dan 2p, dan setiap orbital berkarakter 25% s dan 75% p.



Langkah 4. Keempat orbital sp^3 saling menjauh, mengarah ke pojok-pojok tetrahedron dengan sudut $109,5^\circ$, cocok dengan ramalan VSEPR!



Langkah 5. Setiap orbital sp^3 bertumpang tindih ujung-ke-ujung dengan orbital 1s atom H, membentuk empat **ikatan σ** C-H yang identik. Lahirlah CH_4 .

Hibridisasi lain mengikuti pola yang sama. Jumlah orbital hibrida selalu sama dengan jumlah domain elektron, karena setiap domain (PEI maupun PEB) menempati satu orbital hibrida.

Domain	Orbital yang dicampur	Hibridisasi	Geometri domain	Sudut	Contoh atom pusat
2	s + p	sp	linear	180°	Be dalam $BeCl_2$; C dalam CO_2 , C_2H_2
3	s + 2p	sp²	segitiga datar	120°	B dalam BF_3 ; C dalam C_2H_4 ; S dalam SO_2

4	s + 3p	sp³	tetrahedral	109,5°	C dalam CH ₄ ; N dalam NH ₃ ; O dalam H ₂ O
5	s + 3p + d	sp³d	bipiramida trigonal	90°, 120°	P dalam PCl ₅ ; S dalam SF ₄ ; Xe dalam XeF ₂
6	s + 3p + 2d	sp³d²	oktahedral	90°	S dalam SF ₆ ; Xe dalam XeF ₄



TRIK KAK TIRTA • DOMAIN = JUMLAH HURUF

Hitung domain, lalu tulis huruf orbitalnya sebanyak itu: 2 domain → s + p = **sp**; 3 → s + p + p = **sp²**; 4 → **sp³**; 5 → **sp³d**; 6 → **sp³d²**. Jangan lupa: PEB juga menempati orbital hibrida. N dalam NH₃ (4 domain) adalah sp³, bukan sp².

Hibridisasi juga menjelaskan *mengapa* sudut 109,5°, 120°, dan 180° muncul. Makin besar porsi orbital p di dalam orbital hibrida spⁿ, makin sempit sudut di antara dua orbital itu. Hubungannya ditemukan oleh kimiawan Inggris Charles Coulson:

$$\cos \theta = -\frac{1}{n}$$

Makin banyak 'rasa p' dalam orbital hibrida (n makin besar), makin sempit sudut di antara orbital-orbitalnya. sp memberi 180° , sp^2 memberi 120° , sp^3 memberi $109,5^\circ$.

 n Pangkat hibrida (sp^n) θ Sudut antarorbital $^\circ$

SUDUT ANTARORBITAL

109,5 $^\circ$ sp^3 : $\cos \theta = -1/3 \rightarrow 109,47^\circ$, tetrahedral

Orbital sp^n dengan $n = 3$ berisi **25%** karakter s dan membentuk sudut **$109,5^\circ$** .

Cek satuan: $\cos \theta$ tak bersatuan $\rightarrow \theta$ dalam derajat ✓

RUMUS HIDUP: GESER NILAINYA DAN KUMPULKAN KARTUNYA DI AURUMGEN.MY.ID/CHEMIPEDIA#RM-SUDUT-HIBRIDA

**AWAS JEBAKAN**

Hibridisasi tidak menyebabkan bentuk molekul; hibridisasi menjelaskan bentuk yang sudah ada. Urutan berpikir yang benar: tentukan dulu jumlah domain dan bentuknya (dari data percobaan atau VSEPR), baru pilih hibridisasi yang cocok. Jangan berkata " CH_4 tetrahedral karena sp^3 "; lebih tepat "C dalam CH_4 punya 4 domain tetrahedral, sehingga digambarkan sebagai sp^3 ".

**TAMU DARI MASA LALU**

Gagasan orbital hibrida diperkenalkan oleh **Linus Pauling** pada 1931 untuk menjelaskan ikatan tetrahedral karbon. Pauling meraih Nobel Kimia 1954 atas karyanya tentang ikatan kimia, lalu Nobel Perdamaian 1962 atas kampanyenya menentang uji coba senjata nuklir. Ia satu-satunya orang yang meraih dua Nobel tanpa berbagi dengan orang lain.

**BENARKAH ORBITAL D IKUT DIADUK?**

Notasi sp^3d dan sp^3d^2 sangat praktis untuk ujian, tetapi perhitungan kimia kuantum modern menunjukkan bahwa orbital 3d belerang atau fosforus terlalu tinggi energinya untuk banyak berperan. Ikatan pada molekul "hipervalen" seperti SF_6 dan PCl_5 lebih tepat dijelaskan dengan **ikatan tiga-pusat empat-elektron** dan sumbangan karakter ion: atom-atom F yang sangat elektronegatif menarik elektron menjauh dari S.

Pelajarannya: model adalah alat, bukan kenyataan itu sendiri. VSEPR meramalkan bentuk SF_6 dengan tepat; label sp^3d^2 hanyalah cara singkat untuk mencatatnya.

COBA SENDIRI Bedah lengkap belerang tetrafluorida

Untuk SF_4 , tentukan: (a) jumlah domain dan notasi VSEPR, (b) bentuk molekul dan perkiraan sudutnya, (c) kepolaran, (d) hibridisasi atom S. Coba kerjakan sendiri dulu sebelum membuka langkahnya.

- 1 (a) S golongan 16: 6 elektron valensi; empat F menyumbang 4. $D = \frac{1}{2}(6 + 4) = 5$. PEI = 4, PEB = 1 → AX_4E .
- 2 (b) Lima domain tersusun bipiramida trigonal. PEB memilih posisi ekuatorial, sehingga atom-atomnya membentuk **jungkat-jungkit**. PEB menekan: $F_{\text{ekuatorial}}-S-F_{\text{ekuatorial}} < 120^\circ$ (data $\pm 102^\circ$) dan $F_{\text{aksial}}-S-F_{\text{aksial}} < 180^\circ$ (data $\pm 173^\circ$).
- 3 (c) Ada PEB dan bentuknya tidak simetris, sehingga dipol-dipol S-F tidak saling meniadakan → **polar** (data $\pm 0,63$ D).
- 4 (d) Lima domain → lima orbital hibrida → **sp^3d** .

SF_4 : **AX_4E , jungkat-jungkit, sudut $\pm 102^\circ$ dan $\pm 173^\circ$, polar, S terhibridisasi sp^3d . Periksa bentuknya di Galeri VSEPR (Subbab 12.2).**

12.6 Ikatan sigma (σ) dan pi (π)

Orbital-orbital dapat bertumpang tindih dengan dua cara. Cara tumpang tindih inilah yang membedakan ikatan tunggal, rangkap dua, dan rangkap tiga.



DEFINISI · IKATAN Σ DAN Π

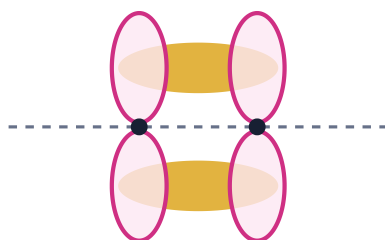
Ikatan sigma (σ) terbentuk dari tumpang tindih orbital **ujung-ke-ujung** di sepanjang sumbu ikatan; rapatannya paling besar tepat di antara kedua inti. **Ikatan pi (π)** terbentuk dari tumpang tindih **sisi-ke-sisi** dua orbital p yang sejajar; rapatannya berada di atas dan di bawah sumbu ikatan.

ikatan σ



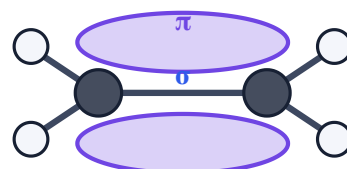
ujung-ke-ujung
elektron di sumbu ikatan

ikatan π



sisi-ke-sisi
elektron di atas & bawah sumbu

rangkap dua C=C



rangkap dua = $1\sigma + 1\pi$
rangkap tiga = $1\sigma + 2\pi$

Tumpang tindih ujung-ke-ujung menghasilkan ikatan σ (kuning: daerah tumpang tindih). Tumpang tindih sisi-ke-sisi dua orbital p menghasilkan ikatan π . Ikatan rangkap dua terdiri atas satu σ dan satu π .

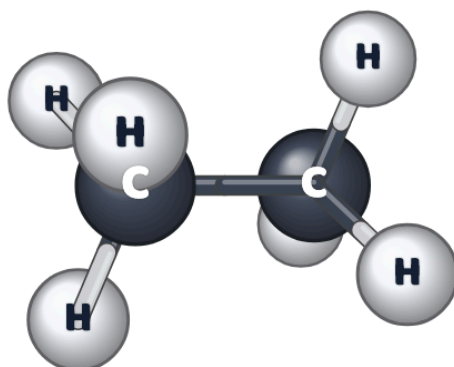
Setiap ikatan tunggal adalah ikatan σ . Ikatan rangkap dua terdiri atas $1\sigma + 1\pi$, dan rangkap tiga $1\sigma + 2\pi$. Ikatan π hanya bisa terbentuk dari orbital p yang **tidak ikut berhibridisasi**. Karena itu karbon berikatan rangkap dua bersifat sp^2 (masih menyisakan satu orbital p), dan karbon berikatan rangkap tiga bersifat sp (menyisakan dua orbital p).

Ikatan C–C	Contoh	Hibridisasi C	Sudut di C	Susunan	Panjang ikatan C–C
tunggal	etana C_2H_6	sp^3	$109,5^\circ$	1σ	± 154 pm
rangkap dua	etena C_2H_4	sp^2	$\pm 120^\circ$	$1\sigma + 1\pi$	± 134 pm
rangkap tiga	etuna C_2H_2	sp	180°	$1\sigma + 2\pi$	± 120 pm

Ikatan π punya satu sifat penting: ia "mengunci" putaran. Ikatan σ seperti poros roda yang bisa berputar bebas, tetapi ikatan π seperti dua tangan yang saling berpegangan di atas dan di bawah poros. Memutar salah satu atom karbon akan memutus pegangan itu. Akibatnya, gugus-gugus di sekitar ikatan C=C terkunci dalam satu bidang datar, dan muncullah isomer cis-trans yang akan kamu temui di Bab 32.

MOLEKUL 3D

Tunggal, rangkap dua, rangkap tiga: ukur sudut di sekitar karbon



Seret untuk memutar · ketuk atom untuk mengukur

Etana C_2H_6 Mr $\approx 30,07$ PubChem $\nearrow$

Alkana dengan dua karbon; komponen gas alam.

Ketuk tiga atom (H-C-H atau H-C-C) untuk mengukur sudutnya. Etana memberi $\pm 109,5^\circ$ (sp^3), etena dan benzena $\pm 120^\circ$ (sp^2), etuna 180° (sp). Ketuk dua atom karbon untuk membandingkan panjang ikatan tunggal, rangkap dua, dan rangkap tiga. Pada benzena, semua ikatan C-C ternyata sama panjang: elektron π -nya menyebar di seluruh cincin!



TRIK KAK TIRTA · MENGHITUNG Σ DAN Π

Hitung semua garis ikatan dalam rumus struktur sebagai σ (satu per pasangan atom yang berikatan). Lalu tambahkan π : **+1** untuk setiap rangkap dua dan **+2** untuk setiap rangkap tiga. Jumlah σ = jumlah pasangan atom yang terhubung.

CONTOH Menghitung σ dan π

Hitung jumlah ikatan σ dan π dalam etena ($\text{H}_2\text{C}=\text{CH}_2$) dan hidrogen sianida ($\text{H}-\text{C}\equiv\text{N}$).

- 1 Etana: ada 4 ikatan C-H dan 1 ikatan C=C, jadi 5 pasangan atom terhubung $\rightarrow$ **5 σ** . Satu rangkap dua $\rightarrow$ **1 π** .
- 2 HCN: ada ikatan H-C dan $\text{C}\equiv\text{N}$, jadi **2 σ** . Satu rangkap tiga $\rightarrow$ **2 π** .

Etana: 5 σ dan 1 π . HCN: 2 σ dan 2 π (atom C dalam HCN bersifat sp , sehingga molekulnya linear).

Propena, $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}_3$, adalah bahan baku plastik polipropilena (wadah makanan, tali rafia). Tentukan hibridisasi setiap atom C serta jumlah ikatan σ dan π .

- 1 C1 (karbon ujung pada rangkap dua, mengikat 2 H): 3 domain (2 H dan C2; rangkap dua dihitung satu) $\rightarrow \text{sp}^2$.
- 2 C2 (karbon tengah, mengikat 1 H): 3 domain (1 H, C1, C3) $\rightarrow \text{sp}^2$.
- 3 C3 (gugus metil, mengikat 3 H): 4 domain (3 H dan C2) $\rightarrow \text{sp}^3$.
- 4 σ : 6 ikatan C-H + 2 ikatan C-C = 8. π : satu rangkap dua = 1.

C1 dan C2 sp^2 , C3 sp^3 ; total 8 σ dan 1 π . Bagian $\text{CH}_2=\text{CH}^-$ datar, sedangkan gugus CH_3 tetrahedral.



KIMIA NUSANTARA • KARBIT DAN BUAH YANG CEPAT MATANG

Di beberapa pasar tradisional, pedagang memeras pisang atau mangga dengan **karbit** (kalsium karbida). Karbit bereaksi dengan uap air menghasilkan gas etuna (asetilena):

$\text{CaC}_2 + 2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_2\text{H}_2 + \text{Ca}(\text{OH})_2$. Etuna yang linear (C sp, rangkap tiga) meniru kerja **etena** yang datar (C sp^2), hormon pematang alami yang dilepaskan buah itu sendiri. Namun karbit teknis sering mengandung pengotor berbahaya, sehingga pemeraman alami (misalnya dibungkus bersama buah yang sudah matang) jauh lebih aman.

**TEORI ORBITAL MOLEKUL: MENGAPA OKSIGEN TERTARIK MAGNET?**

Struktur Lewis $\text{O}=\text{O}$ menempatkan semua elektron berpasangan. Zat dengan elektron berpasangan semua bersifat **diamagnetik** (sedikit ditolak magnet). Namun pada 1848 Michael Faraday mendapati bahwa oksigen justru **tertarik** oleh magnet. Oksigen cair yang dituang di antara kutub magnet kuat bahkan menggantung di sana! Zat yang tertarik magnet karena punya elektron tak berpasangan disebut **paramagnetik**.

Teori orbital molekul (OM) menjelaskannya. Orbital atom kedua atom O bergabung menjadi orbital molekul milik seluruh molekul: orbital **ikatan** (energi lebih rendah, menstabilkan) dan orbital **antiikatan** (bertanda *, energi lebih tinggi, melemahkan). Dua belas elektron valensi mengisinya dari bawah, mengikuti aturan Hund.

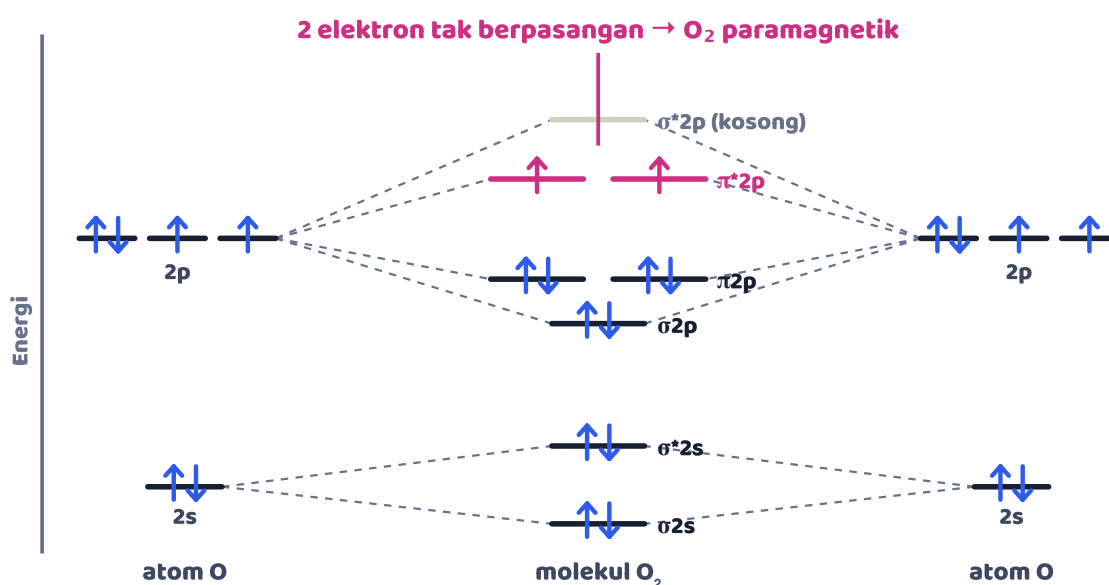


Diagram orbital molekul O_2 (elektron valensi saja). Dua elektron terakhir menempati dua orbital π^* yang setara secara terpisah (aturan Hund), sehingga O_2 paramagnetik.

Elektron di orbital ikatan: $\sigma_{2s} (2) + \sigma_{2p} (2) + \pi_{2p} (4) = 8$. Elektron di orbital antiikatan: $\sigma_{2s}^* (2) + \pi_{2p}^* (2) = 4$. Hasilnya orde ikatan 2, sesuai ikatan rangkap dua, sekaligus dua elektron tak berpasangan. Teori OM menjelaskan dua hal sekaligus, sesuatu yang tidak bisa dilakukan struktur Lewis.

$$\text{orde} = \frac{1}{2} (n_{\text{ikatan}} - n_{\text{antiikatan}})$$

Setiap pasangan elektron di orbital ikatan menambah 'separuh lem dua kali', setiap pasangan di orbital antiikatan mengurangi. Orde ikatan 0 berarti molekul tidak terbentuk.

 n_{ikatan}

Elektron di orbital ikatan

 $n_{\text{antiikatan}}$

Elektron di orbital antiikatan

orde

Orde ikatan

ORDE IKATAN

2

O₂: orde 2, paramagnetik

8 elektron ikatan dan 4 elektron antiikatan memberi orde ikatan 2.

Cek satuan: elektron ÷ 2 = jumlah ikatan ✓

RUMUS HIDUP: GESER NILAINYA DAN KUMPULKAN KARTUNYA DI AURUMGEN.MY.ID/CHEMIPEDIA#RM-ORDE-IKATAN-OM

Kimia di sekitarmu



Oven gelombang mikro

Gelombang mikro membuat molekul air yang polar terus berputar mengikuti medan listrik yang bolak-balik. Gesekan antarmolekul itu memanaskan sayur dan nasi dari dalam.



Es yang mengapung

Setiap O dalam es dikelilingi empat "lengan" tetrahedral (dua O-H dan dua PEB). Susunan ini membentuk kisi berongga, sehingga es lebih ringan daripada air dan mengapung di gelas es teh.



Obat yang pas

Molekul obat bekerja seperti anak kunci yang harus pas dengan "lubang kunci" pada enzim atau reseptor tubuh. Bentuk tiga dimensi yang sedikit berbeda dapat membuat obat tidak bekerja.



Gas di gardu listrik

Belerang heksafluorida SF_6 yang oktahedral, nonpolar, dan sangat stabil dipakai sebagai gas penyekat di gardu induk. Sayangnya ia gas rumah kaca yang sangat kuat, jadi kebocorannya harus dicegah.



CO_2 dan pemanasan global

CO_2 nonpolar, tetapi saat molekulnya bergetar menekuk, untuk sesaat ia punya dipol. Getaran inilah yang menyerap sinar inframerah dari Bumi dan menahan panas di atmosfer.



Aroma dan rasa

Reseptor di hidung dan lidah mengenali molekul antara lain dari bentuk dan kepolarannya. Itulah sebabnya mentol terasa dingin dan aroma pandan begitu khas.



Cek Cepat

Gas berilium klorida, BeCl_2 , berbentuk ...

bengkok

segitiga datar

linear

tetrahedral

Hibridisasi atom C dalam CO_2 adalah ...

sp

sp^2

sp^3

sp^3d

Manakah molekul yang polar?

CO₂

BF₃

CCl₄

NH₃

Kunci Cek Cepat: 1. C · 2. A · 3. D



Tantangan Rumah: model VSEPR dari balon

Bahan: 8 balon tiup bulat (2 warna; boleh juga balon panjang), pompa balon tangan, benang atau karet gelang, busur derajat, spidol, 1 bola plastisin, beberapa tusuk gigi.

1. Tiup balon dengan pompa sampai sebesar kepalan tangan dan usahakan ukurannya sama. Ikat simpulnya.
2. Ikat 2 balon pada simpulnya menjadi satu, lalu lepaskan. Amati bentuknya. Ulangi dengan 3, 4, 5, dan 6 balon (ikat berpasangan dulu, lalu gabungkan pasangan-pasangan itu).
3. Untuk kelompok 4 balon, ganti satu balon dengan balon warna lain yang ditiup lebih besar (pemeran PEB). Lalu coba dua balon besar.
4. Ukur sudut di antara dua balon kecil dengan busur derajat yang ditempelkan di simpul.
5. Buat versi mini: tusukkan tusuk gigi ke bola plastisin untuk membuat model CH₄, NH₃, dan H₂O.

Keselamatan: pakai pompa, bukan mulut, dan jangan meniup berlebihan dekat wajah karena balon bisa meletus. Bila ada yang alergi lateks, pakai balon nonlateks. Balon kempis dan pecahan balon berbahaya bila tertelan anak kecil: segera buang ke tempat sampah. Patahkan ujung tusuk gigi yang runcing dan kerjakan bersama orang dewasa.

Pertanyaan: Apakah sudut di antara balon kecil menyempit ketika ada balon besar? Bentuk apa yang terlihat bila balon besar "disembunyikan" (bayangkan tidak ada)?



RINGKASAN KILAT

Bab 12 dalam 3 menit

✓ Kamu sekarang bisa...

