

# STOIKIOMETRI

## Konsep mol

Dalam hukum-hukum dasar materi ditegaskan bahwa senyawa terbentuk dari unsur bukan dengan perbandingan sembarang tetapi dalam jumlah yang spesifik, demikian juga reaksi kimia antara suatu atom atau molekul. Muncul pertanyaan, bagaimana cara seseorang menimbang sampel betul-betul hanya mengandung sejumlah atom atau molekul yang diperlukan untuk reaksi kimia tertentu? Sedangkan satu buah atom atau molekul sangat kecil. Kajian tentang konsep mol akan menjawab pertanyaan-pertanyaan diatas, karena mol akan menghubungkan massa partikel seperti atom atau molekul dengan ukuran yang dapat ditentukan secara laboratorium seperti gram atau liter.

## Massa Atom Relatif

Sampai saat ini belum ada alat yang mampu menimbang massa atom sebenarnya karena atom berukuran sangat kecil. Penentuan massa atom dilakukan secara relatif yaitu dengan cara membandingkan massa atom yang akan ditentukan terhadap massa atom unsur tertentu yang massanya telah ditetapkan. Sampai tahun 1900, kimiawan bekerja dengan skala massa atom relatif dimana massa atom hidrogen rata-rata ditetapkan sama dengan satu. Tidak lama berselang, mereka berganti skala dimana massa atom relatif rata-rata oksigen alami ditentukan sama dengan 16. Sejak tahun 1961 melalui perjanjian internasional, skala massa atom direvisi lagi, dengan mengambil angka 12 sebagai massa atom relatif isotop atom karbon-12.

Oleh karena itu massa atom suatu unsur adalah perbandingan massa dari satu atom unsur tersebut dengan 1/12 massa dari

atom karbon-12.

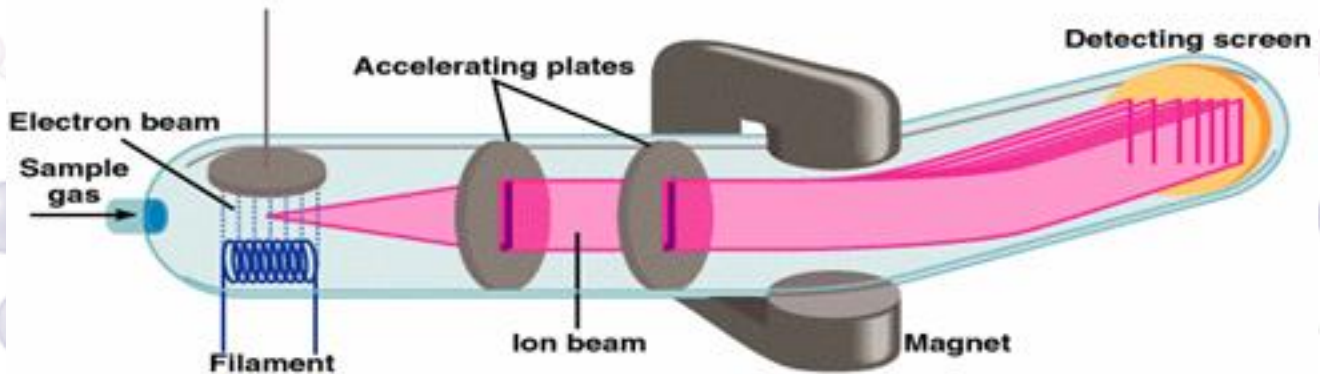
Ada beberapa metode yang telah dilakukan untuk menentukan massa atom, yaitu metode Dulong & Petit (1819), metode Cannizzaro (1858, dan yang paling modern metode spektrometri massa.

Metode Dulong & Petit menghitung massa molekul berdasarkan anggapan bahwa : kalor jenis (satuan  $\text{J mol}^{-1}\text{K}^{-1}$ ) x berat atom  $\sim 26,8$ .

Metode Cannizzaro didasarkan atas anggapan bahwa molekul mengandung sejumlah atom-atom, dengan jumlah yang merupakan bilangan bulat. Penentuan massa atom unsur X ditentukan dari penentuan massa molekul sejumlah senyawa yang mengandung unsur X. Massa paling kecil dari unsur X yang terdapat dalam satu gram molekul senyawa-senyawa tersebut adalah massa dari unsur X.