- menghitung **jumlah domain elektron** atom pusat dan menuliskan **notasi VSEPR AX_nE_m**
- meramalkan **bentuk molekul** (dari linear sampai oktahedral beserta turunannya) dan sudut ikatannya
- menjelaskan mengapa **pasangan elektron bebas** menyempitkan sudut: 109,5° → 107° → 104,5°

- menentukan **kepolaran molekul** dari bentuk dan arah dipol ikatannya
- menjelaskan **hibridisasi** sp , sp^2 , sp^3 , sp^3d , sp^3d^2 serta membedakan **ikatan sigma (σ)** dan **pi (π)**, termasuk sekilas teori orbital molekul O_2

Istilah kunci

VSEPR

domain elektron

pasangan elektron ikatan (PEI)

pasangan elektron bebas (PEB)

notasi VSEPR AX_nE_m

geometri domain

momen dipol

molekul polar

Hibridisasi

Ikatan sigma (σ)

Ikatan pi (π)

paramagnetik

Rumus penting

$$D = \frac{1}{2} (V + L - q)$$

Jumlah domain elektron atom pusat. Elektron valensi atom pusat ditambah sumbangan atom tetangga, dikurangi muatan ion, lalu dibagi dua: itulah banyaknya 'balon' di sekitar atom pusat. Kurangi dengan jumlah atom terikat untuk mendapatkan pasangan bebas.

$$\mu_{\text{bersih}} = 2 \mu_{\text{ikatan}} \cos \frac{\theta}{2}$$

Dipol bersih molekul tiga atom. Dua panah dipol ikatan yang sama besar dijumlahkan. Makin lebar sudut di antara keduanya, makin banyak yang saling meniadakan. Pada 180° , hasilnya nol.

$$\cos \theta = -\frac{1}{n}$$

Sudut antara dua orbital hibrida sp^n . Makin banyak 'rasa p' dalam orbital hibrida (n makin besar), makin sempit sudut di antara orbital-orbitalnya. sp memberi 180° , sp^2 memberi 120° , sp^3 memberi $109,5^\circ$.

$$\text{orde} = \frac{1}{2} (n_{\text{ikatan}} - n_{\text{antiikatan}})$$

Orde ikatan dari teori orbital molekul. Setiap pasangan elektron di orbital ikatan menambah 'separuh lem dua kali', setiap pasangan di orbital antiikatan mengurangi. Orde ikatan 0 berarti molekul tidak terbentuk.

Jangan sampai terjebak

- Ikatan rangkap tidak dihitung sebagai dua atau tiga domain.
- Geometri domain tidak sama dengan bentuk molekul.
- Ikatan polar tidak menjamin molekul polar.

 **Tangga Latihan:** 24 soal bab ini (Lv 1 Pemula sampai Lv 6 Olimpiade) ada di PDF Bank Soal dan di aurumgen.my.id/chemipedia#soal?bab=12

Teka-teki untuk Bab 13

Air (M_r 18) mendidih pada 100 °C, sedangkan hidrogen sulfida, H_2S (M_r 34), yang hampir dua kali lebih berat sudah berupa gas pada suhu kamar (titik didihnya sekitar -60 °C). Keduanya sama-sama molekul bengkok. Siapa yang "curang"?

▼ Intip petunjuk

Ingat ukuran keelektronegatifan dan bentuknya: O jauh lebih elektronegatif daripada S, sehingga molekul air sangat polar, dan atom H-nya yang sangat positif tertarik kuat ke PEB molekul air tetangganya. Tarikan khusus antarmolekul ini disebut **ikatan hidrogen**, bintang utama Bab 13.

13 Gaya Antarmolekul & Ikatan Logam: Lem Tak Kasatmata

Air (Mr 18) mendidih pada 100 °C, padahal H₂S (Mr 34) yang hampir dua kali lebih berat sudah menjadi gas jauh di bawah suhu kamar. Sendok logam bisa dibengkokkan, tetapi garam batu pecah saat dipukul. Rahasiannya ada pada "lem" tak kasatmata di antara partikel dan pada lautan elektron di dalam logam.

Setelah bab ini, kamu bisa

- membedakan **ikatan** (di dalam molekul) dari **gaya antarmolekul** (di antara molekul), lalu menjelaskan gaya London, dipol-dipol, dan ikatan hidrogen;
- menentukan gaya antarmolekul terkuat dari struktur molekul dan **meramalkan urutan titik didih**, termasuk anomali H₂O, HF, dan NH₃;
- menjelaskan tegangan permukaan, kelarutan, kekentalan, dan **es yang mengapung** pada tingkat partikel;
- menjelaskan **ikatan logam** dengan model lautan elektron, sifat-sifat logam, dan mengapa **paduan** (perunggu gamelan, kuningan) lebih keras;
- membandingkan **struktur kovalen raksasa** (intan, grafit, grafena, silika) dengan zat molekuler seperti fullerena C₆₀.

KLIP YANG TIDAK MAU TENGGELAM

KOMIK • 4 PANEL

Sore hari, kolam ikan di belakang sekolah

LARAS

Bim, lihat! Anggang-anggang itu berjalan di atas air. Kalkunya hanya membuat lekukan kecil, tetapi tidak tenggelam.

anggang-anggang

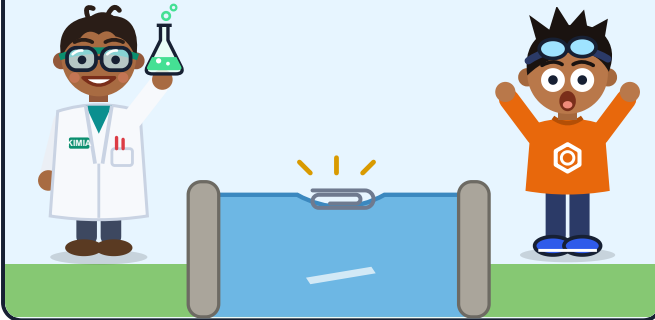
BIMA

Itu kan serangga, ringan. Klip kertas dari besi pasti langsung tenggelam. Kutaruh pelan-pelan di atas tisu, ya...

pelan-pelan...

KAK TIRTA

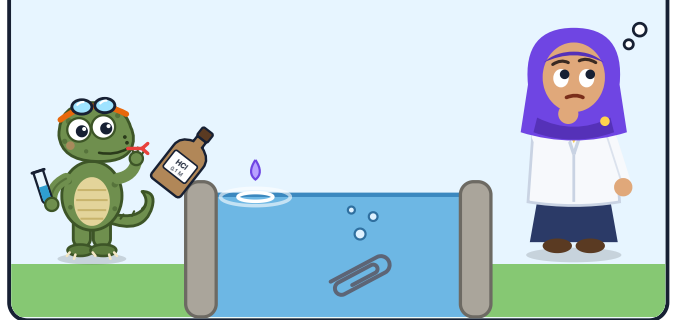
Besi hampir 8 kali lebih rapat daripada air, Bim. Klipmu ditahan "kulit" air: molekul-molekul air di permukaan saling bergandengan erat.

LHO?!**KIMO**

Setetes sabun saja, gandengannya merenggang, dan... klipnya tenggelam!

LARAS

Molekul air kan netral. Bergandengan pakai apa, ya?

BLUP!**Tebak Dulu!**

Saat air di panci mendidih, muncul gelembung-gelembung besar dari dasar panci. Gelembung itu berisi apa?

Gas hidrogen dan gas oksigen, karena panas memutus ikatan O-H dalam molekul air.

Udara yang tadinya terperangkap di dasar panci.

Uap air, yaitu molekul H_2O utuh yang saling berjauhan.

Tidak berisi apa-apa (ruang hampa).

Jawabannya: uap air. Saat mendidih, molekul air hanya saling melepaskan diri dari tetangganya. Ikatan O-H di dalam molekul tetap utuh: untuk memutusnya dibutuhkan suhu ribuan derajat. Kalau gelembungnya berisi hidrogen dan oksigen, setiap dapur akan meledak! Yang diputus saat mendidih adalah "lem" lemah di antara molekul, tokoh utama bab ini.

13.1 Ikatan di dalam, gaya di antara: gaya London

Di Bab 11 kamu belajar bahwa atom-atom di dalam molekul diikat oleh **ikatan kovalen** yang kuat. Namun, air, minyak, dan lilin bukan sekadar tumpukan molekul yang lepas satu sama lain. Ada sesuatu yang membuat molekul-molekul itu saling menempel, sehingga air bisa cair dan lilin bisa padat.

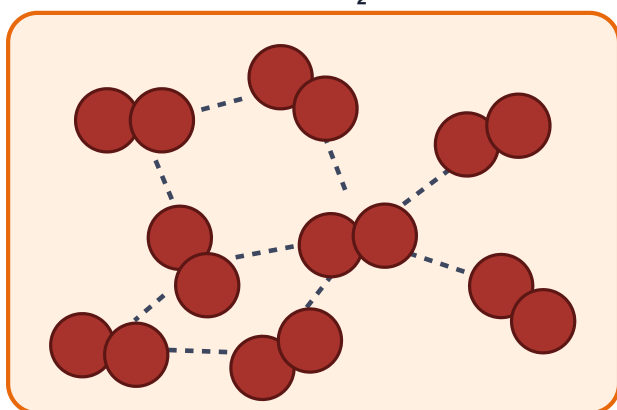
Bahasa sederhana • Bayangkan setiap molekul seperti sebuah kalung manik-manik. Benang yang mengikat manik-manik adalah **ikatan**: sangat kuat. Kalung-kalung itu juga saling menempel lemah, seperti perekat pada sepatu. Saat air mendidih, yang terlepas hanya perekatnya, bukan benang kalungnya.



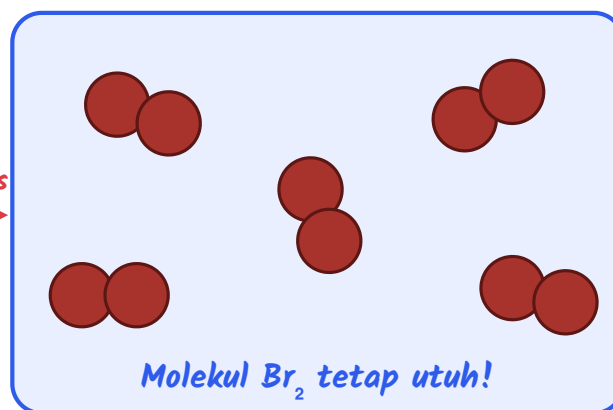
DEFINISI • GAYA ANTARMOLEKUL

Gaya antarmolekul adalah gaya tarik-menarik yang relatif lemah **di antara** molekul-molekul yang berdekatan. Gaya ini berbeda dari **ikatan** (intramolekul) yang mengikat atom-atom **di dalam** molekul. Tiga jenis utamanya: **gaya London** (gaya dispersi), **gaya dipol-dipol**, dan **ikatan hidrogen**. Gaya London dan dipol-dipol sering disebut bersama sebagai **gaya van der Waals**.

Brom cair, Br₂ (20 °C)



Uap brom (di atas 59 °C)



●● ikatan kovalen Br-Br: 193 kJ/mol (di DALAM molekul) - - - gaya London: penguapan ±30 kJ/mol

Saat brom mendidih, yang dikalahkan hanyalah gaya London di antara molekul (garis putus-putus). Ikatan Br-Br yang enam kali lebih kuat tetap utuh. (Brom beracun dan berbau tajam, jadi hanya kita lihat dari gambar.)



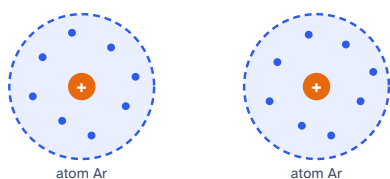
AWAS JEBAKAN

Saat zat molekuler meleleh atau mendidih, yang diputus hanyalah gaya antarmolekul, bukan ikatan kovalen di dalam molekul. Uap air tetap H₂O, bukan campuran gas H₂ dan O₂. Jadi titik didih yang tinggi berarti **gaya antarmolekulnya** kuat, bukan ikatannya.

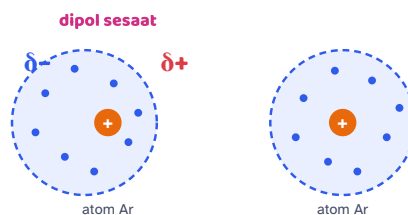
Jenis tarikan	Terjadi di antara	Kekuatan kira-kira (kJ/mol)
Ikatan kovalen (O-H, C-C)	atom-atom di dalam molekul	150-1.100 (O-H: 463)
Ikatan ion / ikatan logam	ion-ion dalam kisi / ion logam dan lautan elektron	ratusan sampai ribuan
Ikatan hidrogen	molekul dengan H-F, H-O, atau H-N	±10-40
Dipol-dipol	molekul polar	±5-25

Gaya London: dipol sesaat yang menular

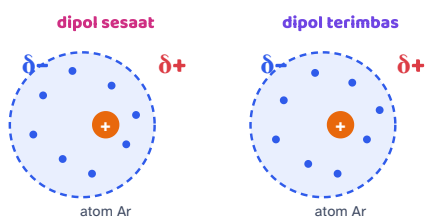
Molekul nonpolar seperti Br_2 , CH_4 , atau atom gas mulia tidak bermuatan dan tidak punya kutub. Lalu mengapa brom bisa cair dan argon bisa mencair bila didinginkan? Kuncinya: elektron selalu bergerak. Pada suatu saat, awan elektron bisa lebih banyak di satu sisi. Lahirlah **dipol sesaat** yang lalu "menular" ke tetangganya.



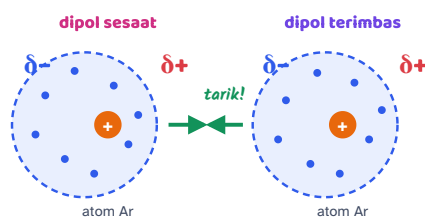
Langkah 1. Dua atom argon yang netral. Rata-rata, awan elektron tersebar merata di sekeliling inti.



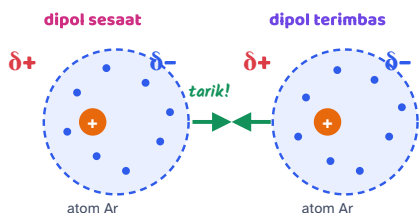
Langkah 2. Pada suatu saat, elektron atom kiri kebetulan berkumpul di sisi kiri. Atom itu menjadi **dipol sesaat**: sisi kiri δ^- , sisi kanan δ^+ .



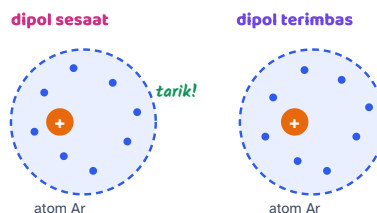
Langkah 3. Sisi δ^+ menarik elektron atom kanan. Awan atom kanan ikut bergeser, menjadi **dipol terimbas**.



Langkah 4. Ujung δ^+ dan δ^- yang berhadapan saling tarik. Inilah **gaya London**, tarikan yang sangat singkat tetapi terjadi terus-menerus.



Langkah 5. Sesaat kemudian, arahnya berbalik, tetapi kedua dipol tetap berhadapan dengan kutub yang berlawanan. Rata-rata, hasilnya selalu tarik-menarik.



(2 e): -269°C · Ar (18 e): -186°C · Xe (54 e): -108°C — awan besar lebih mudah "bergoyang"

Langkah 6. Makin banyak elektron, awan makin besar dan mudah berubah bentuk (polarisabilitas besar), sehingga gaya London makin kuat dan titik didih makin tinggi.



ATURAN • KEKUATAN GAYA LONDON

Gaya London ada pada **semua** molekul dan atom. Kekuatannya bertambah bila:

1. **jumlah elektron bertambah** (biasanya sejalan dengan Mr yang lebih besar), karena awan elektron yang besar lebih mudah terdistorsi;
2. **bidang sentuh antarmolekul lebih luas**: molekul panjang dan lurus saling menempel lebih banyak daripada molekul yang bulat atau bercabang.

Zat	Jumlah elektron	Titik didih	Wujud pada 25 °C
He / Ar / Xe	2 / 18 / 54	−269 / −186 / −108 °C	gas
F ₂	18	−188 °C	gas kuning pucat
Cl ₂	34	−34 °C	gas kuning kehijauan
Br ₂	70	59 °C	cair merah cokelat
I ₂	106	184 °C (meleleh 114 °C)	padat ungu kehitaman



TAMU DARI MASA LALU

Pada 1873, **Johannes Diderik van der Waals** dari Belanda menulis disertasi yang menduga ada tarikan lemah di antara partikel gas. Dugaannya menjelaskan mengapa gas nyata bisa dicairkan, dan ia meraih Nobel Fisika 1910. Asal-usul tarikan antara molekul nonpolar baru dijelaskan pada 1930 oleh fisikawan Jerman **Fritz London** memakai mekanika kuantum. Namanya kini melekat pada gaya itu.



Tebak Dulu!

n-Pentana (rantai lurus) dan neopentana (berbentuk bulat) sama-sama C_5H_{12} , Mr 72, dan jumlah elektronnya sama. Mana yang titik didihnya lebih tinggi?

Sama, karena rumus molekul dan Mr-nya sama.

n-Pentana (36 °C), jauh di atas neopentana (9,5 °C).

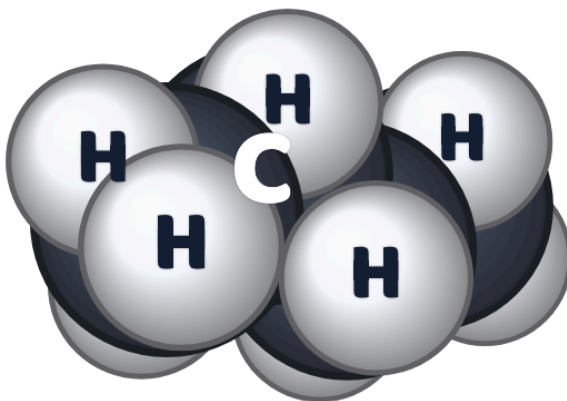
Neopentana, karena molekul yang bulat lebih padat.

Tidak bisa diramalkan tanpa percobaan.

Jawabannya: n-pentana. Molekul lurus seperti **sosis**: bisa saling menempel di sepanjang badannya. Neopentana seperti **bakso**: hanya bersentuhan di satu titik kecil. Bidang sentuh yang lebih luas berarti gaya London lebih kuat, sehingga n-pentana butuh suhu lebih tinggi untuk mendidih.

MOLEKUL 3D

Sosis vs bakso: bentuk molekul dan gaya London



Seret untuk memutar · ketuk atom untuk mengukur

Butana (n-butana) C_4H_{10}

Mr $\approx$ 58,12

[PubChem](#)

Isi korek gas dan LPG. Isomernya: isobutana.

Pakai model **isi ruang** dan bandingkan pasangan isomer. Butana yang memanjang mendidih pada $-0,5$ °C, isobutana yang bercabang pada -12 °C. n-Oktana mendidih pada 126 °C, sedangkan isooktana (2,2,4-

trimetilpentana) pada 99 °C. Putar molekulnya: mana yang punya "badan" lebih panjang untuk bersentuhan dengan tetangganya?

Pada alkana rantai lurus, setiap tambahan satu gugus CH₂ menambah 8 elektron dan memperpanjang molekul. Titik didihnya naik teratur, tetapi kenaikannya makin lama makin kecil. Ahli kimia minyak bumi merangkumnya dalam rumus empiris berikut.

RUMUS HIDUP Titik didih alkana rantai lurus (perkiraan)

$$T_b \approx 745,42 \log(n + 4,4) - 689,46$$

Setiap tambahan satu atom C memperpanjang 'sosis' molekul sehingga gaya London bertambah; tambahannya makin lama makin kecil.

n Jumlah atom C atom

T_b Titik didih °C

TITIK DIDIH

36

°C

 cair dan mudah menguap: rentang bensin (±C5–C12)

Alkana rantai lurus dengan **5** atom C mendidih pada sekitar **36 °C**, atau **309,079 K**.

Cek satuan: rumus empiris (persamaan Egloff); log berbasis 10; hasil dalam °C

RUMUS HIDUP: GESER NILAINYA DAN KUMPULKAN KARTUNYA DI [AURUMGEN.MY.ID/CHEMIPEDIA#RM-DIDIH-ALKANA-EGLOFF](https://aurumgen.my.id/chemipedia#rm-didih-alkana-egloff)

**MENGAPA GAYA LONDON CEPAT MELEMAH?**

Energi tarik London antara dua partikel kira-kira sebanding dengan kuadrat **polarisabilitas** α (seberapa mudah awan elektron terdistorsi) dan berbanding terbalik dengan pangkat enam jarak:

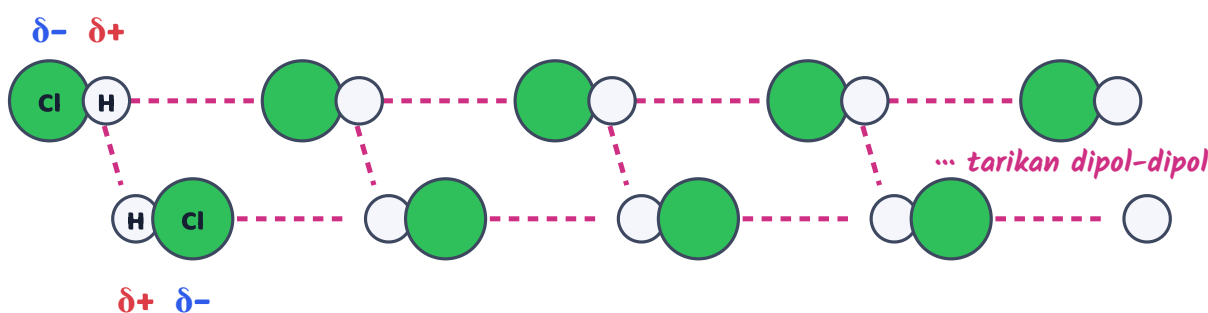
$$E_{\text{London}} \propto -\frac{\alpha^2}{r^6}$$

Jika jarak dijadikan dua kali lipat, tarikannya tinggal $1/2^6 = 1/64$. Itulah sebabnya gaya antarmolekul hampir tidak berarti dalam gas (molekul berjauhan, lihat Bab 14), tetapi sangat penting dalam cairan dan padatan. Selain dipol sesaat-dipol terimbas (London), ada juga tarikan **dipol permanen-dipol terimbas** (gaya Debye) dan **dipol permanen-dipol permanen** (gaya Keesom).

13.2 Gaya dipol-dipol: magnet-magnet kecil

Di Bab 12 kamu menemukan bahwa molekul seperti HCl bersifat **polar**: atom Cl yang lebih elektronegatif menarik pasangan elektron ikatan, sehingga ujung Cl bermuatan parsial negatif (δ^-) dan ujung H positif (δ^+). Dipol ini **permanen**, tidak datang dan pergi seperti dipol sesaat.

Bahasa sederhana • Molekul polar mirip magnet batang kecil. Bila banyak magnet ditaruh berdekatan, mereka berputar sendiri supaya kutub yang berlawanan saling berhadapan, lalu menempel. Molekul polar juga begitu.



Molekul HCl dalam cairan cenderung menata diri: ujung δ^+ (H) berhadapan dengan ujung δ^- (Cl) molekul tetangga. Tarikan dipol-dipol ini **menambah** gaya London yang tetap ada.

Cara paling adil untuk melihat pengaruh dipol adalah membandingkan zat dengan jumlah elektron (atau Mr) yang hampir sama, sehingga gaya London-nya setara:

Pasangan	Mr	Polar?	Titik didih
F ₂ vs HCl	38 vs 36,5	tidak vs ya	−188 °C vs −85 °C

Br₂ vs ICl

159,8 vs 162,4

tidak vs ya

59 °C vs 97 °C

butana vs aseton (propanon)

58 vs 58

tidak vs ya (C=O)

−0,5 °C vs 56 °C



AWAS JEBAKAN

Molekul polar tidak selalu mendidih lebih tinggi. HCl lebih polar daripada HI, tetapi HI mendidih pada −35 °C, jauh di atas HCl (−85 °C). HI punya 54 elektron (HCl hanya 18), sehingga gaya London-nya jauh lebih besar dan mengalahkan selisih kepolaran. Bandingkan dipol-dipol hanya bila ukuran molekulnya mirip.



TRIK KAK TIRTA • TIGA PERTANYAAN DETEKTIF

Untuk setiap zat molekuler, tanyakan berurutan:

1. Adakah atom **H yang menempel langsung pada F, O, atau N**? Jika ya → ada **ikatan hidrogen**.
2. Apakah molekulnya **polar** (bentuknya tidak simetris)? Jika ya → ada **dipol-dipol**.
3. Selalu ada **gaya London**. Makin banyak elektron dan makin panjang molekulnya, makin kuat. Saat membandingkan titik didih: jika Mr mirip, jenis gaya yang menentukan; jika jenis gayanya sama, ukuran dan bentuk yang menentukan.

CONTOH

Detektif gaya antarmolekul

Tentukan gaya antarmolekul terkuat di antara molekul-molekul zat berikut: (a) metana CH₄, (b) hidrogen klorida HCl, (c) metanol CH₃OH, (d) karbon dioksida CO₂.

- 1 CH₄: H menempel pada C (bukan F, O, N); molekul tetrahedral simetris sehingga nonpolar → hanya **gaya London**.
- 2 HCl: H menempel pada Cl (bukan F, O, N); molekul polar → **dipol-dipol** (plus London).
- 3 CH₃OH: ada H yang menempel langsung pada O → **ikatan hidrogen** (plus dipol-dipol dan London).
- 4 CO₂: ikatan C=O polar, tetapi molekulnya lurus sehingga dipolnya saling meniadakan → hanya **gaya London**.

(a) London, (b) dipol-dipol, (c) ikatan hidrogen, (d) London. Perhatikan jebakan pada CO₂: ikatan polar belum tentu menghasilkan molekul polar.

13.3 Ikatan hidrogen: si "curang" pada air

Kembali ke teka-teki Bab 12: air (Mr 18) mendidih pada 100 °C, sedangkan H₂S (Mr 34) sudah mendidih pada -60 °C. Menurut gaya London, H₂S yang lebih berat seharusnya mendidih lebih tinggi. Air "curang" karena punya tarikan istimewa yang tidak dimiliki H₂S.

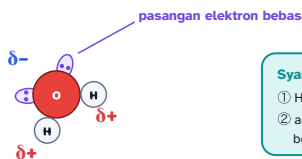


DEFINISI • IKATAN HIDROGEN

Ikatan hidrogen adalah tarikan antarmolekul yang kuat antara atom **H yang terikat kovalen pada atom sangat elektronegatif (F, O, atau N)** dan **pasangan elektron bebas pada atom F, O, atau N** lain. Ditulis dengan titik-titik: O—H...O, N—H...O, F—H...F.

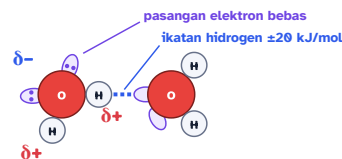
Mengapa hanya F, O, dan N? Ketiganya sangat elektronegatif dan kecil. Mereka menarik elektron ikatan begitu kuat sehingga atom H, yang tidak punya elektron lain, tinggal seperti **proton yang hampir telanjang**. Ujung δ^+ yang mungil dan pekat ini dapat mendekat sangat rapat ke pasangan elektron bebas molekul tetangga.

Bahasa sederhana • Pada air, setiap molekul punya dua "tangan" (dua atom H) dan dua "kantong" (dua pasangan elektron bebas pada O). Tangan satu molekul bisa memegang kantong molekul lain. Akibatnya, molekul-molekul air saling bergandengan membentuk jaringan besar, seperti anak-anak yang bergandengan tangan dalam permainan ular naga.



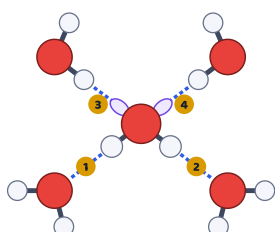
Syarat ikatan hidrogen:
 ① H menempel pada F, O, N
 ② ada pasangan elektron bebas F, O, N tetangga

Langkah 1. Satu molekul air: O bermuatan parsial negatif (δ^-) dan punya dua pasangan elektron bebas; kedua H bermuatan parsial positif (δ^+).



— ikatan kovalen O-H: 463 kJ/mol (di dalam molekul, tidak putus saat mendidih)
 ikatan hidrogen: ±20 kJ/mol (di antara molekul, putus-sambung terus)

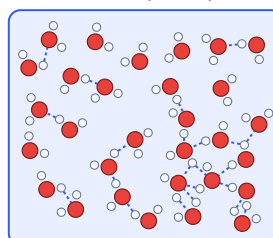
Langkah 2. Atom H molekul kiri tertarik ke pasangan elektron bebas O molekul kanan: terbentuk **ikatan hidrogen** (garis putus-putus). Kuat untuk ukuran gaya antarmolekul, tetapi ±20 kali lebih lemah daripada ikatan kovalen O-H.



Setiap molekul air:
 • 2 atom H → 2 ikatan
 • 2 pasangan elektron bebas → 2 ikatan lagi
 = **hingga 4 ikatan H**
 (susunan tetrahedral)

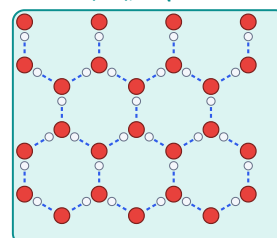
Langkah 3. Setiap molekul air dapat membentuk hingga **empat** ikatan hidrogen: dua lewat atom H-nya, dua lewat pasangan elektron bebasnya. Susunannya tetrahedral.

AIR CAIR (±0–4 °C)



ikatan H putus-sambung; molekul rapat

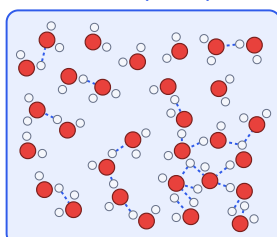
ES (0 °C), tampak atas



ikatan H tetap; kisi segi enam berongga

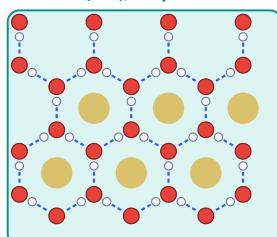
Langkah 4. Dalam air cair, ikatan hidrogen terus putus dan tersambung, sehingga molekul bisa saling mendekat. Dalam es, setiap molekul terkunci dalam kisi segi enam (ikatan keempat mengarah ke depan atau belakang layar).

AIR CAIR (±0–4 °C)



$\rho \approx 1,00 \text{ g/cm}^3$ (lebih rapat)

ES (0 °C), tampak atas



$\rho \approx 0,92 \text{ g/cm}^3 \rightarrow$ es mengapung!

Langkah 5. Kisi es menyisakan ruang kosong (kuning), sehingga volume es ±9% lebih besar daripada air asalnya. Massa jenis es lebih kecil, maka **es mengapung**.



TRIK KIMO • HIDROGEN NAIK "FON"

Ingat kata **FON**: **F**luorin, **O**ksigen, **N**itrogen. Ikatan hidrogen hanya terjadi jika H "menumpang" langsung pada salah satu anggota FON, lalu "menelepon" pasangan elektron bebas anggota FON lain. H pada C (seperti di CH_4) tidak bisa menelepon siapa pun.



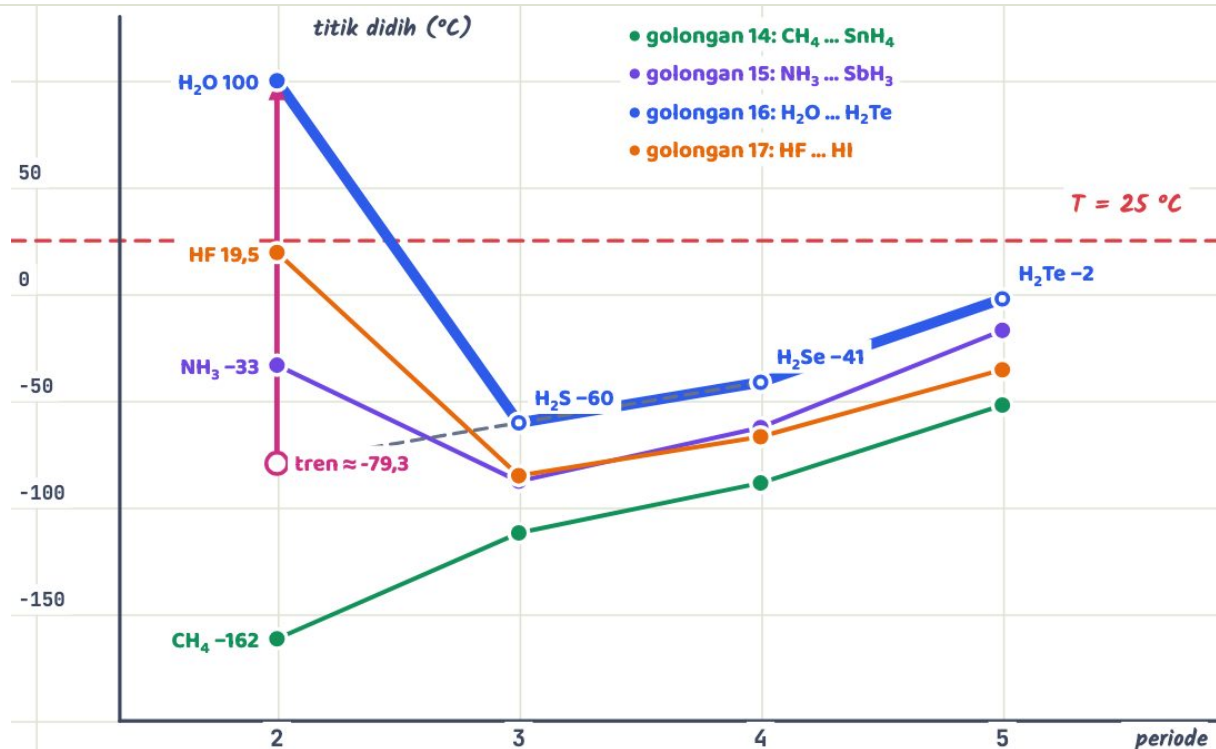
AWAS JEBAKAN

Ikatan hidrogen bukan ikatan kovalen yang mengandung hidrogen. Ikatan O–H di dalam molekul air adalah ikatan kovalen (463 kJ/mol), sedangkan ikatan hidrogen adalah tarikan **antarmolekul** $\text{O}-\text{H}\cdots\text{O}$ (± 20 kJ/mol). Waspada! juga molekul yang punya O dan H tetapi H-nya menempel pada C, seperti dimetil eter CH_3OCH_3 : molekul-molekulnya tidak berikatan hidrogen satu sama lain.

Sekarang lihat data titik didih hidrida (senyawa unsur dengan hidrogen) golongan 14 sampai 17. Untuk setiap golongan, titik didih biasanya naik dari periode 3 ke 5 karena jumlah elektron bertambah. Namun, tiga anggota periode 2 melompat keluar dari tren.

$$T_b = f(\text{periode})$$

$$T_b^{\text{nyata}} = 100\text{ }^{\circ}\text{C}, \quad T_b^{\text{tren}} \approx -79,3\text{ }^{\circ}\text{C}$$



$\text{H}_2\text{O} \pm 180\text{ }^{\circ}\text{C}$ di atas tren: tiap molekul air bisa membentuk hingga 4 ikatan hidrogen

pada suhu ini, dari 16 hidrida hanya H_2O yang belum mendidih

zat periode 2

H_2O

titik didih nyata

$100\text{ }^{\circ}\text{C}$

perkiraan dari tren

$-79\text{ }^{\circ}\text{C}$

selisih

$179\text{ }^{\circ}\text{C}$

hidrida yang belum mendidih pada T

1 dari 16

Geser **golongan** untuk menyurut satu garis. Garis putus-putus memperpanjang tren periode 3–4 ke periode 2: itulah titik didih "seharusnya" tanpa ikatan hidrogen. Panah magenta menunjukkan sumbangan ikatan hidrogen. Lalu geser **suhu lingkungan** ke $25\text{ }^{\circ}\text{C}$: berapa hidrida yang masih cair?

Grafik itu memperlihatkan tiga "pencurang": H_2O , HF , dan NH_3 . Ketiganya punya H yang menempel pada F, O, atau N. CH_4 tidak curang sama sekali. Tanpa ikatan hidrogen, air diperkirakan mendidih sekitar $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$, dan Bumi tidak akan punya lautan!

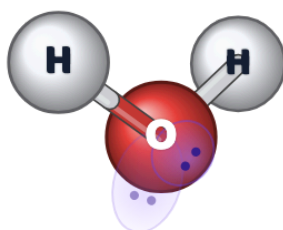
COBA SENDIRI Mengapa air mengalahkan HF?

Ikatan hidrogen $F-H \cdots F$ secara individu lebih kuat daripada $O-H \cdots O$, karena F lebih elektronegatif. Namun, titik didih HF (19,5 °C) jauh di bawah air (100 °C). Jelaskan. Mengapa NH_3 (-33 °C) paling rendah di antara ketiganya?

- 1 Hitung "tangan" (H pada F/O/N) dan "kantong" (pasangan elektron bebas) per molekul. H_2O : 2 H dan 2 pasangan bebas. HF: 1 H dan 3 pasangan bebas. NH_3 : 3 H dan 1 pasangan bebas.
- 2 Setiap ikatan hidrogen butuh satu tangan dan satu kantong. Jumlah ikatan dibatasi oleh yang paling sedikit: air bisa memakai semua $2 + 2$ (hingga 4 ikatan per molekul, rata-rata 2 ikatan untuk setiap molekul), sedangkan HF dan NH_3 dibatasi oleh angka 1 (rata-rata hanya ± 1 ikatan per molekul).
- 3 HF hanya membentuk rantai zig-zag, bukan jaringan tiga dimensi. Jaringan ikatan hidrogen air jauh lebih luas, sehingga lebih banyak energi diperlukan untuk memisahkan molekulnya.
- 4 NH_3 juga dibatasi oleh satu pasangan bebas, **dan** N kurang elektronegatif daripada F dan O, sehingga setiap ikatan hidrogennya paling lemah.

Yang menentukan bukan hanya kekuatan satu ikatan hidrogen, tetapi juga jumlahnya per molekul. Urutan titik didih: H_2O (100 °C) > HF (19,5 °C) > NH_3 (-33 °C).

MOLEKUL 3D Siapa yang bisa berikatan hidrogen?



Seret untuk memutar · ketuk atom untuk mengukur

Air H_2O

Mr $\approx 18,02$

[PubChem](#)

Molekul bengkok dengan sudut $\pm 104,5^\circ$. Dua pasang elektron bebas pada O membuatnya polar dan mampu berikatan hidrogen.

Pasangan elektron bebas sudah dinyalakan. Untuk setiap molekul, cari atom H yang menempel langsung pada F, O, atau N. Bandingkan **etanol** dan **dimetil eter**: rumusnya sama, C_2H_6O , tetapi hanya etanol yang punya gugus O-H. Etanol mendidih pada $78^\circ C$, dimetil eter pada $-24^\circ C$. Nyalakan juga panah dipol!

KERJAKAN BERSAMA

Kembar rumus, beda nasib

Urutkan titik didih propana $CH_3CH_2CH_3$ (Mr 44), dimetil eter CH_3OCH_3 (Mr 46), dan etanol CH_3CH_2OH (Mr 46) dari yang terendah. Jelaskan.

- 1 Mr ketiganya hampir sama, jadi gaya London-nya setara. Yang membedakan adalah jenis gaya lainnya.
- 2 Propana: nonpolar, hanya London $\rightarrow$ paling rendah.
- 3 Dimetil eter: bentuknya bengkok di O sehingga polar $\rightarrow$ London + dipol-dipol. Semua H menempel pada C, jadi tidak ada ikatan hidrogen antarmolekul.
- 4 Etanol: ada gugus O-H $\rightarrow$ ikatan hidrogen + dipol-dipol + London $\rightarrow$ paling tinggi.

Propana ($-42^\circ C$) < dimetil eter ($-24^\circ C$) < etanol ($78^\circ C$). Satu gugus O-H menaikkan titik didih lebih dari $100^\circ C$!

Es yang mengapung: keanehan yang menyelamatkan kehidupan

Hampir semua zat lebih rapat dalam wujud padat daripada cair, sehingga padatnya tenggelam. Lilin padat tenggelam dalam lilin cair, mentega beku tenggelam dalam mentega cair. Air adalah pengecualian terkenal: kisi es yang dibangun oleh ikatan hidrogen berongga, sehingga massa jenis es ($0,917\text{ g/cm}^3$) lebih kecil daripada air ($1,000\text{ g/cm}^3$).

$$f = \left(1 - \frac{\rho_{\text{es}}}{\rho_{\text{cair}}} \right) \times 100\%$$

Benda yang mengapung tercelup sebanyak perbandingan massa jenisnya dengan cairan; sisanya menyembul di atas permukaan.

 ρ_{es} Massa jenis es g/cm³ ρ_{cair} Massa jenis cairan g/cm³ f

Volume yang menyembul %

VOLUME YANG MENYEMBUL

8,3

%



es batu di segelas es teler

Es bermassa jenis **0,917** g/cm³ dalam cairan **1** g/cm³: **8,3** % volumenya berada di atas permukaan.

Cek satuan: (g/cm³ ÷ g/cm³) × 100% = % ✓

RUMUS HIDUP: GESER NILAINYA DAN KUMPULKAN KARTUNYA DI AURUMGEN.MY.ID/CHEMIPEDIA#RM-ES-MENYEMBUL

Karena es mengapung, danau di negeri bermusim dingin membeku dari atas. Lapisan es menjadi selimut yang melindungi air di bawahnya, sehingga ikan tetap hidup sepanjang musim dingin. Sebaliknya, pemuatan saat membeku bisa merusak: botol kaca berisi air penuh dapat pecah di dalam freezer.



KIMIA NUSANTARA · EMBUN UPAS DI DIENG

Pada puncak musim kemarau (sekitar Juli–Agustus), suhu dini hari di Dataran Tinggi Dieng (±2.000 m) bisa turun di bawah 0 °C. Embun di daun kentang membeku menjadi kristal es yang oleh warga disebut **embun upas** ("embun racun"). Es itu sebenarnya tidak beracun. Air di dalam sel daun ikut membeku dan memuai ±9%, sehingga dinding sel rusak dan daun menghitam. Wisatawan menyukai pemandangannya, tetapi petani kentang merugi.



TAMU DARI MASA LALU

Istilah ikatan hidrogen dipopulerkan oleh **Linus Pauling** dalam bukunya *The Nature of the Chemical Bond* (1939). Empat belas tahun kemudian, **James Watson** dan **Francis Crick** (1953), dengan bantuan foto difraksi sinar-X karya **Rosalind Franklin**, menyimpulkan bahwa dua untai DNA dirapatkan oleh ikatan hidrogen antara pasangan basa: adenin–timin (2 ikatan) dan guanin–sitosin (3 ikatan). Saat tes PCR, DNA dipanaskan $\pm 95^\circ\text{C}$ agar kedua untainya terpisah. Yang putus hanya ikatan hidrogennya, sedangkan untainya tetap utuh.

MITOS

"Es mengapung karena di dalamnya ada gelembung udara."

MITOS

"Saat air mendidih, molekulnya pecah menjadi hidrogen dan oksigen."

FAKTA

Es yang bening tanpa gelembung pun mengapung. Penyebabnya kisi heksagonal ikatan hidrogen yang berongga, sehingga es $\pm 9\%$ lebih renggang daripada air cair.

FAKTA

Mendidih hanya memisahkan molekul H_2O yang utuh dari tetangganya. Memecah air menjadi H_2 dan O_2 butuh elektrolisis (Bab 31) atau suhu ribuan derajat.

MITOS

"Semua senyawa yang mengandung H dan O pasti berikatan hidrogen."

FAKTA

H harus menempel langsung pada F, O, atau N. Dimetil eter CH_3OCH_3 punya O dan H, tetapi semua H-nya menempel pada C, sehingga molekul-molekulnya tidak berikatan hidrogen satu sama lain.