Metode spektrometri massa merupakan cara yang paling teliti. Dengan metode ini dapat ditentukan massa isotop suatu atom maupun kelimpahannya di alam. Kedua data tersebut digunakan untuk menghitung massa atom relatif. Prinsip kerja spektrometer massa adalah: atom diionisasi sehingga dihasilkan spesi bermuatan positif. Selanjutnya, ion yang terbentuk dipercepat oleh medan listrik dan dilewatkan melalui suatu magnet pengurai. Jejak partikel yang dihasilkan membentuk suatu lengkungan, ini disebabkan oleh defleksi magnet pengurai yang mempengaruhi ion bermuatan positif. Ukuran lengkungan bergantung pada angka banding massa-muatan partikel ( $e/m$ ), akibatnya berkas partikel yang menumbuk detektor bergantung pada angka banding  $e/m$  ion-ion yang terbentuk.

## Mass Spectrometer



### Massa Molekul Relatif

Massa molekul relatif dari suatu senyawa adalah massa dari suatu molekul relatif terhadap massa satu atom isotop C-12. Massa molekul relatif dapat ditentukan dengan berbagai macam cara, diantaranya dari rumus molekul, dari pengukuran massa jenis gas, dan dari sifat koligatif larutan.

Massa molekul relatif dapat ditentukan dari rumus molekul karena massa molekul merupakan jumlah massa atom dari atom-atom yang menyusun molekul tersebut. Penentuan massa molekul relatif dari massa jenis gas berdasarkan ketentuan bahwa massa dari 22,4 L gas (ideal) pada STP (25°C, 1 atm) adalah satu mol. Sedangkan penentuan massa molekul relatif dari sifat koligatif terutama penurunan titik beku dan tekanan osmosis berdasarkan hubungan perbandingan lurus antara sifat koligatif tersebut dengan massa molekul suatu zat cair atau padatan.

Tidak semua senyawa berbentuk molekul, tetapi ada juga senyawa yang tersusun dari ion-ion, misalnya NaCl. Senyawa NaCl

tersusun dari ion  $\text{Na}^+$  dan ion  $\text{Cl}^-$ . Oleh karena itu, massa senyawa NaCl dinyatakan dengan massa rumus relatif, sebagai pengganti istilah massa molekul relatif. Sedangkan perhitungan

massa rumus relatif sama seperti cara penentuan massa molekul relatif.

### Bilangan avogadro

Bilangan avogadro menghubungkan antara skala massa makroskopik yang digunakan di laboratorium dengan skala massa mikroskopik setiap atom dan molekul. Bilangan avogadro dilambangkan dengan  $N_0$  dan didefinisikan sebagai banyaknya atom dalam 12 g tepat atom karbon-12. Bilangan avogadro ditentukan berdasarkan eksperimen, dengan nilai yang diterima sekarang adalah :

$$N_0 = 6,022137 \times 10^{23}$$

Massa satu atom karbon-12 dengan demikian dapat dihitung dengan membagi tepat 12 g oleh  $N_0$ , didapatkan nilai  $1,992648 \times 10^{-23}$  g. Kita dapat menerapkannya pada zat lain juga dengan cara yang sederhana. Contoh atom natrium yang memiliki massa atom relatif 22,98977. Bobot satu atom natrium adalah  $22,98977/12 \times$  bobot satu atom karbon-12. Jika  $N_0$  atom karbon-12 mempunyai massa 12 g, maka massa  $N_0$  atom natrium seharusnya 22,98977 g.

Massa dari  $N_0$  atom dalam gram setiap atom secara numerik sama dengan massa atom relatif unsur tersebut. Kesimpulan yang sama berlaku untuk molekul.

### Pengertian Mol

Atom dan molekul mempunyai massa yang sangat kecil sehingga eksperimen kimia di laboratorium akan melibatkan banyak sekali atom dan molekul. Oleh karena itu akan sangat mudah apabila atom atau molekul dikelompokkan dalam satuan  $N_0 = 6,022 \times 10^{23}$

untuk mengukur jumlah kimia dari suatu zat. Salah satu dari satuan hitungan ini adalah mol. Satu mol zat didefinisikan banyaknya atom atau molekul atau partikel lain yang mengandung sejumlah bilangan avogadro. Dengan kata lain 1 mol karbon-12 mengandung  $6,022 \times 10^{23}$  atom karbon-12, 1 mol air mengandung  $6,022 \times 10^{23}$  molekul air.

### Massa Molar

Massa satu mol atom suatu unsur disebut massa molar, dengan satuan gram per mol, dimana secara numerik sama dengan massa atom relatif. Dengan demikian hubungan antara mol dengan gram dapat digambarkan sebagai berikut :

jumlah mol suatu unsur = banyaknya gram unsur/massa molar unsur

jumlah mol suatu unsur = banyaknya gram unsur/massa atom relatif unsur

jumlah mol suatu senyawa = banyaknya gram senyawa/massa molekul relatif senyawa

### Penerapan konsep mol pada gas

Persamaan gas ideal yang terkenal adalah  $PV = nRT$ , dengan R adalah tetapan untuk semua gas dan n adalah jumlah mol gas. Pada tekanan standar 1 atm dan suhu 273 K (STP), satu mol gas menempati volume 22,414 L.

### Penerapan konsep mol pada larutan

Larutan satu molar (M) adalah larutan yang mengandung satu mol zat terlarut dalam 1 L larutan. Jumlah mol zat terlarut yang terdapat dalam sejumlah volume larutan dapat dinyatakan dengan :

$$\text{Jumlah mol} = \text{Molaritas (M)} \times \text{volume (L)}$$

### Rumus kimia

Apabila seseorang berhasil menemukan atau membuat suatu senyawa maka perlu dianalisis unsur-unsur yang terkandung dalam senyawa tersebut secara kualitatif dan kuantitatif. Dengan kata lain, menentukan persen komposisi secara eksperimen, menentukan rumus empiris dan rumus molekul.

### Persen komposisi

Susunan atau komposisi dari suatu senyawa dapat ditentukan dengan berbagai metoda. Dua metoda klasik yang diterapkan sejak dulu adalah analisis pengendapan dan analisis pembakaran. Metoda analisis pengendapan, dapat digunakan jika terbentuk senyawa yang sukar larut. Misalnya dalam sintesis senyawa yang mengandung logam perak. Cuplikan dari senyawa tersebut ditimbang kemudian direaksikan dengan larutan HCl agar terbentuk endapan perak(I) klorida, AgCl. Selanjutnya endapan disaring, dibersihkan dari pengotor, dikeringkan dan ditimbang secara analitis. Persen komposisi cuplikan dapat dihitung dengan anggapan bahwa selama reaksi berlangsung, semua perak bereaksi tepat dengan HCl membentuk perak(I) klorida.

$$\frac{\text{massa Ag}}{\text{massa AgCl}} = \frac{\text{massa molar Ag}}{\text{massa molar AgCl}}$$

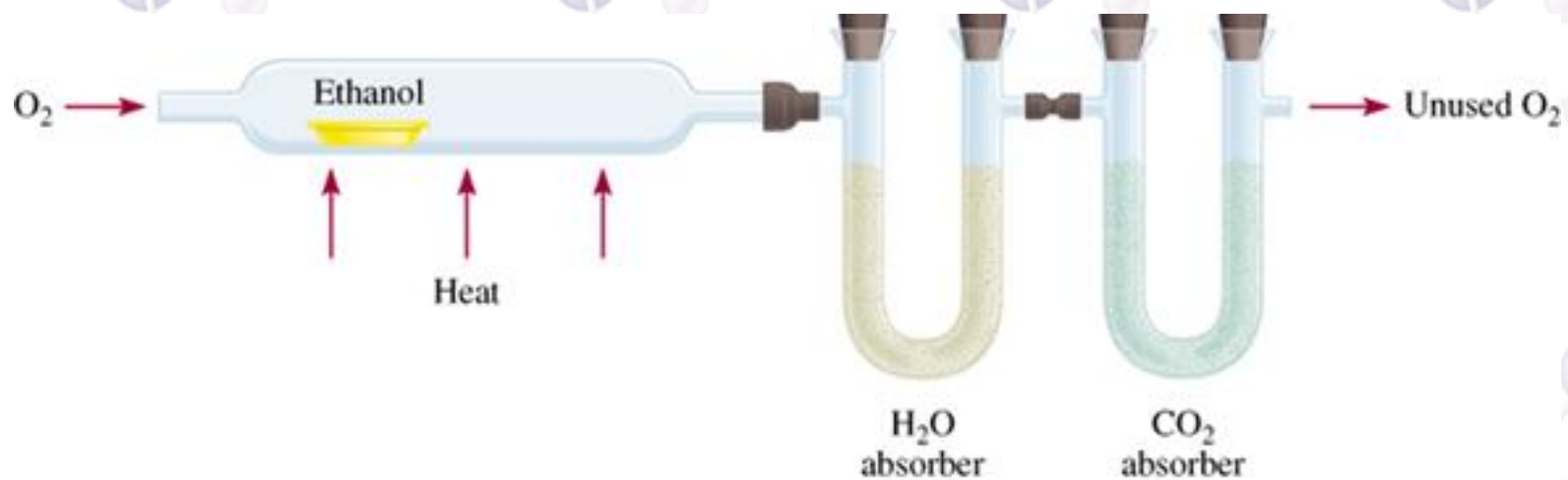
$$\text{Massa Ag} = \frac{\text{massa molar Ag}}{\text{massa molar AgCl}} \times \text{massa AgCl}$$