13.4 Dari partikel ke dunia nyata: titik didih, kelarutan, kekentalan, tegangan permukaan

Sekarang kita punya tiga "lem" dengan kekuatan berbeda. Semua sifat fisik zat molekuler di sekitarmu bisa dijelaskan dengan pertanyaan yang sama: *seberapa kuat molekul-molekulnya saling menempel?*



ATURAN • URUTAN KEKUATAN (UNTUK MOLEKUL BERUKURAN MIRIP)

ikatan hidrogen > dipol-dipol > gaya London

Makin kuat gaya antarmolekul → titik didih dan titik leleh makin tinggi, kalor penguapan makin besar, tekanan uap makin rendah (zat makin sulit menguap), tegangan permukaan dan kekentalan umumnya makin besar. Ingat: molekul yang sangat besar (lilin, oli) bisa punya gaya London yang mengalahkan ikatan hidrogen molekul kecil.

Zat (Mr ±58–60)	Gaya terkuat	Titik didih
butana C ₄ H ₁₀	London	–0,5 °C (gas pada suhu kamar)
aseton CH ₃ COCH ₃	dipol-dipol	56 °C
1-propanol CH ₃ CH ₂ CH ₂ OH	ikatan hidrogen	97 °C

Titik didih dan energi penguapan

Untuk menguapkan cairan, setiap molekul harus melepaskan diri dari semua tetangganya. Energi per mol yang dibutuhkan disebut **kalor penguapan molar**, ΔH_{vap} . Nilainya menjadi "termometer" kekuatan gaya antarmolekul: air 40,7 kJ/mol, etanol 38,6 kJ/mol, aseton 29,1 kJ/mol, dan metana hanya 8,2 kJ/mol.

$$Q = n \Delta H_{\text{vap}} = \frac{m}{M_r} \times \Delta H_{\text{vap}}$$

Energi penguapan = banyaknya mol molekul yang harus dilepas dari gandengannya dikali energi pelepasan per mol.

 m

Massa zat g

 M_r

Massa molar g/mol

 ΔH_{vap}

Kalor penguapan molar kJ/mol

 Q

Energi yang diperlukan kJ

ENERGI YANG DIPERLUKAN

40,7

kJ



air pada 100 °C

Menguapkan **18 g** zat (**1 mol**) memerlukan **40,7 kJ**. Energi sebesar itu cukup untuk memanaskan **129,825 g** air dari 25 °C sampai 100 °C.

Cek satuan: g ÷ (g/mol) × kJ/mol = kJ ✓

RUMUS HIDUP: GESER NILAINYA DAN KUMPULKAN KARTUNYA DI [AURUMGEN.MY.ID/CHEMIPEDIA#RM-KALOR-UAP-MOL](https://aurumgen.my.id/chemipedia#rm-kalor-uap-mol)

Kak Tirta lupa mematikan kompor: 1 L air (1.000 g) di panci sudah mendidih dan terus menguap sampai habis. Berapa energi untuk menguapkan semua air itu pada 100 °C? Bandingkan dengan energi untuk memanaskan 1 L air dari 25 °C ke 100 °C (kalor jenis air 4,18 J/g·°C). ($\Delta H_{\text{vap}} = 40,7$ kJ/mol; M_r air = 18)

- 1 Mol air: $n = 1.000/18 = 55,6$ mol.
- 2 Energi penguapan: $Q = 55,6 \times 40,7 = 2.261$ kJ $\approx 2,26$ MJ.
- 3 Energi pemanasan: $Q = m c \Delta T = 1.000 \times 4,18 \times 75 = 313.500$ J ≈ 314 kJ.
- 4 Perbandingan: $2.261/314 \approx 7,2$.

Menguapkan air butuh ± 2.260 kJ, sekitar 7 kali energi untuk memanaskannya dari suhu kamar sampai mendidih. Ikatan hidrogen air itu mahal! Maka merebus air terlalu lama memboroskan gas LPG.



ADU CEPAT

Energi penguapan air

ADU CEPAT • MAINKAN DI AURUMGEN.MY.ID/CHEMIPEDIA#BAB-13

Latihan kilat 60 detik dengan soal acak dan rekor pribadi.

Ubah gram ke mol ($\div 18$), lalu kalikan 40,7 kJ/mol.



LANJUT • IB & OLIMPIADE

ATURAN TROUTON DAN "KETERATURAN" CAIRAN BERIKATAN HIDROGEN

Pada titik didih, cairan dan uapnya setimbang ($\Delta G = 0$), sehingga entropi penguapan $\Delta S_{\text{vap}} = \Delta H_{\text{vap}}/T_b$. Aturan Trouton menyatakan bahwa banyak cairan "normal" punya $\Delta S_{\text{vap}} \approx 85\text{--}88$ J mol⁻¹ K⁻¹.

- Benzena: $30.700/353 = 87$ J mol⁻¹ K⁻¹ (normal)
- n-Heksana: $28.900/342 = 84$ J mol⁻¹ K⁻¹ (normal)
- Air: $40.700/373 = 109$ J mol⁻¹ K⁻¹; etanol: $38.600/351 = 110$ J mol⁻¹ K⁻¹ (menyimpang!)

Penyimpangan pada air dan etanol terjadi karena jaringan ikatan hidrogen membuat cairannya lebih teratur dari biasanya. Saat menguap, keteraturan itu runtuh, sehingga kenaikan entropinya lebih besar. Entropi dan energi bebas dibahas di Bab 20.

Kelarutan: "yang sejenis melarutkan yang sejenis"



ATURAN • LIKE DISSOLVES LIKE

Zat polar dan zat yang berikatan hidrogen cenderung larut dalam pelarut polar (air). Zat nonpolar cenderung larut dalam pelarut nonpolar (minyak, bensin, heksana). Zat larut bila tarikan baru antara zat terlarut dan pelarut kira-kira sebanding dengan tarikan lama yang harus diputus.

Gula pasir punya delapan gugus O-H, sehingga molekulnya membentuk banyak ikatan hidrogen dengan air dan mudah larut. Minyak goreng tersusun atas rantai hidrokarbon panjang yang nonpolar. Jika minyak masuk ke air, molekul air "lebih suka" tetap bergandengan dengan sesamanya lewat ikatan hidrogen, sehingga minyak terdesak keluar dan mengapung. Garam dapur larut di air karena ion Na^+ dan Cl^- ditarik kuat oleh ujung-ujung dipol air (**gaya ion-dipol**).



KIMIA NUSANTARA • SANTAN DAN MINYAK KELAPA

Santan adalah emulsi: butiran lemak kelapa yang nonpolar tersebar dalam air, dijaga oleh protein kelapa yang bekerja seperti "jembatan" antara bagian polar dan nonpolar. Jika santan dipanaskan terlalu lama tanpa diaduk, proteinnya rusak dan lemaknya memisah ("santan pecah"). Pengolah minyak kelapa tradisional justru sengaja memanaskan santan berjam-jam sampai minyaknya terpisah dari ampas coklat yang disebut *blondo*. Minyak yang nonpolar itu lalu dituang dari atas air.

Kekentalan, tegangan permukaan, dan kapilaritas

Viskositas (kekentalan) adalah hambatan cairan untuk mengalir. Molekul yang saling menempel kuat, atau molekul panjang yang saling membelit, membuat cairan kental. **Tegangan permukaan** muncul karena molekul di permukaan hanya ditarik ke samping dan ke dalam, tidak ke atas. Permukaan cairan pun berperilaku seperti kulit elastis tipis: inilah yang menahan anggang-anggang dan klip kertas di komik.

Cairan (20 °C)	Gaya antarmolekul utama	Tegangan permukaan (mN/m)	Viskositas (mPa·s)
air	ikatan hidrogen (jaringan 3D)	72,8	1,0
etanol	ikatan hidrogen (satu O-H)	22	1,2
aseton	dipol-dipol	24	0,3
n-heksana	London	18	0,3
gliserol (gliserin)	ikatan hidrogen (tiga O-H)	63	±1.400
minyak goreng	London (rantai panjang)	±32	±50–80

Kohesi adalah tarikan antarmolekul sejenis, sedangkan **adhesi** adalah tarikan ke permukaan lain. Air menempel kuat pada kaca (adhesi > kohesi), sehingga permukaannya dalam tabung melengkung cekung dan air naik di pipa sempit: **kapilaritas**. Raksa justru melengkung cembung karena kohesinya jauh lebih kuat. Kapilaritas membuat minyak tanah merambat naik pada sumbu lampu teplok dan air naik dari akar ke daun.

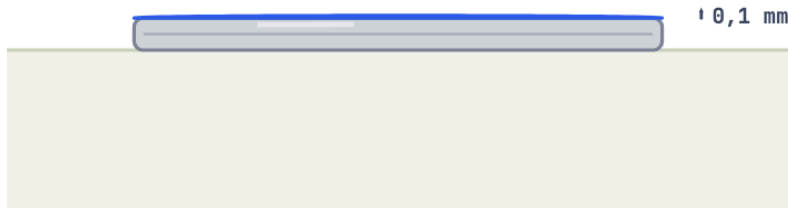
LAB MINI Kubah air di atas koin: berapa tetes muat?

LAB MINI INTERAKTIF • COBA SENDIRI DI AURUMGEN.MY.ID/CHEMIPEDIA#BAB-13

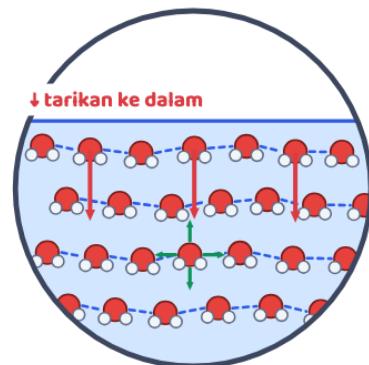
Teteskan sampai tumpah! Berapa tetes muat?

Air di atas koin Rp500

1 tetes



permukaan, diperbesar



$\gamma \pm 72 \text{ mN/m}$

Catatan percobaan:

belum ada (teteskan sampai tumpah)

Tetes yang tertampung

1

Volume

0,05 mL

Tinggi kubah

0,1 mm

Tegangan permukaan

$\pm 72 \text{ mN/m}$

Keadaan

kubah menggebu...

Pilih cairan dan koin, lalu tekan **1 tetes** berkali-kali atau ► **Jalankan** untuk meneteskan terus sampai tumpah. Bandingkan air dengan air sabun dan alkohol 70%. Lingkaran kanan memperbesar permukaan: panjang panah menunjukkan tarikan ke dalam yang membentuk "kulit" cairan. Model ini disederhanakan; hasil nyata bergantung pada pipet dan kebersihan koin.

Sabun dan deterjen adalah **surfaktan**: molekulnya punya kepala polar dan ekor nonpolar panjang. Molekul sabun berkumpul di permukaan air dan menyisip di antara molekul air, sehingga banyak ikatan hidrogen di permukaan terputus. Tegangan permukaan pun turun drastis. Itulah sebabnya setetes sabun menenggelamkan klip kertas Bima, dan kolam yang tercemar deterjen dapat menenggelamkan anggang-anggang.

13.5 Ikatan logam: ion positif di tengah lautan elektron

Logam tidak tersusun atas molekul. Atom logam punya sedikit elektron valensi dan energi ionisasi rendah. Dalam padatan logam, elektron valensi itu dilepaskan ke "kolam bersama" dan bebas berkelana di seluruh kristal. Yang tertinggal adalah ion-ion positif yang tersusun rapi dalam kisi.

Bahasa sederhana • Bayangkan bola-bola pingpong bermuatan positif yang direndam dalam lautan madu bermuatan negatif. Madu itu (elektron) menempel pada semua bola sekaligus dan bisa mengalir ke mana saja. Bola-bola tidak saling lepas, tetapi bisa digeser tanpa putus.



DEFINISI • IKATAN LOGAM

Ikatan logam adalah gaya tarik elektrostatik antara kisi ion-ion logam positif dan **lautan elektron** valensi yang **terdelokalisasi** (tidak dimiliki satu atom tertentu dan bebas bergerak di seluruh kisi). Ikatan ini tidak berarah, sehingga lapisan ion dapat bergeser tanpa memutus ikatan.



Tebak Dulu!

Sebuah lempeng tembaga dan seongkah kristal garam batu (NaCl) masing-masing dipukul dengan palu. Apa yang terjadi?

Keduanya penyok karena sama-sama padatan kristal.

Keduanya pecah karena sama-sama tersusun atas ion.

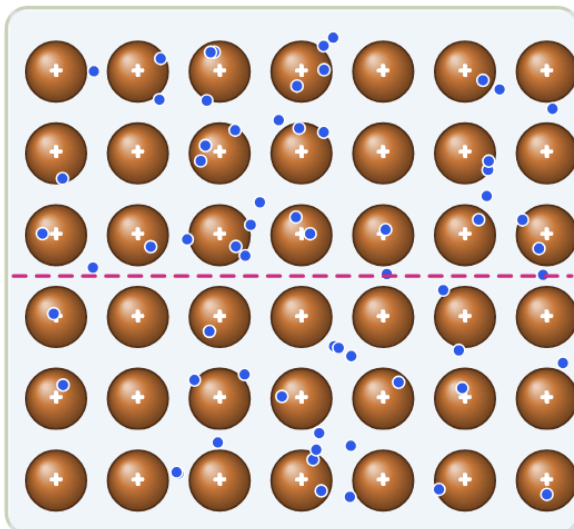
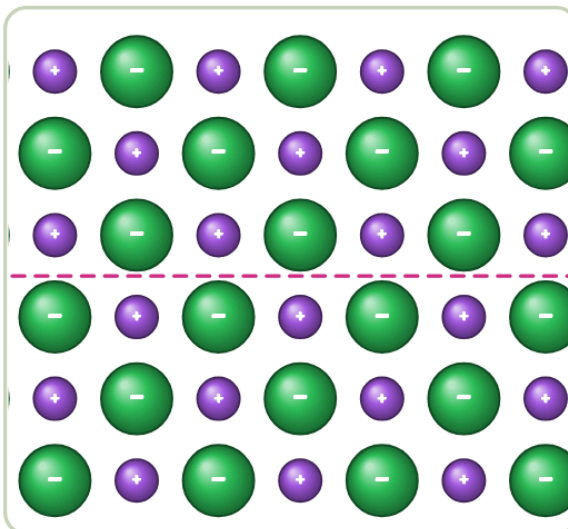
Tembaga penyok (berubah bentuk tanpa patah), garam pecah berkeping-keping.

Garam penyok, tembaga pecah, karena garam lebih lunak.

Jawabannya: tembaga penyok, garam pecah. Saat lapisan ion tembaga bergeser, lautan elektron ikut mengalir dan tetap merekatkan semuanya. Saat lapisan kristal garam bergeser sejauh satu ion, ion bermuatan sama tiba-tiba berhadapan dan saling tolak, sehingga kristalnya terbelah. Buktikan di Lab Mini di bawah!

LOGAM: ion positif + lautan elektron

tembaga murni

**KRISTAL ION: Na^+ dan Cl^- berselang-seling**garam dapur (NaCl)

Nyalakan "Hubungkan baterai" untuk menguji daya hantar listrik.

Logam

utuh

Kristal ion

utuh

Arus listrik

baterai belum terhubung

Geser **lapisan atas** perlahan, atau tekan  **Pukul palu!** Amati kedua kristal: apakah ion bermuatan sama pernah berhadapan? Ganti logam menjadi **perunggu** untuk melihat atom timah yang lebih besar menggajal lapisan. Nyalakan **baterai**: di kristal mana muatan bisa mengalir?

Sifat logam**Penjelasan tingkat partikel**

Menghantar listrik (padat maupun cair)

Elektron terdelokalisasi bebas bergerak dan mengalir saat diberi beda potensial.

Menghantar panas

Elektron bebas dan ion yang bergetar meneruskan energi kinetik dengan cepat.

Dapat ditempa dan ditarik menjadi kawat

Lapisan ion dapat bergeser; lautan elektron tetap merekatkan, sehingga logam tidak patah.

Mengilap

Elektron bebas menyerap lalu memancarkan kembali cahaya yang datang.

Titik leleh umumnya tinggi

Tarikan antara ion positif dan lautan elektron kuat ke segala arah.



ATURAN • KEKUATAN IKATAN LOGAM

Ikatan logam makin kuat bila **jumlah elektron terdelokalisasi per atom** makin banyak (muatan ion makin besar) dan **jari-jari ion** makin kecil. Contoh: titik leleh **Na** 98 °C < **Mg** 650 °C < **Al** 660 °C, dan dalam golongan 1 titik leleh turun dari Li (181 °C) ke K (63 °C) karena ion makin besar.

COBA SENDIRI

Natrium, magnesium, aluminium

Titik didih natrium 883 °C, magnesium 1.090 °C, dan aluminium 2.519 °C. Jelaskan urutan ini dengan model lautan elektron. Mengapa kalium (titik didih 759 °C) lebih rendah daripada natrium?

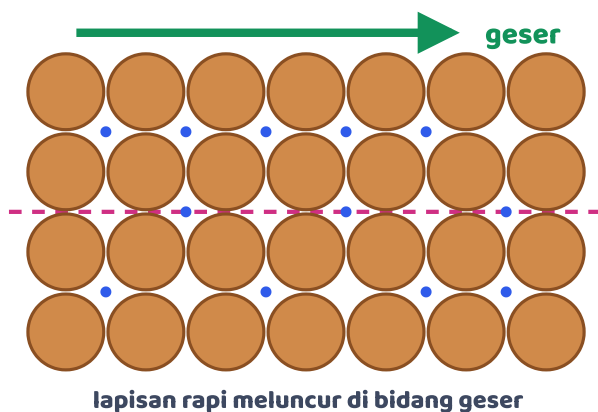
- 1 Elektron valensi yang dilepas ke lautan: Na 1 (ion Na^+), Mg 2 (Mg^{2+}), Al 3 (Al^{3+}).
- 2 Makin besar muatan ion dan makin banyak elektron terdelokalisasi, makin kuat tarikan elektrostatik antara kisi dan lautan elektron.
- 3 Jari-jari ion juga mengecil dari Na^+ ke Al^{3+} , sehingga lautan elektron berada lebih dekat dengan inti ion. Tarikan makin kuat lagi.
- 4 K dan Na sama-sama melepas 1 elektron, tetapi ion K^+ lebih besar (punya satu kulit lebih banyak), sehingga tarikan terhadap lautan elektron lebih lemah.

Kekuatan ikatan logam: $\text{Al} > \text{Mg} > \text{Na} > \text{K}$. Titik didih logam lebih menggambarkan kekuatan ikatan logam daripada titik leleh, karena saat mendidih ikatan logam benar-benar diputus.

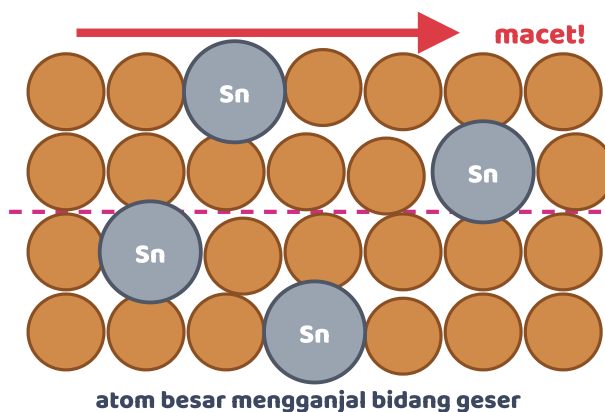
Paduan: logam campuran yang lebih keras

Paduan (aloi) adalah campuran logam dengan unsur lain. Logam murni sering terlalu lunak: emas 24 karat mudah tergores dan bengkok. Atom tambahan yang ukurannya berbeda mengacaukan barisan kisi, sehingga lapisan ion lebih sulit bergeser. Hasilnya: paduan lebih keras dan kuat.

Logam murni (tembaga)



Paduan (perunggu: Cu + Sn)



Kiri: semua ion sama besar, sehingga lapisan meluncur mulus (logam lunak dan mudah ditempa). Kanan: atom timah yang lebih besar menjadi "polisi tidur" di bidang geser, sehingga paduan lebih keras.

Paduan	Komposisi utama	Contoh pemakaian
Perunggu	Cu + Sn	gamelan, patung, medali, lonceng
Kuningan	Cu + Zn	kunci, keran, kerajinan kuningan, alat musik tiup
Baja	Fe + C (< 2%)	rangka gedung, jembatan, rel
Baja nirkarat (<i>stainless steel</i>)	Fe + Cr (≥ 10,5%) + Ni	sendok, panci, peralatan rumah sakit
Emas perhiasan 22 karat	Au (91,7%) + Cu/Ag	cincin dan gelang yang tidak mudah bengkok



KIMIA NUSANTARA • GAMELAN PERUNGGU DAN PAMOR KERIS

Bilakah gamelan Jawa dan Bali dibuat dari **perunggu bertimah tinggi**, kira-kira 10 bagian tembaga dan 3 bagian timah. Konon, kata *gangsa* (sebutan perunggu gamelan) berasal dari "tiga sedasa", tiga dan sepuluh. Paduan ini keras dan nyaring, tetapi rapuh bila dingin, sehingga para pande menempanya selagi membara. Tembaga bisa berasal dari Papua, timahnya dari Bangka Belitung. Pada **keris**, empu menempa berlapis-lapis besi dan bahan pamor yang mengandung nikel. Setelah dibersihkan, lapisan nikel tampak berkilau membentuk pola pamor. Sebagian empu memakai besi meteorit, yang terkenal adalah pamor dari meteorit Prambanan.



TAMU DARI MASA LALU

Pada 1900, fisikawan Jerman **Paul Drude** mengusulkan model "gas elektron" untuk logam: elektron bebas berkeliaran di antara ion seperti partikel gas dalam wadah. Model sederhana ini sudah mampu menjelaskan daya hantar listrik dan panas logam. Tiga tahun sebelumnya, J.J. Thomson baru saja menemukan elektron (Bab 5)!