$$\text{Persen massa Ag} = (\text{massa Ag} / \text{massa cuplikan}) \times$$

100%

Metoda analisis pembakaran, sering digunakan secara luas terutama untuk reaksi-reaksi yang melibatkan gas misalnya

senyawa yang mengandung karbon dan hidrogen. Cuplikan dari senyawa ditimbang, dimasukkan ke dalam tabung tertutup sambil dialirkan gas oksigen ke dalamnya agar terjadi pembakaran sempurna sampai semua karbon dan hidrogen membentuk gas karbon dioksida dan uap air. Produk reaksi bersama-sama gas oksigen dikeluarkan dari tabung pembakar melalui dua buah absorben (bahan penyerap), satu untuk menyerap uap air dan satu lagi untuk menyerap karbon dioksida. Pertambahan berat pada penyerap menunjukkan massa air dan massa karbon dioksida yang terbentuk. Dengan diketahuinya massa air dan massa karbon dioksida, maka massa hidrogen dan massa karbon yang berasal dari cuplikan senyawa dapat dihitung berikut persentase massanya.



### Rumus empiris

Rumus empiris adalah rumus yang paling sederhana yang menyatakan perbandingan atom-atom dari berbagai unsur pada senyawa. Contoh, rumus molekul benzen adalah C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>, rumus empirisnya adalah CH. Rumus molekul hidrogen peroksida adalah H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, rumus empirisnya HO.

Rumus empiris digunakan pada zat-zat yang tidak terdiri dari molekul-molekul diskrit, seperti misalnya NaCl, MgO, dan CaCO<sub>3</sub>.

Rumus empiris dapat ditentukan dari data macam unsur dalam senyawa (analisis kualitatif), persen komposisi unsur (analisis kuantitatif) dan massa atom relatif unsur-unsur yang bersangkutan. Cara menentukan rumus empiris suatu senyawa dapat dilakukan dalam tahap-tahap berikut :

- Tentukan massa setiap unsur dalam sejumlah massa tertentu senyawa atau persen massa setiap unsur. Dari data ini diperoleh massa relatif unsur yang terdapat dalam senyawa.
- Membagi massa setiap unsur dengan massa atom relatif, sehingga memperoleh perbandingan mol setiap unsur atau perbandingan atom.
- Mengubah perbandingan yang diperoleh menjadi bilangan sederhana dengan cara membagi dengan bilangan bulat terkecil.

## Rumus molekul

Rumus molekul memberikan jumlah mol (bukan saja perbandingan) setiap jenis atom dalam satu mol molekul senyawa. Data yang diperlukan untuk menentukan rumus molekul adalah rumus empiris dan massa molekul relatif. Massa molekul relatif merupakan kelipatan dari massa rumus empiris, atau  $M_r (RM) = n \times (RE)$ .