AWAS JEBAKAN

Tidak semua logam keras dan padat. Raksa (**Hg**) cair pada suhu kamar (titik leleh $-39\text{ }^{\circ}\text{C}$), galium (**Ga**) meleleh di genggam tangan ($29,8\text{ }^{\circ}\text{C}$), dan natrium bisa diiris pisau. Sebaliknya, tidak semua penghantar listrik adalah logam: grafit (karbon) juga menghantar listrik karena punya elektron terdelokalisasi (subbab 13.6).



LANJUT • IB & OLIMPIADE

TEORI PITA: LOGAM, ISOLATOR, SEMIKONDUKTOR

Dalam padatan, orbital atom dari triliunan atom bergabung menjadi **pita energi** yang hampir kontinu. Pada logam, pita berisi elektron valensi hanya terisi sebagian (atau tumpang tindih dengan pita kosong), sehingga elektron mudah naik ke tingkat energi kosong di dekatnya dan mengalir. Pada isolator seperti intan, pita terisi penuh dipisahkan dari pita kosong oleh **celah pita** yang lebar ($\pm 5,5\text{ eV}$). Pada semikonduktor seperti silikon, celahnya kecil ($\pm 1,1\text{ eV}$), sehingga sebagian elektron bisa melompat bila dipanaskan atau disinari. Inilah dasar kerja panel surya dan cip komputer.

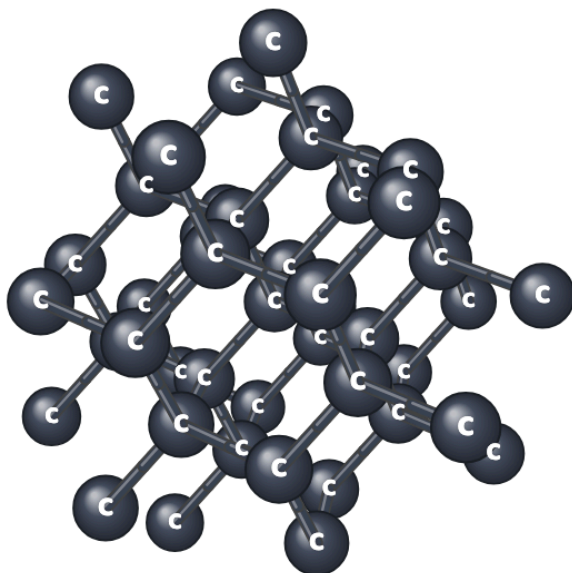
13.6 Struktur kovalen raksasa: intan, grafit, grafena, silika

Beberapa unsur dan senyawa nonlogam tidak membentuk molekul kecil, tetapi **struktur kovalen raksasa** (kisi kovalen): jaringan atom yang semuanya terhubung oleh ikatan kovalen, sampai miliaran miliar atom. Untuk melelehkannya, kita tidak cukup mengalahkan gaya antarmolekul. Ikatan kovalennya harus diputus. Akibatnya, titik lelehnya sangat tinggi.

Bahasa sederhana • Zat molekuler seperti gula itu seperti tumpukan bata lepas: mudah dibongkar. Struktur kovalen raksasa seperti dinding bata yang semuanya disemen: untuk membongkarnya, semennya harus dihancurkan.

Karbon adalah juara bentuk. Unsur yang sama dapat membentuk beberapa **alotrop**, yaitu bentuk unsur yang sama dengan susunan atom berbeda: intan, grafit, grafena, fullerena, nanotabung karbon, dan karbon amorf (arang).

MOLEKUL 3D Raksasa karbon dan silika



Seret untuk memutar · ketuk atom untuk mengukur

Intan (kisi kovalen raksasa) C

Setiap atom C berikatan kovalen dengan 4 atom C lain secara tetrahedral. Jaringan 3D ini membuat intan sangat keras.

Pilih **intan**, lalu ketuk satu atom C dan tetangganya: berapa ikatan per atom, dan berapa sudutnya ($\pm 109,5^\circ$)? Pada **grafit**, ukur jarak C-C dalam lapisan (± 142 pm) dan jarak antarlapisan (± 335 pm): mengapa lapisannya mudah tergelincir? Bandingkan dengan **fulerena** C_{60} , yang merupakan molekul tunggal. Terakhir, lihat **silika**: setiap Si dikelilingi berapa O?

	Intan	Grafit	Grafena	Fulerena C_{60}	Silika SiO_2
Struktur	kisi 3D, tiap C terikat 4 C (tetrahedral)	lapisan segi enam, tiap C terikat 3 C	satu lapisan grafit setebal satu atom	molekul bola 60 atom C	kisi 3D, tiap Si terikat 4 O, tiap O terikat 2 Si
Antarlapisan / antarmolekul	—	gaya London (lemah)	—	gaya London	—
Kekerasan	paling keras (skala Mohs 10)	lunak, licin	sangat kuat	lunak	keras (Mohs 7)
Daya hantar listrik	tidak	ya (elektron terdelokalisasi)	sangat baik	tidak	tidak

Contoh pemakaian	perhiasan, mata bor, pemotong kaca	isi pensil, elektroda, pelumas	riset baterai dan sensor	riset bahan dan obat	pasir, kaca, kuarsa
------------------	------------------------------------	--------------------------------	--------------------------	----------------------	---------------------

Mengapa grafit menghantar listrik padahal intan tidak? Pada intan, keempat elektron valensi setiap C dipakai untuk ikatan kovalen, sehingga tidak ada elektron bebas. Pada grafit, setiap C hanya memakai tiga elektron untuk ikatan. Elektron keempat terdelokalisasi di sepanjang lapisan, mirip lautan elektron kecil. Lapisan-lapisannya hanya ditahan gaya London, sehingga mudah tergelincir: goresan pensil adalah jutaan lapisan grafit yang tertinggal di kertas.



KIMIA NUSANTARA • INTAN MARTAPURA DAN PASIR KUARSA

Pendulangan intan tradisional di Cempaka dan Martapura, Kalimantan Selatan, sudah berlangsung turun-temurun. Pada 1965, ditemukan intan besar yang dinamai **Intan Trisakti** (± 167 karat). Silika juga melimpah: **pasir kuarsa** dari Bangka Belitung dan Kalimantan dilebur pada suhu sangat tinggi menjadi kaca jendela dan botol.



TAMU DARI MASA LALU

Pada 1772, **Antoine Lavoisier** memanaskan intan dengan lensa pembakar raksasa dan membuktikan bahwa intan terbakar menjadi "udara tetap" (CO_2): intan adalah karbon! Lebih dari dua abad kemudian, pada 1985, **Harold Kroto, Robert Curl, dan Richard Smalley** menemukan fullerena C_{60} dan meraih Nobel Kimia 1996. Pada 2004, **Andre Geim dan Konstantin Novoselov** mengelupas grafit memakai pita perekat (selotip) sampai tersisa satu lapisan atom: grafena. Nobel Fisika 2010 pun jatuh ke tangan mereka.

MITOS

"Intan itu abadi dan tidak bisa terbakar."

MITOS

"Zat dengan ikatan kovalen pasti titik lelehnya rendah."

FAKTA

Intan adalah karbon murni. Dipanaskan kuat dalam oksigen (di atas $\pm 700^\circ\text{C}$), intan terbakar menjadi CO_2 . Intan hanya sangat keras, bukan kebal api.

FAKTA

Itu hanya berlaku untuk zat **molekuler**, yang dilelehkan cukup dengan mengalahkan gaya antarmolekul. Intan dan silika juga berikatan kovalen, tetapi strukturnya raksasa: untuk meleleh, ikatan kovalennya harus diputus.

Sekarang kita bisa merangkum empat jenis struktur zat padat yang telah kamu temui di Bab 10 sampai Bab 13:

Struktur	Contoh	Yang diputus saat meleleh	Titik leleh	Hantaran listrik
----------	--------	---------------------------	-------------	------------------

Molekul sederhana	air, gula, iodin, C ₆₀	gaya antarmolekul	rendah	tidak (padat maupun cair)
Kovalen raksasa	intan, grafit, SiO ₂	ikatan kovalen	sangat tinggi	tidak (kecuali grafit dan grafena)
Ion raksasa	NaCl, MgO	ikatan ion	tinggi	hanya saat leleh atau larut
Logam	Cu, Fe, Al	ikatan logam	umumnya tinggi	ya, padat maupun cair

COBA SENDIRI Detektif struktur dari data

Empat padatan putih atau abu-abu diberi label P, Q, R, S. Deduksikan jenis strukturnya.

P: meleleh 801 °C; tidak menghantar listrik saat padat, menghantar saat leleh; larut dalam air.

Q: meleleh 186 °C (disertai penguraian); tidak menghantar listrik; larut dalam air.

R: meleleh ±1.700 °C; tidak menghantar listrik, padat maupun cair; tidak larut dalam air.

S: meleleh 660 °C; menghantar listrik saat padat; tidak larut dalam air; mengilap.

- 1 P menghantar hanya saat leleh → ion baru bebas bergerak setelah kisiannya runtuh → **ion raksasa** (contoh: NaCl).
- 2 Q bertitik leleh rendah dan tidak menghantar → **molekul sederhana**; larut dalam air berarti polar atau berikatan hidrogen (contoh: gula pasir).
- 3 R sangat tinggi titik lelehnya, tidak menghantar, tidak larut → **kovalen raksasa** (contoh: silika).
- 4 S menghantar saat padat dan mengilap → **logam** (contoh: aluminium).

P ion raksasa, Q molekul sederhana, R kovalen raksasa, S logam. Kuncinya: hantaran listrik saat padat dan saat cair, lalu besarnya titik leleh.

Kimia di sekitarmu



Cicak di dinding

Telapak kaki cicak punya jutaan rambut sangat halus. Masing-masing hanya memberi gaya London yang kecil, tetapi jumlahnya yang luar biasa membuat cicak bisa menempel di dinding, bahkan di kaca.



Air menggelinding di daun talas

Permukaan daun talas berlapis lilin yang nonpolar dan bertonjolan mikro. Molekul air lebih suka saling menarik (kohesi) daripada menempel pada lilin, sehingga air membulat dan menggelinding.



Sumbu lampu teplok

Minyak tanah merambat naik di sela-sela serat sumbu karena kapilaritas: adhesi minyak pada serat menariknya ke atas melawan gravitasi.



Hand sanitizer terasa dingin

Gaya antarmolekul alkohol lebih lemah daripada air, sehingga alkohol cepat menguap. Molekul yang menguap membawa kalor dari kulitmu.



Kabel tembaga, wajan aluminium

Lautan elektron membuat tembaga menghantar listrik dan aluminium cepat meneruskan panas kompor ke masakan.



Pensil dan kaca

Isi pensil adalah grafit yang lapisannya mudah tergelincir. Kaca jendela dibuat dari pasir kuarsa, struktur kovalen raksasa SiO_2 .

Cek Cepat

Gaya antarmolekul terkuat di antara molekul-molekul amonia, NH_3 , adalah ...

gaya London

gaya dipol-dipol

ikatan hidrogen

ikatan logam

Padatan X sangat keras, meleleh di atas 1.500 °C, tidak larut dalam air, dan tidak menghantar listrik baik padat maupun cair. X kemungkinan besar adalah ...

zat berstruktur kovalen raksasa

logam

senyawa ion

zat molekuler sederhana

Mengapa tembaga bisa ditarik menjadi kawat tipis tanpa putus?

Atom tembaga saling berikatan kovalen yang berarah.

Ion tembaga bermuatan negatif sehingga saling tolak.

Tembaga mempunyai titik leleh yang rendah.

Lapisan ion positif dapat bergeser, sementara lautan elektron tetap merekatkannya.

Kunci Cek Cepat: 1. C • 2. A • 3. D



Tantangan Rumah: merica yang kabur dan klip yang mengapung

Bahan: mangkuk atau piring cekung, air keran, merica bubuk, sabun cuci piring cair, beberapa klip kertas, selembar tisu, garpu, dan tusuk gigi.

1. Isi mangkuk dengan air dan biarkan tenang. Taburkan sedikit merica merata di permukaan.
2. Celupkan ujung tusuk gigi bersih ke tengah air. Lalu oleskan sedikit sabun pada ujung tusuk gigi dan celupkan lagi. Amati mericanya!
3. Ganti airnya. Letakkan selembar kecil tisu di permukaan air, taruh klip kertas di atasnya, lalu tunggu sampai tisu tenggelam. (Cara lain: turunkan klip perlahan memakai garpu.)
4. Setelah klip mengapung, teteskan satu tetes sabun di tepi mangkuk.

Keselamatan: lakukan bersama orang dewasa. Jangan menghirup merica (bisa membuat bersin dan perih). Jaga agar sabun tidak masuk ke mata; bila terkena, bilas dengan air mengalir. Jangan meminum air percobaan. Lap tumpahan air sabun agar lantai tidak licin, lalu cuci tangan.

Pertanyaan: Mengapa merica langsung "kabur" ke tepi saat sabun menyentuh air? Mengapa klip tenggelam setelah sabun ditetaskan? Jelaskan dengan kata "ikatan hidrogen" dan "tegangan permukaan".

✓ Kamu sekarang bisa...

- membedakan **ikatan** (di dalam molekul) dari **gaya antarmolekul** (di antara molekul), lalu menjelaskan gaya London, dipol-dipol, dan ikatan hidrogen
- menentukan gaya antarmolekul terkuat dari struktur molekul dan **meramalkan urutan titik didih**, termasuk anomali H_2O , HF , dan NH_3
- menjelaskan tegangan permukaan, kelarutan, kekentalan, dan **es yang mengapung** pada tingkat partikel
- menjelaskan **ikatan logam** dengan model lautan elektron, sifat-sifat logam, dan mengapa **paduan** (perunggu gamelan, kuningan) lebih keras
- membandingkan **struktur kovalen raksasa** (intan, grafit, grafena, silika) dengan zat molekuler seperti fullerena C_{60}

🔑 Istilah kunci

Gaya antarmolekul

gaya London

gaya dipol-dipol

ikatan hidrogen

gaya van der Waals

dipol sesaat

Ikatan hidrogen

kalor penguapan molar

Viskositas

Tegangan permukaan

Kohesi

adhesi

kapilaritas

Ikatan logam

lautan elektron

Paduan

📊 Rumus penting

$$T_b \approx 745,42 \log(n + 4,4) - 689,46$$

Titik didih alkana rantai lurus (perkiraan).

Setiap tambahan satu atom C memperpanjang 'sosis' molekul sehingga gaya London bertambah; tambahannya makin lama makin kecil.

$$f = \left(1 - \frac{\rho_{\text{es}}}{\rho_{\text{cair}}}\right) \times 100\%$$

Bagian es yang menyembul. Benda yang mengapung tercelup sebanyak perbandingan massa jenisnya dengan cairan; sisanya menyembul di atas permukaan.

$$Q = n \Delta H_{\text{vap}} = \frac{m}{M_r} \times \Delta H_{\text{vap}}$$

Energi untuk menguapkan zat. Energi

penguapan = banyaknya mol molekul yang harus dilepas dari gandengannya dikali energi pelepasan per mol.

⚠ Jangan sampai terjebak

- Saat zat molekuler meleleh atau mendidih, yang diputus hanyalah gaya antarmolekul, bukan ikatan kovalen di dalam molekul.
- Molekul polar tidak selalu mendidih lebih tinggi.
- Ikatan hidrogen bukan ikatan kovalen yang mengandung hidrogen.

📄 Tangga Latihan: 24 soal bab ini (Lv 1 Pemula sampai Lv 6 Olimpiade) ada di PDF Bank Soal dan di aurumgen.my.id/chemipedia#soal?bab=13

Teka-teki untuk Bab 14

Bima memompa ban motornya pagi hari. Siang harinya, setelah motor diparkir di bawah terik matahari, bannya terasa jauh lebih keras, padahal tidak ada udara yang ditambahkan. Di dalam ban, molekul gas hampir tidak saling tarik-menarik. Lalu apa yang sebenarnya dilakukan partikel-partikel gas itu?

▼ Intip petunjuk

Dalam gas, molekul berjauhan sehingga gaya antarmolekul hampir bisa diabaikan. Saat dipanaskan, molekul bergerak lebih cepat, lebih sering menabrak dinding ban, dan setiap tabrakannya lebih keras. Tabrakan-tabrakan itulah yang kita rasakan sebagai **tekanan**. Di Bab 14 kamu akan menghitungnya dengan hukum-hukum gas.

14 Wujud Gas: Pasukan Partikel yang Tak Pernah Diam

Kemasan keripik menggebu di Dieng, ban motor mengeras di siang terik, dan pompa sepeda terasa hangat. Semuanya ulah miliaran miliar partikel gas yang berlari secepat peluru dan menabrak dinding tanpa henti.

Setelah bab ini, kamu bisa

- menjelaskan **tekanan gas** dengan **teori kinetik** (tumbukan partikel) dan memakai skala **suhu mutlak** (kelvin);
- menerapkan **hukum Boyle, Charles, Gay-Lussac**, dan hukum gas gabungan pada peristiwa sehari-hari;
- memakai **hukum Avogadro** dan **persamaan gas ideal** $PV = nRT$ untuk menghitung tekanan, volume, M_r , dan massa jenis gas;
- menghitung **tekanan parsial** (hukum Dalton) dan membandingkan laju **efusi** gas (hukum Graham);
- menjelaskan penyimpangan **gas nyata** (van der Waals), **kecepatan rms**, dan **distribusi Maxwell-Boltzmann**.

KERIPIK YANG MENGGEMBUNG

KOMIK • 4 PANEL

Sabtu pagi, di teras rumah Bima

BIMA

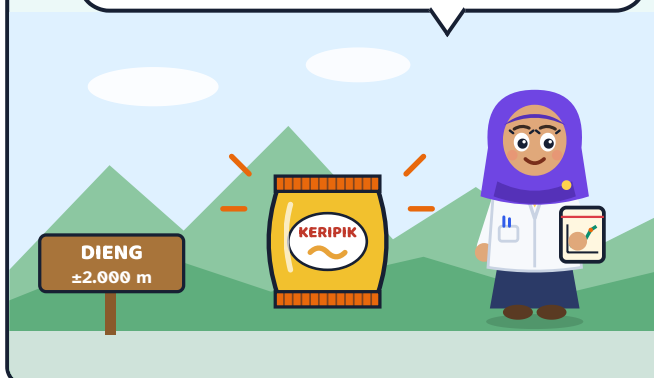
Huff... huff... Ban sudah keras! Eh, kenapa badan pompanya jadi hangat, ya?



Sorenya, di Dataran Tinggi Dieng

LARAS

Bim, lihat! Keripik yang kubeli di Semarang menggebu seperti bantal. Padahal belum dibuka!



KAK TIRTA

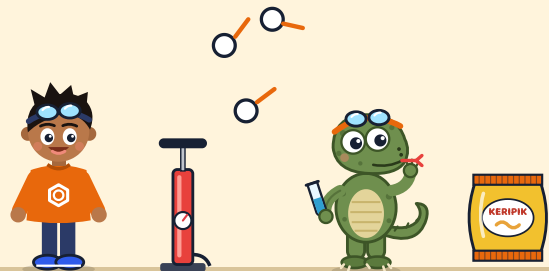
Di dalam bungkus ada miliaran miliar partikel gas yang terus menabrak plastik. Di Dieng udara luar lebih renggang, jadi dorongan dari luar kalah kuat!

**Kimo ikut nimbrung...****KIMO**

Pompamu hangat karena kamu menekan udara. Kerja tanganmu berubah jadi energi gerak partikel!

BIMA

Jadi gas itu... pasukan bola pingpong super cepat?

**Tebak Dulu!**

Balon yang ditiup penuh dimasukkan ke dalam lemari es. Setengah jam kemudian balon tampak lebih kempis. Apa yang terjadi pada partikel udara di dalamnya?

Setiap partikel udara menyusut menjadi lebih kecil karena dingin.

Sebagian partikel udara keluar menembus karet karena kedinginan.

Partikel bergerak lebih lambat, sehingga menumbuk dinding balon lebih jarang dan lebih lemah.

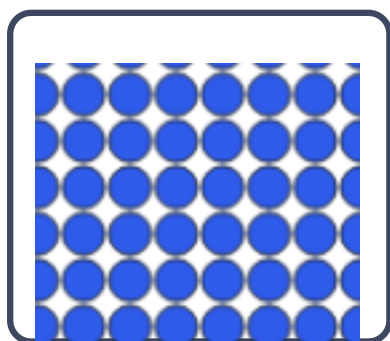
Udaranya berubah menjadi air karena dingin.

Jawabannya: partikel bergerak lebih lambat. Ukuran partikel tidak berubah. Saat didinginkan, partikel kehilangan energi gerak, sehingga dorongannya pada dinding melemah dan udara luar menekan balon hingga mengecil. Dari 27 °C ke 4 °C, volume udara turun ±8%. Nitrogen dan oksigen baru mencair jauh di bawah -180 °C, jadi tidak ada udara yang menjadi cair di lemari es.

14.1 Tekanan gas: hujan tumbukan yang tak pernah reda

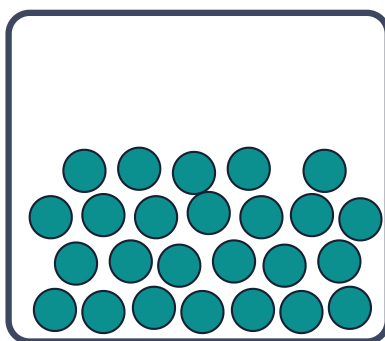
Udara tidak terlihat, tidak berwarna, dan hampir tidak berbau. Namun, saat ini udara menekan setiap sentimeter persegi kulitmu dengan gaya ± 10 newton, setara dengan beban 1 kg! Kita tidak merasa terganggu karena cairan dan udara di dalam tubuh menekan balik sama kuatnya.

Bahasa sederhana • Bayangkan sebuah kotak berisi ratusan bola pingpong yang beterbangan tanpa henti. Bola-bola itu terus menabrak dinding kotak: tok, tok, tok! Setiap tabrakan mendorong dinding sedikit. Gas persis seperti itu, hanya saja "bola"-nya sangat kecil, jumlahnya miliaran miliar, dan larinya lebih cepat daripada pesawat jet.



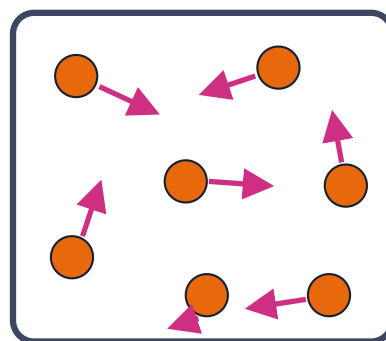
PADAT

rapat, teratur, bergetar



CAIR

rapat, bebas bergeser



GAS

berjauhan, melesat lurus

Tiga wujud zat pada tingkat partikel. Pada gas, jarak antarpartikel ± 10 kali diameter partikel, sehingga molekulnya hanya mengisi $\pm 0,1\%$ ruang. Sisanya ruang kosong!

Gas berbeda dari zat padat dan cair dalam satu hal penting: **partikelnya sangat berjauhan**. Pada suhu dan tekanan kamar, jarak rata-rata antarmolekul udara sekitar 3 nanometer. Itulah sebabnya gas mudah dimampatkan, mudah bercampur, dan selalu memenuhi seluruh wadahnya. Partikel-partikel itu melesat lurus dengan kelajuan ± 500 m/s sampai menabrak partikel lain atau dinding.



DEFINISI • TEKANAN GAS

Tekanan adalah gaya dorong yang bekerja tegak lurus pada setiap satuan luas permukaan:

$$P = \frac{F}{A}$$

Satuan SI-nya **pascal** (Pa), yaitu 1 newton per meter persegi. **Tekanan gas berasal dari tumbukan** partikel-partikel gas dengan dinding wadahnya.

Satuan tekanan	Nilai 1 atm	Sering dipakai di
pascal (Pa)	101.325 Pa	satuan SI, buku sains
kilopascal (kPa)	101,325 kPa	ramalan cuaca, soal sekolah
bar	1,01325 bar (1 bar = 100 kPa)	tabung gas, penyelaman, IUPAC
milimeter raksa (mmHg) = torr	760 mmHg	barometer, tensimeter tekanan darah

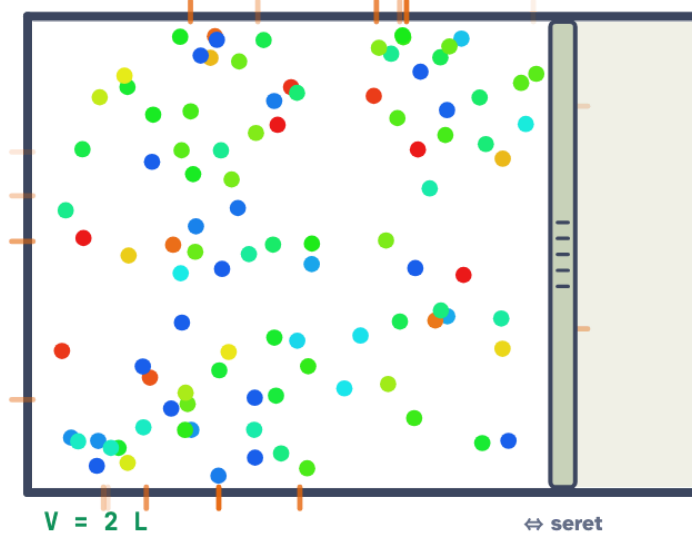
**ATURAN • TEORI KINETIK GAS (MODEL GAS IDEAL)**

1. Gas terdiri atas partikel-partikel yang **sangat kecil dibandingkan jaraknya**, sehingga volume partikel itu sendiri dapat diabaikan.
2. Partikel bergerak **lurus, acak, dan terus-menerus** ke segala arah.
3. Tumbukan antarpartikel dan dengan dinding bersifat **lentingsempurna** (tidak ada energi yang hilang).
4. Di antara tumbukan, **tidak ada gaya tarik-menarik atau tolak-menolak** antarpartikel.
5. Energi kinetik rata-rata partikel **sebanding dengan suhu mutlak**: $\overline{E_k} = \frac{3}{2}kT$.

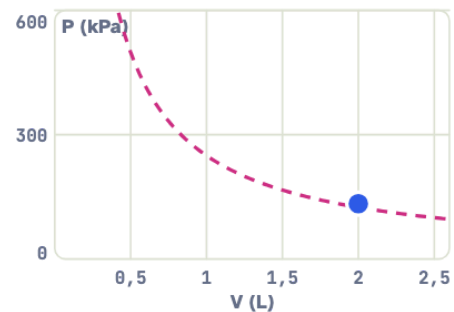
Ayo buktikan sendiri bahwa tekanan memang lahir dari tumbukan. Di Lab Mini berikut, tekanan **tidak** dihitung dari rumus: komputer menjumlahkan dorongan setiap partikel yang menabrak dinding, lalu membandingkannya dengan rumus gas ideal.

Tekanan = tumbukan partikel pada dinding

1 partikel = 0,001 mol • biru lambat → merah cepat



Grafik P-V

putus-putus: isotherm $P = nRT/V$ 

manometer

suhu gas



300 K

P dari tumbukan

133,4 kPa

 $P = nRT/V$

124,7 kPa

Suhu gas

300 K

Jumlah gas

0,1 mol

 $P \times V$

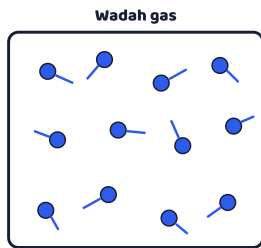
266,9 kPa·L

 v_{rms} nyata

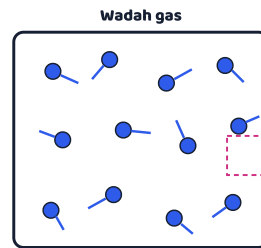
517 m/s

Coba: (1) Biarkan suhu tetap, seret piston ke kiri. Apa yang terjadi pada tekanan? Tekan **Catat titik P-V** di beberapa posisi. (2) Naikkan suhu: partikel memerah dan melaju lebih cepat. (3) Ganti nitrogen dengan helium pada suhu yang sama: partikelnya jauh lebih cepat, tetapi apakah tekanannya berubah? (4) Nyalakan **Pompa cepat**, lalu dorong piston dengan cepat: suhu gas naik, persis seperti pompa sepeda Bima!

Mengapa satu tumbukan kecil bisa menghasilkan tekanan yang terasa? Ikuti animasi berikut langkah demi langkah.



Langkah 1. Gas di dalam wadah: partikel-partikel bergerak lurus, acak, ke segala arah, dengan kelajuan yang berbeda-beda. Di antara partikel ada banyak ruang kosong.

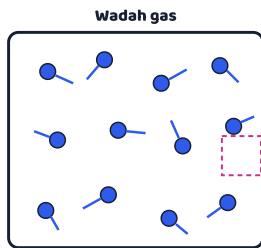


Diperbesar: satu partikel



dinding

Langkah 2. Kita perbesar satu partikel bermassa m yang melaju ke kanan dengan kecepatan $+v$ menuju dinding.

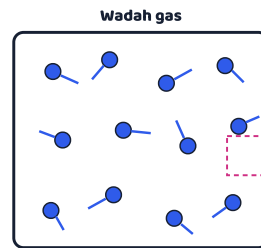


Diperbesar: satu partikel

$$\Delta p = mv - (-mv) = 2mv$$

dinding

Langkah 3. Partikel menumbuk dinding. Momentumnya berubah dari $+mv$ menjadi $-mv$, jadi perubahannya $\Delta p = 2mv$. Perubahan momentum itu berarti dinding **didorong** ke luar.



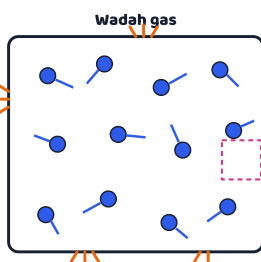
Diperbesar: satu partikel

memantul, kelajuan tetap



dinding

Langkah 4. Tumbukannya lenting sempurna: partikel memantul dengan kelajuan yang sama tanpa kehilangan energi, lalu melesat lagi.



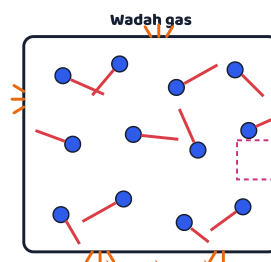
Diperbesar: satu partikel

miliaran miliar tumbukan/detik
 $P = F / A$

$$\Delta p = mv - (-mv) = 2mv$$

dinding

Langkah 5. Udara pada 1 atm menumbuk setiap cm^2 dinding $\pm 3 \times 10^{23}$ kali per detik. Dorongan kecil yang sangat banyak itu menjadi gaya rata-rata F , dan tekanannya $P = F / A$.



Diperbesar: satu partikel

miliaran miliar tumbukan/detik
 $P = F / A$



dinding

Langkah 6. Bila gas dipanaskan, partikel melaju lebih cepat: tumbukan menjadi lebih **sering** dan lebih **keras**, sehingga tekanan naik. Itulah yang terjadi di dalam ban motor pada siang terik.



AWAS JEBAKAN

Partikel gas tidak memuai saat dipanaskan dan tidak menyusut saat didinginkan. Ukuran setiap molekul N_2 atau O_2 tetap sama. Yang berubah adalah **kelajuan** partikel dan **jarak rata-rata** antarpartikel. Saat gambar partikelmu untuk gas panas, gambarlah partikel yang sama besar dengan panah yang lebih panjang, bukan bola yang lebih besar.



LANJUT · IB & OLIMPIADE

DARI TUMBUKAN KE RUMUS: $PV = \frac{1}{3}NM\overline{v^2}$

Ambil kubus bersisi L berisi N partikel bermassa m . Satu partikel dengan komponen kecepatan v_x memberi impuls $2mv_x$ pada dinding kanan setiap kali menabraknya, dan kembali lagi setelah menempuh $2L$, yaitu setiap $2L/v_x$ detik. Gaya rata-ratanya $\frac{2mv_x}{2L/v_x} = \frac{mv_x^2}{L}$.

Jumlahkan untuk N partikel dan bagi dengan luas L^2 : $P = \frac{Nm\overline{v_x^2}}{L^3}$. Karena gerakannya acak, $\overline{v_x^2} = \overline{v_y^2} = \overline{v_z^2} = \frac{1}{3}\overline{v^2}$, sehingga

$$PV = \frac{1}{3}Nm\overline{v^2} = \frac{2}{3}N\overline{E_k}$$

Bandingkan dengan hasil percobaan $PV = NkT$ (dengan $k = R/N_A = 1,381 \times 10^{-23}$ J/K, tetapan Boltzmann). Hasilnya mengejutkan: $\overline{E_k} = \frac{3}{2}kT$. **Suhu ternyata adalah ukuran energi kinetik rata-rata partikel**, dan tidak bergantung pada jenis gasnya!



TAMU DARI MASA LALU

Pada 1643, **Evangelista Torricelli** dari Italia mengisi tabung kaca dengan raksa lalu membaliknya ke dalam mangkuk raksa. Kolom raksa turun dan berhenti pada tinggi ± 76 cm: udara di luar menopangnya! Itulah barometer pertama, dan asal satuan 760 mmHg. Lima tahun kemudian, atas saran **Blaise Pascal**, barometer dibawa mendaki gunung Puy de Dôme di Prancis. Di puncak, kolom raksanya lebih pendek. Udara di atas kepala kita ternyata punya berat, dan beratnya berkurang makin tinggi kita mendaki.



KIMIA NUSANTARA · NAIK GUNUNG, TEKanan TURUN

Makin tinggi tempatnya, makin sedikit udara di atas kepala, makin kecil tekanannya. Karena tekanan turun, air pun mendidih pada suhu lebih rendah. Pantas saja mi rebus di puncak gunung lama sekali empuknya!

Tempat	Ketinggian	Tekanan udara	Titik didih air
Pantai Parangtritis	± 0 m	± 101 kPa (1,00 atm)	100 °C
Kota Bandung	± 770 m	± 92 kPa (0,91 atm)	± 97 °C
Dataran Tinggi Dieng	± 2.000 m	± 79 kPa (0,78 atm)	± 93 °C
Bibir kawah Bromo	± 2.300 m	± 76 kPa (0,75 atm)	± 92 °C
Puncak Jaya, Papua	4.884 m	± 55 kPa (0,54 atm)	± 83 °C

Nilai dihitung dengan model atmosfer standar; angka harian sedikit berubah mengikuti cuaca.

MITOS

"Gas itu tidak punya massa."

MITOS

"Saat dipanaskan, partikel gas membesar."

FAKTA

Satu liter udara bermassa $\pm 1,2$ g. Tabung LPG 3 kg yang penuh lebih berat ± 3 kg daripada tabung kosong, dan ban yang dipompa sedikit lebih berat daripada ban kempis.

FAKTA

Ukuran partikel tetap. Partikel bergerak lebih cepat; bila wadahnya bisa mengembang, **jarak** antarpartikel yang membesar.

MITOS

"Pada 0°C partikel gas berhenti bergerak."

MITOS

"Udara panas naik karena panas itu ringan."

FAKTA

0°C hanyalah titik beku air ($273,15\text{ K}$). Gerak partikel baru paling minimum pada nol mutlak, $0\text{ K} = -273,15^\circ\text{C}$, yang tidak pernah benar-benar tercapai.

FAKTA

Panas bukan zat dan tidak bermassa. Udara panas memuai sehingga massa jenisnya lebih kecil, lalu didorong ke atas oleh udara dingin yang lebih rapat.

14.2 Hukum Boyle: ditekan, gas melawan

Ambil spuit (alat suntik) **tanpa jarum**, tarik penghisapnya, lalu tutup ujungnya dengan jari. Sekarang tekan penghisapnya. Makin jauh ditekan, makin kuat udara di dalamnya melawan. Lepaskan, dan penghisap meloncat kembali seperti pegas!

Pada tingkat partikel, jumlah partikel udara di dalam spuit tidak berubah. Namun, ruangnya menyempit, sehingga partikel lebih berdesakan. Setiap detik lebih banyak partikel menumbuk setiap cm^2 dinding. Karena suhunya tetap, kelajuan partikel tetap, tetapi **frekuensi tumbukannya** naik. Hasilnya: tekanan naik.

Bahasa sederhana • Coba bayangkan sepuluh anak bermain kejar-kejaran di lapangan basket. Mereka jarang menabrak pagar. Sekarang pindahkan kesepuluh anak itu ke kamar kecil. Mereka akan sangat sering menabrak tembok! Ruang yang sempit membuat tabrakan lebih sering. Begitulah gas yang ditekan.



HUKUM BOYLE (1662)

Untuk sejumlah gas tertentu pada **suhu tetap**, tekanan berbanding terbalik dengan volumenya:

$$P \propto \frac{1}{V} \iff PV = \text{tetap} \iff P_1 V_1 = P_2 V_2$$

Volume menjadi setengahnya, tekanan menjadi dua kali lipat. Volume menjadi sepertiganya, tekanan menjadi tiga kali lipat.

$$P = \frac{nRT}{V} \quad (n = 0,10 \text{ mol})$$

$$P = 1,23 \text{ atm}, \quad PV = 2,46 \text{ L} \cdot \text{atm}$$



P
1,23 atm

P
124,7 kPa

$P \times V$
2,462 L·atm

Seret titik magenta di sepanjang kurva. Perhatikan persegi panjang oranye: bentuknya berubah dari kurus-tinggi menjadi lebar-pendek, tetapi luasnya ($P \times V$) tidak berubah. Lalu naikan suhu: seluruh isoterm terangkat, karena gas yang lebih panas menekan lebih kuat.

CONTOH Sduit yang ditekan

Udara di dalam sduit tertutup bervolume 60 mL pada tekanan 100 kPa. Penghisap ditekan perlahan (suhu tetap) sampai volumenya 20 mL. Berapa tekanannya sekarang?

1 Suhu dan jumlah udara tetap, jadi berlaku hukum Boyle: $P_1 V_1 = P_2 V_2$.

$$2 \quad P_2 = \frac{P_1 V_1}{V_2} = \frac{100 \text{ kPa} \times 60 \text{ mL}}{20 \text{ mL}} = 300 \text{ kPa}.$$

Tekanannya 300 kPa, tiga kali semula, karena volumenya tinggal sepertiga. Satuan volume tidak perlu diubah ke liter selama kedua ruas memakai satuan yang sama.



TRIK KAK TIRTA

Setiap soal hukum gas, buat tabel kecil dua baris: **keadaan 1** dan **keadaan 2**, dengan kolom P , V , n , T . Coret besaran yang tetap; sisanya langsung menunjukkan hukum mana yang dipakai. Satu aturan emas: **suhu selalu dalam kelvin**. Satuan tekanan dan volume bebas, asal sama di kedua keadaan.



ADU CEPAT

Adu Cepat Boyle: tekan & regang

ADU CEPAT • MAINKAN DI AURUMGEN.MY.ID/CHEMIPEDIA#BAB-14

Latihan kilat 60 detik dengan soal acak dan rekor pribadi.

$P_1 V_1 = P_2 V_2$, jadi $P_2 = P_1 \times V_1 \div V_2$. Volume jadi sepertiganya → tekanan jadi tiga kali.



TAMU DARI MASA LALU

Pada 1662, **Robert Boyle** dan asistennya, **Robert Hooke**, menuang raksa ke dalam tabung kaca berbentuk huruf J yang ujung pendeknya tertutup. Setiap kali raksa ditambah, udara yang terkurung di ujung tabung makin mampat. Boyle mencatat panjang kolom udara dan tinggi raksa, lalu menemukan bahwa hasil kali keduanya hampir selalu sama. Di Prancis, hukum yang sama ditemukan sendiri oleh Edme Mariotte pada 1676, sehingga di sana disebut hukum Mariotte.

14.3

Hukum Charles & Gay-Lussac: panas, gas memuai

Pasang balon kempis di mulut botol kosong, lalu celupkan botol ke air hangat. Perlahan balon berdiri dan menggembung! Pindahkan ke air es, balon lunglai lagi. Udara di dalam botol memuai saat dipanaskan dan menyusut saat didinginkan.

Partikel yang dipanaskan bergerak lebih cepat dan menumbuk dinding lebih keras. Bila dindingnya lentur (balon), dorongan ekstra itu mendorong dinding keluar sampai tekanan di dalam kembali sama dengan tekanan luar. Bila dindingnya kaku (ban motor, tabung LPG), volume tidak bisa bertambah, sehingga **tekanannya** yang naik.



HUKUM CHARLES & HUKUM GAY-LUSSAC

Charles (tekanan dan jumlah gas tetap): volume sebanding dengan suhu mutlak,

$$V \propto T \quad \Longleftrightarrow \quad \frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

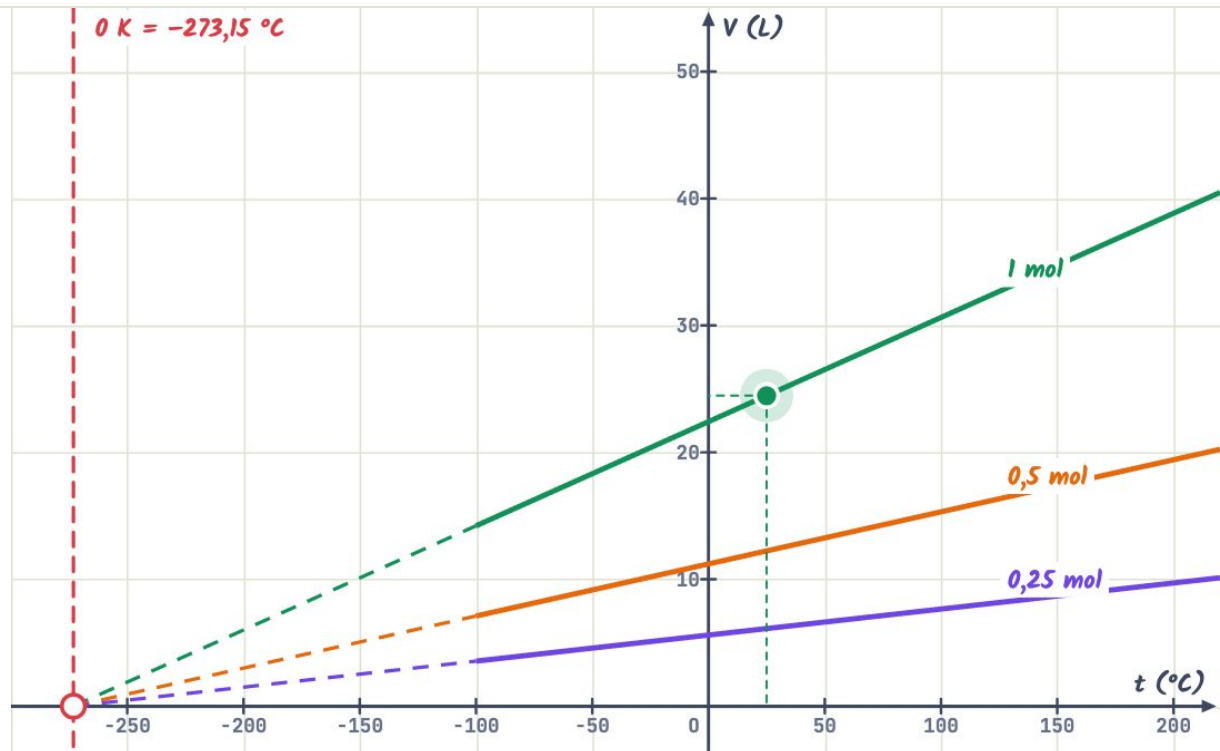
Gay-Lussac (volume dan jumlah gas tetap): tekanan sebanding dengan suhu mutlak,

$$P \propto T \quad \Longleftrightarrow \quad \frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$$

Kata kuncinya **suhu mutlak**. Bila volume beberapa sampel gas diukur pada berbagai suhu lalu digambar, kita mendapat garis-garis lurus. Perpanjang garis-garis itu ke kiri (ekstrapolasi), dan semuanya bertemu di satu titik: **-273,15 °C**. Pada suhu itu volume gas ideal akan menjadi nol. Tidak ada yang lebih dingin lagi!

$$V = \frac{nR}{P} (t + 273,15)$$

$$T = 298,15\text{ K} \Rightarrow V_{1\text{ mol}} = 24,47\text{ L}$$



25 °C dan 1 atm: 1 mol $\approx$ 24,5 L

T
298,15 K

V (1 mol)
24,47 L

V/T
0,0821 L/K

Seret titik hijau. Berapa pun jumlah gasnya dan berapa pun tekanannya (geser slider P), semua garis bertemu di titik merah $-273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Perhatikan pembacaan V/T: nilainya tetap selama P tidak diubah. Itulah hukum Charles.



DEFINISI • SUHU MUTLAK (KELVIN)

Skala **kelvin** dimulai dari **nol mutlak**, suhu terendah yang mungkin, yaitu $-273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Besar satu kelvin sama dengan satu derajat Celsius, sehingga

$$T(\text{K}) = t(^{\circ}\text{C}) + 273,15$$

Suhu mutlak tidak pernah negatif dan selalu ditulis tanpa tanda derajat: 300 K, bukan 300 °K.



AWAS JEBAKAN

Hukum Charles dan Gay-Lussac hanya berlaku untuk suhu dalam **kelvin**. Memanaskan gas dari 20 °C ke 40 °C **tidak** menggandakan volumenya: dalam kelvin suhunya naik dari 293 K ke 313 K, jadi volumenya hanya naik ±7%. Kalau memakai °C, gas pada -10 °C akan bervolume negatif. Mustahil!

Hukum Boyle, Charles, dan Gay-Lussac dapat dirangkum menjadi satu hukum untuk sejumlah gas yang sama. Rumus Hidup berikut memakainya untuk kemasan keripik yang dibawa dari pesisir naik ke pegunungan:



HUKUM GAS GABUNGAN

Untuk jumlah gas tetap:

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

Bila T tetap, rumus ini menjadi hukum Boyle; bila P tetap, menjadi hukum Charles; bila V tetap, menjadi hukum Gay-Lussac.

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

Untuk sejumlah gas yang sama, P kali V dibagi T selalu bernilai sama, ke mana pun gas itu dibawa.

P_1 Tekanan awal kPa

V_1 Volume awal mL

t_1 Suhu awal °C

P_2 Tekanan akhir kPa

t_2 Suhu akhir °C

V_2 Volume akhir mL

VOLUME AKHIR

363

mL

🔍 kemasan mengembung tegang

Volume menjadi **1,211** kali semula ($T_1 = 304,15$ K, $T_2 = 288,15$ K).

Cek satuan: kPa × mL ÷ K × K ÷ kPa = mL ✓

RUMUS HIDUP: GESER NILAINYA DAN KUMPULKAN KARTUNYA DI [AURUMGEN.MY.ID/CHEMIPEDIA#RM-GAS-GABUNGAN-KERIPIK](https://aurumgen.my.id/chemipedia#rm-gas-gabungan-keripik)

Pagi hari (27 °C), manometer bengkel menunjukkan tekanan ban motor 200 kPa. Siangnya, setelah dipakai di jalan beraspal panas, udara di dalam ban bersuhu 47 °C. Volume ban dianggap tetap. Berapa angka yang akan ditunjukkan manometer?

- 1 Jebakan penting: manometer ban menunjukkan tekanan **di atas tekanan udara luar** (tekanan relatif). Tekanan mutlaknya $200 + 101 = 301$ kPa.
- 2 Ubah suhu ke kelvin: $T_1 = 300$ K, $T_2 = 320$ K.
- 3 Volume tetap → hukum Gay-Lussac: $P_2 = P_1 \times \frac{T_2}{T_1} = 301 \times \frac{320}{300} = 321$ kPa (mutlak).
- 4 Kembali ke bacaan manometer: $321 - 101 = 220$ kPa.

Manometer menunjukkan ±220 kPa, naik ±10%. Karena itu tekanan ban sebaiknya diperiksa pagi hari saat ban masih dingin. (Kalau lupa mengubah ke tekanan mutlak, hasilnya keliru menjadi 213 kPa.)



TAMU DARI MASA LALU

Pada Desember 1783, fisikawan Prancis **Jacques Charles** terbang dengan balon berisi gas hidrogen di atas kota Paris. Sekitar 1787 ia menemukan bahwa berbagai gas memuai dengan jumlah yang sama untuk setiap kenaikan suhu, tetapi tidak menerbitkannya. **Joseph Louis Gay-Lussac** menerbitkan pengukuran yang lebih teliti pada 1802 dan dengan jujur menyebut temuan Charles. Gay-Lussac juga pemberani: pada 1804 ia naik balon sampai ketinggian ±7.000 m untuk mengambil sampel udara! Lalu pada 1848, **William Thomson** (kelak Lord Kelvin) mengusulkan skala suhu mutlak yang kini memakai namanya.



KIMIA NUSANTARA • BALON UDARA SYAWALAN WONOSOBO

Setiap musim Lebaran, warga Wonosobo dan Pekalongan punya tradisi balon udara raksasa dari kertas. Udara di dalam balon dipanaskan hingga ±100 °C. Menurut hukum Charles, udara itu memuai ±24% (dari ±300 K menjadi ±373 K), sehingga sebagian udara keluar lewat mulut balon. Setiap meter kubik udara panas jadi ±0,23 kg lebih ringan daripada udara sekitar, dan balon pun terangkat. Kini balon-balon itu diterbangkan dengan **ditambatkan tali** dalam festival resmi, karena balon yang lepas bebas dapat membahayakan pesawat terbang.

**Tebak Dulu!**

Dua balon ditiup sama besar pada suhu dan tekanan yang sama. Balon A berisi helium, balon B berisi karbon dioksida (satu molekulnya 11 kali lebih berat). Balon mana yang berisi lebih banyak molekul?

Balon A, karena molekul helium kecil sehingga muat lebih banyak.

Balon B, karena karbon dioksida lebih berat.

Sama banyak.

Tidak bisa ditentukan tanpa menimbang kedua balon.

Jawabannya: sama banyak. Partikel gas sangat berjauhan, jadi ukuran partikelnya hampir tidak berpengaruh pada volume. Yang menentukan volume hanyalah *berapa banyak* partikelnya. Massanya yang berbeda: balon B ±11 kali lebih berat isinya (44 berbanding 4).

**HUKUM AVOGADRO (1811)**

Pada suhu dan tekanan yang sama, gas-gas bervolume sama mengandung jumlah partikel yang sama. Jadi, pada P dan T tetap, $V \propto n$:

$$\frac{V_1}{n_1} = \frac{V_2}{n_2}$$

Akibatnya, satu mol gas apa pun menempati volume yang sama: **volume molar** 22,4 L pada 0 °C dan 1 atm (STP) atau ±24,5 L pada 25 °C dan 1 atm.

Sekarang kita punya empat hukum yang masing-masing hanya berlaku bila dua besaran dibuat tetap. Ilmuwan senang menyederhanakan. Bisakah keempatnya dilebur menjadi satu?

Boyle

$$V \propto 1/P$$

n, T tetap
1662

Langkah 1. Hukum Boyle (1662): pada n dan T tetap, volume berbanding terbalik dengan tekanan, $V \propto 1/P$.

Boyle

$$V \propto 1/P$$

n, T tetap
1662

Charles

$$V \propto T$$

n, P tetap
 ± 1787

Langkah 2. Hukum Charles (± 1787): pada n dan P tetap, volume sebanding dengan suhu mutlak, $V \propto T$.

Boyle

$$V \propto 1/P$$

n, T tetap
1662

Charles

$$V \propto T$$

n, P tetap
 ± 1787

Gay-Lussac

$$P \propto T$$

n, V tetap
1802

Langkah 3. Hukum Gay-Lussac (1802): pada n dan V tetap, tekanan sebanding dengan suhu mutlak, $P \propto T$.

Boyle

$$V \propto 1/P$$

n, T tetap
1662

Charles

$$V \propto T$$

n, P tetap
 ± 1787

Gay-Lussac

$$P \propto T$$

n, V tetap
1802

Avogadro

$$V \propto n$$

P, T tetap
1811

Langkah 4. Hukum Avogadro (1811): pada P dan T tetap, volume sebanding dengan jumlah mol, $V \propto n$.

Boyle

$$V \propto 1/P$$

n, T tetap
1662

Charles

$$V \propto T$$

n, P tetap
 ± 1787

Gay-Lussac

$$P \propto T$$

n, V tetap
1802

Avogadro

$$V \propto n$$

P, T tetap
1811

$$V \propto nT / P$$

Langkah 5. Gabungkan: $V \propto \frac{nT}{P}$. Hukum Gay-Lussac (panah putus-putus) sudah ikut terkandung: bila V tetap, $P \propto T$.

Boyle

$$V \propto 1/P$$

n, T tetap
1662

Charles

$$V \propto T$$

n, P tetap
 ± 1787

Gay-Lussac

$$P \propto T$$

n, V tetap
1802

Avogadro

$$V \propto n$$

P, T tetap
1811

$$PV = nRT$$

$$R = 8,314 \text{ J}/(\text{mol}\cdot\text{K}) = 0,08206 \text{ L}\cdot\text{atm}/(\text{mol}\cdot\text{K})$$

Langkah 6. Ganti tanda sebanding dengan sebuah tetapan R : $V = R \frac{nT}{P}$, atau $PV = nRT$. Inilah **persamaan gas ideal**.



PERSAMAAN GAS IDEAL

$$PV = nRT$$

P tekanan, V volume, n jumlah mol, T suhu mutlak (K), dan R **tetapan gas** universal. Nilai R bergantung pada satuan yang dipakai:

Nilai R	Pasangan satuan P dan V
8,314 J/(mol·K)	Pa dan m ³ (SI)
8,314 kPa·L/(mol·K)	kPa dan L (karena 1 kPa·L = 1 J)
0,08206 L·atm/(mol·K)	atm dan L (sering dibulatkan 0,082)
62,36 L·mmHg/(mol·K)	mmHg dan L



JEMBATAN KELEDAI DARI KIMO

"Pak Vino naik Rakit Tua": $PV = nRT$. Lalu, sebelum menghitung, Kimo selalu bertanya tiga hal: apakah suhunya sudah kelvin? apakah satuan P dan V cocok dengan R ? apakah mililiter sudah diubah ke liter?

$$P = \frac{nRT}{V}$$

Tekanan gas sebanding dengan banyaknya partikel dan suhunya, tetapi berbanding terbalik dengan volume wadahnya.

 n

Jumlah gas mol

 T

Suhu mutlak K

 V

Volume wadah L

 P

Tekanan gas kPa

TEKANAN GAS

101,3

kPa

≈ 1 atm, seperti udara di tepi pantai

1 mol gas pada **273** K dalam wadah **22,4** L menekan dinding dengan **101,3** kPa = 1 atm.

Cek satuan: $\text{kPa} \cdot \text{L} / (\text{mol} \cdot \text{K}) \times \text{mol} \times \text{K} \div \text{L} = \text{kPa}$ ✓ (1 J = 1 kPa·L, jadi $R = 8,314 \text{ kPa} \cdot \text{L} / (\text{mol} \cdot \text{K})$)

RUMUS HIDUP: GESER NILAINYA DAN KUMPULKAN KARTUNYA DI [AURUMGEN.MY.ID/CHEMIPEDIA#RM-GAS-IDEAL-TEKANAN](https://aurumgen.my.id/chemipedia#rm-gas-ideal-tekanan)



AWAS JEBAKAN

Kesalahan paling sering pada $PV = nRT$ adalah satuan yang tidak cocok dengan R . Dengan $R = 0,08206$, tekanan harus atm dan volume harus liter. Dengan $R = 8,314 \text{ J} / (\text{mol} \cdot \text{K})$, pakai Pa dan m^3 (1 L = 10^{-3} m^3 , 1 mL = 10^{-6} m^3), atau kPa dan L. Dan jangan pernah memasukkan suhu dalam °C!

Laras mengalirkan gas dari korek gas ke dalam gelas ukur terbalik berisi air. Hasilnya: 0,985 g gas menempati 0,420 L pada 25 °C dan 100 kPa. Hitung massa molarnya dan tebak gasnya.

1 Ubah suhu: $T = 25 + 273,15 = 298,15$ K. Pakai $R = 8,314$ kPa·L/(mol·K) karena P dalam kPa dan V dalam L.

2 $n = \frac{PV}{RT} = \frac{100 \times 0,420}{8,314 \times 298,15} = 0,01694$ mol.

3 $M = \frac{m}{n} = \frac{0,985}{0,01694} = 58,1$ g/mol.

$M \approx 58$ g/mol, cocok dengan butana, C_4H_{10} ($4 \times 12 + 10 \times 1 = 58$). Butana memang bahan bakar korek gas. (Dalam percobaan sungguhan, tekanan uap air juga harus dikurangkan; lihat hukum Dalton di 14.5.)

Persamaan gas ideal juga memberi **massa jenis gas**. Ganti $n = m/M$, lalu susun ulang:

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{PM}{RT}$$

Pada 25 °C dan 1 atm, massa jenis udara ($M \approx 29$) $\pm 1,18$ g/L, helium ($M = 4$) hanya $\pm 0,16$ g/L, sedangkan karbon dioksida ($M = 44$) $\pm 1,80$ g/L. Itulah sebabnya balon helium melayang, sedangkan CO_2 cenderung mengalir ke tempat rendah seperti air.



KIMIA NUSANTARA • GAS BERAT DI KAWAH SINILA, DIENG

Kawasan vulkanik Dieng mengeluarkan gas karbon dioksida dari celah-celah tanah. Karena CO_2 $\pm 1,5$ kali lebih rapat daripada udara, gas itu bisa mengalir menuruni lereng dan berkumpul di cekungan tanpa terlihat dan tanpa bau. Pada Februari 1979, gas dari Kawah Sinila merenggut 149 jiwa warga yang mengungsi. Sejak itu, kadar gas di sekitar kawah-kawah Dieng dipantau, dan pengunjung diminta mematuhi rambu serta tidak masuk ke cekungan yang dilarang.

Latihan kilat 60 detik dengan soal acak dan rekor pribadi.

$P = nRT \div V$. Contoh: 1 mol, 300 K, 24,6 L $\rightarrow P = 1 \times 0,082 \times 300 \div 24,6 = 1$ atm.

14.5 Hukum Dalton & Graham: campuran gas dan gas yang kabur

Udara bukan satu gas, melainkan campuran. Setiap gas di dalamnya bergerak seolah-olah gas lain tidak ada, dan setiap gas ikut menumbuk dinding. Tekanan yang disumbangkan satu gas disebut **tekanan parsial**.



HUKUM DALTON TENTANG TEKANAN PARSIAL (1801)

Tekanan total campuran gas yang tidak bereaksi sama dengan jumlah tekanan parsial setiap gas:

$$P_{\text{total}} = p_A + p_B + p_C + \dots \quad p_A = x_A P_{\text{total}}$$

dengan $x_A = n_A/n_{\text{total}}$ adalah **fraksi mol** gas A.

Gas dalam udara kering	% mol ($\approx$ % volume)	Tekanan parsial di pantai (101,3 kPa)	di Puncak Jaya (± 55 kPa)
nitrogen, N ₂	78,08	79,1 kPa	42,9 kPa
oksigen, O ₂	20,95	21,2 kPa	11,5 kPa
argon, Ar	0,93	0,94 kPa	0,51 kPa
karbon dioksida, CO ₂	$\pm 0,04$	$\pm 0,04$ kPa	$\pm 0,02$ kPa

Perhatikan kolom terakhir. Di puncak gunung, persentase oksigen tetap 21%, tetapi tekanan parsialnya tinggal separuh. Paru-paru kita menyerap oksigen berdasarkan tekanan parsialnya, sehingga pendaki bisa terserang sakit ketinggian: pusing, mual, dan sesak napas.

$$p_{O_2} = \frac{\%O_2}{100} \times \left(1 + \frac{h}{10}\right)$$

Setiap turun 10 m di laut, tekanan bertambah ± 1 atm, dan bagian oksigen dari tekanan itu ikut naik.

h Kedalaman m

$\%O_2$ Kadar oksigen di tabung %

p_{O_2} Tekanan parsial O_2 atm

TEKANAN PARSIAL O_2

0,59

atm

☒ oksigen dalam rentang aman

Tekanan total **2,8** atm; tekanan parsial N_2 **±2,212** atm.

Cek satuan: $(\% \div 100) \times \text{atm} = \text{atm}$ ✓

RUMUS HIDUP: GESER NILAINYA DAN KUMPULKAN KARTUNYA DI AURUMGEN.MY.ID/CHEMIPEDIA#RM-PENYELAM-P02



KIMIA NUSANTARA • MENYELAM DI RAJA AMPAT

Raja Ampat di Papua Barat Daya terkenal di seluruh dunia karena terumbu karangnya. Penyelam di sana membawa tabung berisi udara yang dimampatkan sampai ± 200 bar (hukum Boyle: ± 12 L tabung menyimpan ± 2.400 L udara!). Pada kedalaman 30 m, tekanan total ± 4 atm, sehingga tekanan parsial nitrogen naik menjadi $\pm 3,2$ atm. Nitrogen bertekanan tinggi itu membuat sebagian penyelam merasa "mabuk" (narkosis nitrogen). Penyelam yang memakai nitroks (udara kaya oksigen) harus menghitung kedalaman maksimumnya dengan hukum Dalton supaya tekanan parsial oksigen tidak melewati 1,4 atm.



KESELAMATAN

Penyelam dengan tabung (scuba) tidak boleh menahan napas saat naik ke permukaan. Menurut hukum Boyle, 2 L udara di paru-paru pada kedalaman 20 m (± 3 atm) akan memuai menjadi ± 6 L di permukaan dan dapat merobek paru-paru. Selalu bernapas normal, naik perlahan, dan menyelamlah hanya bersama pemandu bersertifikat.

Laras menguraikan larutan hidrogen peroksida dengan ragi: $2\text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2$. Gas oksigen dikumpulkan di atas air dalam gelas ukur terbalik: 250 mL pada 25 °C, dengan tekanan total 100,0 kPa. Tekanan uap air pada 25 °C adalah 3,2 kPa. Berapa gram O_2 yang terkumpul, dan berapa gram H_2O_2 yang terurai?

1 Gas di gelas ukur adalah campuran O_2 dan uap air. Dalton: $p_{\text{O}_2} = 100,0 - 3,2 = 96,8$ kPa.

2 $n_{\text{O}_2} = \frac{pV}{RT} = \frac{96,8 \times 0,250}{8,314 \times 298,15} = 9,76 \times 10^{-3} \text{ mol} \rightarrow \text{massa} = 9,76 \times 10^{-3} \times 32 = 0,312 \text{ g}$.

3 Perbandingan koefisien $\text{H}_2\text{O}_2 : \text{O}_2 = 2 : 1 \rightarrow n_{\text{H}_2\text{O}_2} = 1,95 \times 10^{-2} \text{ mol} \rightarrow \text{massa} = 1,95 \times 10^{-2} \times 34 = 0,664 \text{ g}$.

Terkumpul $\pm 0,312 \text{ g O}_2$ dari $\pm 0,664 \text{ g H}_2\text{O}_2$. Kalau uap air tidak dikurangkan, jumlah oksigen terhitung $\pm 3\%$ terlalu besar.

Sekarang hukum kedua. Bila wadah gas diberi lubang yang sangat kecil, partikel yang kebetulan melaju ke arah lubang akan lolos keluar. Peristiwa ini disebut **efusi**. Bila gas menyebar dan bercampur dengan gas lain (seperti bau rendang yang tercium dari dapur sampai ke ruang tamu), peristiwanya disebut **difusi**.



Tebak Dulu!

Satu balon ditiup dengan udara, satu lagi diisi helium, sampai sama besar. Esok paginya, balon mana yang lebih kempis?

Balon udara, karena napas kita lembap.

Balon helium, karena atom helium ringan dan melaju lebih cepat, sehingga lebih cepat lolos lewat pori karet.

Sama saja, karena volumenya sama.

Balon helium justru makin besar karena helium terus naik.

Jawabannya: balon helium. Pada suhu yang sama, partikel ringan bergerak lebih cepat. Atom helium ($M = 4$) melaju $\pm 2,7$ kali lebih cepat daripada molekul udara ($M \approx 29$), sehingga lebih sering "menemukan" pori-pori kecil di karet balon dan kabur.



HUKUM GRAHAM (EFUSI)

Pada suhu dan tekanan yang sama, laju efusi gas berbanding terbalik dengan akar massa molarnya:

$$\frac{r_1}{r_2} = \sqrt{\frac{M_2}{M_1}} \quad \text{dan} \quad \frac{t_1}{t_2} = \sqrt{\frac{M_1}{M_2}}$$

r adalah laju efusi; t adalah waktu yang diperlukan untuk berefusi dengan volume yang sama.

RUMUS HIDUP

Hukum Graham: siapa yang kabur lebih cepat?

$$\frac{r_1}{r_2} = \sqrt{\frac{M_2}{M_1}}$$

Gas yang molekulnya lebih ringan berefusi lebih cepat; lajunya berbanding terbalik dengan akar massa molarnya.

M_1 Massa molar gas 1 g/mol

M_2 Massa molar gas 2 g/mol

r_1/r_2 Perbandingan laju efusi kali

PERBANDINGAN LAJU EFUSI

2,693

kali

gas 1 lebih ringan, jadi lebih lincah

helium lolos ±2,7 kali lebih cepat daripada udara

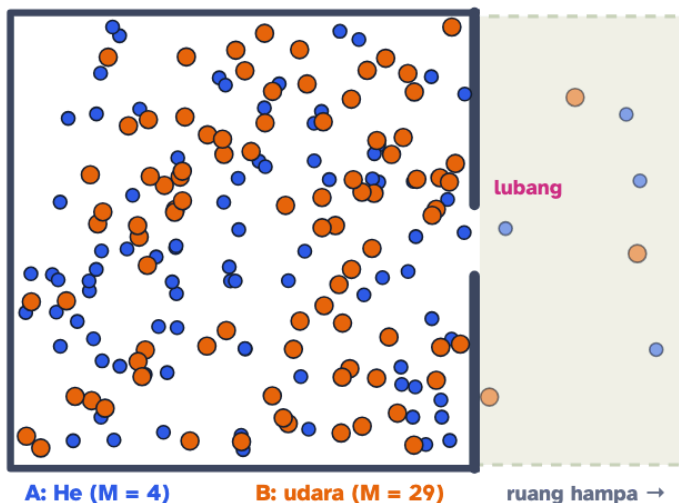
Gas 1 berefusi **2,693** kali secepat gas 2. Untuk volume yang sama, waktunya **0,371** kali waktu gas 2.

Cek satuan: $\sqrt{((\text{g/mol}) \div (\text{g/mol}))} = \text{tanpa satuan} \checkmark$

RUMUS HIDUP: GESER NILAINYA DAN KUMPULKAN KARTUNYA DI AURUMGEN.MY.ID/CHEMIPEDIA#RM-GRAHAM-EFUSI

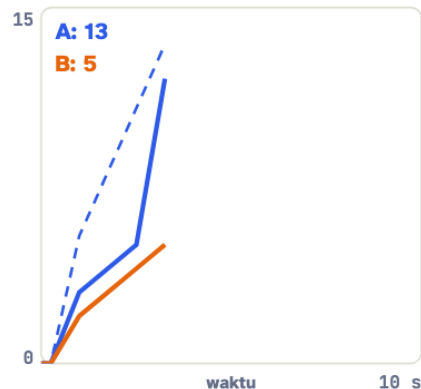
Wadah berlubang • 90 partikel He + 90 partikel udara

Partikel yang lolos lewat lubang dihitung, lalu wadah diisi ulang.



Jumlah yang lolos

putus-putus: ramalan Graham untuk A



hitungan A : B = 2,6

ramalan $\sqrt{M_B/M_A} = 2,69$

A lolos

13

B lolos

5

rasio A : B (hitungan)

2,6

ramalan Graham $\sqrt{M_B/M_A}$

2,69

waktu

3,6 s

Pilih dua gas, lalu tekan ► **Jalankan**. Setiap gas punya 90 partikel di wadah kiri. Partikel yang kebetulan melaju ke lubang akan lolos ke ruang hampa (dan wadah diisi ulang supaya jumlahnya tetap). Bandingkan rasio hitungan dengan ramalan Graham. Makin lama dijalankan, makin dekat hasilnya, persis seperti percobaan sungguhan yang diulang berkali-kali. Coba juga dua gas yang sama: rasionya harus mendekati 1.

apas + NH_3 (Mr 17)cincin putih NH_4Cl kapas + HCl (Mr 36, NH_3 menempuh $\pm 59\%$ $\text{HCl} \pm 41\%$

Demonstrasi guru di lemari asam: amonia dan hidrogen klorida dilepas bersamaan dari kedua ujung tabung.

Cincin putih NH_4Cl muncul lebih dekat ke ujung HCl , karena NH_3 yang lebih ringan bergerak lebih cepat. Graham meramalkan perbandingan jarak $36,5/17 = 1,47$. Hasil nyata bisa sedikit berbeda karena di dalam tabung molekul berdifusi menembus udara, bukan berdifusi lewat lubang kecil.



TRIK KAK TIRTA

"Ringan itu lincah, tetapi akarnya yang dihitung." Gas 16 kali lebih berat hanya 4 kali lebih lambat ($\sqrt{16} = 4$). Hati-hati arah pecahannya: **laju** memakai $\sqrt{M_2/M_1}$, sedangkan **waktu** memakai $\sqrt{M_1/M_2}$. Cek akal sehat: gas yang lebih ringan harus punya laju lebih besar dan waktu lebih singkat.



TAMU DARI MASA LALU

Thomas Graham, kimiawan Skotlandia, meneliti bagaimana gas merembes melalui sumbat gipsum berpori dan lubang-lubang kecil pada 1830–1840-an. Dari data itu ia merumuskan hukumnya. Lebih dari seabad kemudian, prinsip efusi dipakai dalam skala raksasa untuk memisahkan isotop uranium: $^{235}\text{UF}_6$ hanya $\pm 0,4\%$ lebih cepat daripada $^{238}\text{UF}_6$, sehingga gasnya harus dilewatkan ke ribuan tahap penyaring berturut-turut.

14.6 Lanjut: kecepatan molekul, Maxwell–Boltzmann, dan gas nyata

Seberapa cepat sebenarnya partikel gas melaju? Teori kinetik memberi jawabannya. Karena $\overline{E_k} = \frac{1}{2}m\overline{v^2} = \frac{3}{2}kT$, akar rata-rata kuadrat kecepatannya, disebut **kecepatan rms** (*root mean square*), adalah:

$$v_{\text{rms}} = \sqrt{\overline{v^2}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}} \quad (M \text{ dalam kg/mol})$$

$$v_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$$

Molekul makin cepat bila suhunya tinggi dan makin lambat bila molekulnya berat. Ingat: M dalam kg/mol!

T Suhu mutlak K

M Massa molar g/mol

v_{rms} Kecepatan rms m/s

KECEPATAN RMS

515

m/s

nitrogen, N_2

Itu **1.854,801** km/jam, atau **1,502** kali laju bunyi di udara.

Satuan Nusantara: $\approx 1,5 \times$ bunyi di udara $\cdot \approx 5,3 \times$ kereta cepat Whoosh (350 km/jam) $\cdot \approx 7\%$ dari satelit orbit rendah

Cek satuan: $\sqrt{(\text{J}/(\text{mol} \cdot \text{K}) \times \text{K} \div (\text{kg}/\text{mol}))} = \sqrt{(\text{J}/\text{kg})} = \sqrt{(\text{m}^2/\text{s}^2)} = \text{m/s} \checkmark$

RUMUS HIDUP: GESER NILAINYA DAN KUMPULKAN KARTUNYA DI AURUMGEN.MY.ID/CHEMIPEDIA#RM-VRMS-MOLEKUL



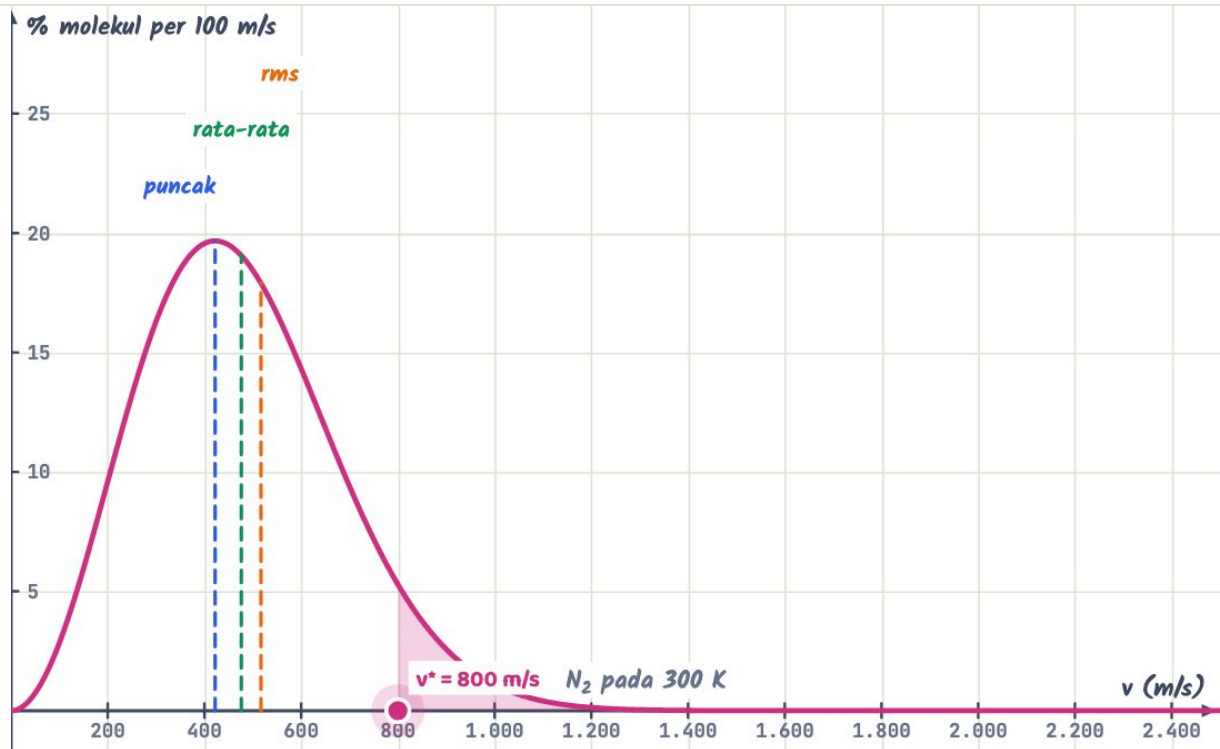
AWAS JEBAKAN

Dalam $v_{\text{rms}} = \sqrt{3RT/M}$, massa molar harus dalam **kg/mol** karena $R = 8,314 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$ dan $1 \text{ J} = 1 \text{ kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}^2$. Untuk nitrogen, tulis $M = 0,028 \text{ kg/mol}$, bukan 28. Kalau memakai 28, hasilnya $\pm 16 \text{ m/s}$, lebih lambat daripada sepeda!

Tentu saja, tidak semua molekul melaju dengan kelajuan yang sama. Tumbukan terus-menerus membuat sebagian molekul lambat dan sebagian sangat cepat. Pada 1860, **James Clerk Maxwell** menghitung bentuk sebaran kelajuan itu, dan **Ludwig Boltzmann** kemudian menyempurnakannya. Grafiknya disebut **distribusi Maxwell-Boltzmann**.

$$f(v) = 4\pi \left(\frac{M}{2\pi RT} \right)^{3/2} v^2 e^{-Mv^2/2RT}$$

$$v_{\text{rms}} = 516,95 \text{ m/s}$$



udara kamar: N_2 rata-rata $\pm 475 \text{ m/s}$

v puncak

422 m/s

v rata-rata

476 m/s

v rms

517 m/s

molekul lebih cepat dari v^*

6,6 %

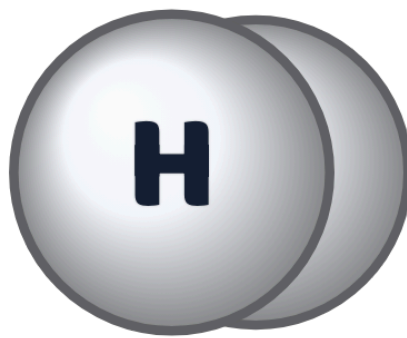
Naikkan suhu: kurva bergeser ke kanan, melebar, dan puncaknya turun (luas di bawah kurva selalu 100%).
Lalu ganti massa molar: molekul ringan menyebar ke kelajuan tinggi. Seret titik v^* untuk melihat berapa persen molekul yang lebih cepat dari ambang itu. Ide ini akan kembali di Bab 21: hanya molekul yang cukup cepat (berenergi cukup) yang dapat bereaksi.

Gas pada 25 °C	M (g/mol)	v_{rms} (m/s)	Pembanding
hidrogen, H_2	2,02	± 1.920	$\pm 6.900 \text{ km/jam}$
helium, He	4,00	± 1.360	4 kali laju bunyi

nitrogen, N ₂	28,0	±515	lebih cepat daripada pesawat jet
oksigen, O ₂	32,0	±482	±1.700 km/jam
karbon dioksida, CO ₂	44,0	±411	sedikit di atas laju bunyi

Teori kinetik menganggap partikel tidak bervolume dan tidak saling tarik. Kenyataannya, molekul punya ukuran (Bab 12) dan saling tarik lewat gaya antarmolekul (Bab 13). Dua anggapan itu baru terasa salah bila partikel dipaksa berdekatan: pada **tekanan tinggi** dan **suhu rendah**. Seberapa jauh gas menyimpang diukur dengan **faktor kompresibilitas** $Z = \frac{PV}{nRT}$. Untuk gas ideal $Z = 1$ persis.

MOLEKUL 3D Molekul gas: kecil, tetapi tidak nol



Seret untuk memutar · ketuk atom untuk mengukur

Hidrogen H₂ Mr ≈ 2,02

Molekul paling sederhana: dua proton berbagi sepasang elektron.

Model isi ruang menunjukkan ukuran molekul. Bandingkan H₂ dengan CO₂: makin besar molekulnya, makin besar tetapan b van der Waals. Amonia tidak besar, tetapi tetapan a-nya terbesar di antara molekul ini. Mengapa? (Petunjuk: ikatan hidrogen, Bab 13.)



PERSAMAAN VAN DER WAALS

Pada 1873, **Johannes Diderik van der Waals** memperbaiki persamaan gas ideal dengan dua koreksi, dan untuk itu ia menerima Nobel Fisika 1910:

$$\left(P + \frac{an^2}{V^2}\right)(V - nb) = nRT$$

- **b** (volume molekul): ruang bebas bagi gerak partikel lebih kecil daripada volume wadah, jadi V diganti $V - nb$. Efeknya menaikkan tekanan.
- **a** (gaya tarik): partikel yang hendak menumbuk dinding "ditarik mundur" oleh tetangganya, sehingga tumbukannya lebih lemah. Tekanan nyata lebih kecil sebesar an^2/V^2 .

Gas	a (L ² ·atm/mol ²)	b (L/mol)
He	0,0341	0,0237
H ₂	0,244	0,0266
N ₂	1,39	0,0391
O ₂	1,36	0,0318
CO ₂	3,59	0,0427
NH ₃	4,17	0,0371
H ₂ O	5,46	0,0305

Contoh: 1,00 mol CO₂ dalam tabung 0,500 L pada 300 K. Gas ideal: $P = \frac{1,00 \times 0,08206 \times 300}{0,500} = 49,2$ atm. Van der Waals: $P = \frac{24,62}{0,500 - 0,0427} - \frac{3,59}{0,500^2} = 53,8 - 14,4 = 39,5$ atm. Tekanan nyata ±20% lebih rendah ($Z \approx 0,80$): gaya tarik antarmolekul menang. Pada tekanan yang jauh lebih tinggi, volume molekul yang menang dan $Z > 1$.

**TIGA KELAJUAN KHAS DAN ATMOSFER YANG BOCOR**

Dari distribusi Maxwell-Boltzmann diperoleh tiga kelajuan khas dengan perbandingan tetap:

$$v_p = \sqrt{\frac{2RT}{M}} < \bar{v} = \sqrt{\frac{8RT}{\pi M}} < v_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}} \quad (1 : 1,128 : 1,225)$$

Di lapisan teratas atmosfer suhunya dapat melebihi 1.000 K. Sebagian kecil molekul hidrogen dan helium di ekor kanan kurva melaju melebihi kecepatan lepas Bumi, 11,2 km/s, lalu lolos ke antariksa. Selama miliaran tahun, Bumi kehilangan hampir semua hidrogen dan helium bebasnya, sedangkan N₂ dan O₂ yang lebih berat bertahan. Bulan yang gravitasinya lemah bahkan tidak mampu mempertahankan atmosfer sama sekali.

Kimia di sekitarmu**Ban motor di siang terik**

Udara di dalam ban memanaskan sehingga tekanannya naik (hukum Gay-Lussac). Periksa tekanan ban pagi hari saat ban masih dingin.

**Keripik "bantal"**

Kemasan keripik diisi gas nitrogen supaya keripik tidak cepat tengik dan tidak remuk. Di Dieng atau Bromo, kemasan itu menggembung karena tekanan luar turun.

**Tabung LPG 3 kg**

Isinya ±60 mol propana-butana. Sebagai gas ideal dalam tabung ±7,3 L tekanannya akan ±200 atm! Untungnya gas itu mencair, sehingga tekanannya hanya ±5–8 bar. Jangan dijemur: tekanan naik bila panas.

**Penyelam Raja Ampat**

Udara dimampatkan ±200 bar ke dalam tabung (Boyle), dan tekanan parsial oksigen dijaga di bawah 1,4 atm (Dalton).

**Balon udara Wonosobo**

Udara yang dipanaskan memuai (Charles), sebagian keluar, sehingga isi balon lebih ringan daripada udara di sekitarnya dan balon terangkat.

**Panci presto**

Uap yang terkurung menaikkan tekanan menjadi ±2 atm, sehingga air baru mendidih pada ±120 °C. Daging rendang empuk dalam waktu jauh lebih singkat.

**Cek Cepat**

Pada suhu tetap, volume sejumlah gas diperkecil menjadi setengahnya. Tekanannya menjadi ...

setengahnya

tetap

dua kali semula

empat kali semula

Gas pada 27 °C dipanaskan menjadi 327 °C pada tekanan tetap. Volumennya menjadi ...

2 kali semula

12 kali semula

tetap

setengahnya

Udara kering mengandung 21% oksigen (dalam mol). Pada tekanan total 100 kPa, tekanan parsial oksigen adalah ...

100 kPa

21 kPa

79 kPa

4,8 kPa

Kunci Cek Cepat: 1. C • 2. A • 3. B

Tantangan Rumah: balon yang bernapas

Bahan: botol plastik bekas 600 mL (kosong dan kering), balon karet, dua baskom, air hangat dari termos atau keran ($\pm 50^\circ\text{C}$, bukan air mendidih), air es, lap, meteran jahit, termometer dapur (bila ada).

1. Pasang mulut balon yang kempis pada mulut botol sampai rapat.
2. Minta orang dewasa mengisi baskom pertama dengan air hangat $\pm 50^\circ\text{C}$. Celupkan bagian bawah botol selama 2 menit. Amati balon, lalu ukur kelilingnya dengan meteran jahit.
3. Pindahkan botol ke baskom berisi air es selama 2 menit. Amati dan ukur lagi.
4. Ulangi dua kali. Apakah balon selalu kembali ke ukuran yang sama?
5. Bonus: saat balon mengembang, remas botol perlahan. Apa yang terjadi pada balon, dan hukum gas mana yang berlaku?

Keselamatan: Air panas hanya dituang oleh orang dewasa. Jangan memakai air mendidih: botol plastik dapat melunak dan air panas dapat melukai kulit. Letakkan baskom di lantai atau meja yang stabil, jauh dari jangkauan adik kecil. Bila kamu alergi lateks, ganti balon dengan kantong plastik tipis. Keringkan tumpahan air supaya lantai tidak licin.

Pertanyaan: Bila udara di dalam botol memanaskan dari 27°C menjadi 50°C , berapa persen volumenya bertambah? Berapa mililiter udara yang pindah ke dalam balon? Jelaskan pengamatanmu pada tingkat partikel.

RINGKASAN KILAT Bab 14 dalam 3 menit

Kamu sekarang bisa...

- menjelaskan **tekanan gas** dengan **teori kinetik** (tumbukan partikel) dan memakai skala **suhu mutlak** (kelvin)
- menerapkan **hukum Boyle, Charles, Gay-Lussac**, dan hukum gas gabungan pada peristiwa sehari-hari
- memakai **hukum Avogadro** dan **persamaan gas ideal** $PV = nRT$ untuk menghitung tekanan, volume, M_r , dan massa jenis gas
- menghitung **tekanan parsial** (hukum Dalton) dan membandingkan laju **efusi** gas (hukum Graham)
- menjelaskan penyimpangan **gas nyata** (van der Waals), **kecepatan rms**, dan **distribusi Maxwell-Boltzmann**

Istilah kunci

Tekanan pascal kelvin nol mutlak volume molar tetapan gas massa jenis gas
tekanan parsial fraksi mol efusi difusi kecepatan rms distribusi Maxwell-Boltzmann
faktor kompresibilitas

Rumus penting

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

Hukum gas gabungan: kemasan keripik naik gunung. Untuk sejumlah gas yang sama, P kali V dibagi T selalu bernilai sama, ke mana pun gas itu dibawa.

$$P = \frac{nRT}{V}$$

Gas ideal: berapa tekanannya? Tekanan gas sebanding dengan banyaknya partikel dan suhunya, tetapi berbanding terbalik dengan volume wadahnya.

$$p_{O_2} = \frac{\%O_2}{100} \times \left(1 + \frac{h}{10}\right)$$

Tekanan parsial oksigen penyelam. Setiap turun 10 m di laut, tekanan bertambah ± 1 atm, dan bagian oksigen dari tekanan itu ikut naik.

$$\frac{r_1}{r_2} = \sqrt{\frac{M_2}{M_1}}$$

Hukum Graham: siapa yang kabur lebih cepat? Gas yang molekulnya lebih ringan berefusi lebih cepat; lajunya berbanding terbalik dengan akar massa molarnya.

$$v_{rms} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$$

Kecepatan rms molekul gas. Molekul makin cepat bila suhunya tinggi dan makin lambat bila molekulnya berat. Ingat: M dalam kg/mol!

⚠ Jangan sampai terjebak

- Partikel gas tidak memuai saat dipanaskan dan tidak menyusut saat didinginkan.
- Hukum Charles dan Gay-Lussac hanya berlaku untuk suhu dalam kelvin.
- Kesalahan paling sering pada $PV = nRT$ adalah satuan yang tidak cocok dengan R .

📄 Tangga Latihan: 24 soal bab ini (Lv 1 Pemula sampai Lv 6 Olimpiade) ada di PDF Bank Soal dan di aurumgen.my.id/chemipedia#soal?bab=14

🧩 Teka-teki untuk Bab 15

Kak Tirta membuat bolu kukus. Adonannya diberi sejumput soda kue, lalu mengembang karena gelembung gas karbon dioksida memuai saat dipanaskan (hukum Charles beraksi!). Di label kemasannya tertulis "natrium hidrogen karbonat". Kenapa namanya begitu, tetapi di dapur disebut soda kue? Dan apa bedanya dengan soda api yang berbahaya?

▼ Intip petunjuk

Nama kimia disusun dari ion-ionnya: Na^+ (natrium) dan HCO_3^- (hidrogen karbonat), sehingga rumusnya $NaHCO_3$. Saat dipanaskan, $2NaHCO_3 \rightarrow Na_2CO_3 + H_2O + CO_2$. Soda api adalah natrium hidroksida, $NaOH$, basa kuat yang korosif. Satu kata "soda", dua zat yang sangat berbeda! Di Bab 15 kita belajar membaca dan menyusun nama kimia seperti ini.