## Persamaan Kimia

### Penulisan reaksi kimia

Reaksi kimia menjelaskan apa yang terjadi ketika sebuah reaksi kimia berlangsung. Reaksi ini menggunakan simbol kimia dan rumus kimia untuk memberikan gambaran sebelum dan sesudah



reaksi berlangsung serta zat-zat kimia yang terlibat dalam reaksi. Oleh karena itu persamaan kimia sering disebut persamaan reaksi.

Contohnya, reaksi yang terjadi ketika bubuk seng (Zn) dicampur dengan sulfur (S) menghasilkan suatu zat yang disebut seng sulfida (ZnS). Reaksi ini ditulis dalam persamaan kimia sebagai berikut :



Dua zat yang berada di sebelah kiri tanda panah, Zn dan S, disebut reaktan (pereaksi). Mereka adalah zat yang ada sebelum reaksi terjadi. Sebelah kanan anak panah adalah ZnS, yang merupakan hasil dari reaksi. Dalam contoh ini, hanya satu zat yang dibentuk dalam reaksi, hingga hanya ada satu produk (zat hasil reaksi). Tetapi, sebagian besar reaksi kimia menghasilkan lebih dari satu produk. Produk-produk tersebut adalah zat yang terbentuk dan ada setelah reaksi terjadi. Tanda panah artinya "bereaksi untuk menghasilkan". Karena itu, persamaan ini menunjukkan bahwa seng dan sulfur bereaksi menghasilkan seng

Persamaan kimia harus menunjukkan berlakunya hukum konservasi massa. Hukum ini berlaku jika jumlah atom yang ada sebagai reaktan setara dengan jumlah atom yang ada sebagai produk. Oleh karena itu perlu dicantumkan angka-angka yang menunjukkan jumlah zat-zat reaktan dan produk didepan rumus kimia atau simbol kimia. Angka-angka tersebut disebut koefisien reaksi. Koefisien berfungsi untuk menyetarakan jumlah atom reaktan dan produk. Contohnya reaksi pembakaran butana ( $C_4H_{10}$ ).



Angka 2 sebelum  $C_4H_{10}$  dan angka 13 sebelum  $O_2$ , menunjukkan bahwa dua molekul butana bereaksi dengan 13 molekul gas oksigen. Reaksi ini melibatkan 8 atom karbon, 20 atom hidrogen dan 26 atom oksigen. Di sisi kanan ditemukan 8 molekul  $CO_2$  dan 10 molekul  $H_2O$ , yang totalnya mengandung 8 atom karbon, 20 atom hidrogen dan 26 atom oksigen.

Persamaan kimia juga perlu menunjukkan kondisi fisik dari reaktan dan produk, yaitu apakah berbentuk padat, cairan atau

gas. Caranya dengan menuliskan (s) untuk padatan, (l) untuk cairan, (g) untuk gas dan (aq) untuk zat yang terlarut dalam air setelah simbol kimia atau rumus kimianya. Contohnya, reaksi antara asam klorida (HCl) dan garam kalsium karbonat (CaCO<sub>3</sub>) sebagai berikut :



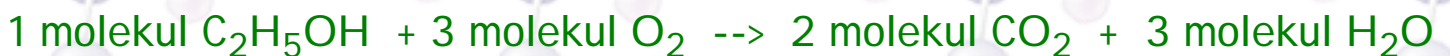
Reaksi-reaksi yang melibatkan ion maka selain kesetaraan jumlah atom juga harus dipenuhi kesetaraan jumlah muatan.

### Perhitungan berdasar persamaan reaksi

Suatu persamaan reaksi dapat ditafsirkan dalam beberapa cara. Misalnya, persamaan reaksi untuk pembakaran etanol



Pada tingkat mikroskopik, kita dapat memandang sebagai reaksi antara molekul-molekul individu.



Namun kita dengan mudah meningkatkan skala reaksi tersebut kedalam kuantitas ukuran laboratorium dengan menerapkan konsep mol. Untuk persamaan reaksi, angka banding dimana molekul-molekul bereaksi atau terbentuk tepat sama dengan angka banding dimana mol zat-zat tersebut bereaksi atau terbentuk. Ini berarti bahwa untuk pembakaran etanol, kita juga dapat menulis :



Kita tidak selalu bekerja dengan 1 mol  $C_2H_5OH$ . Jika dibakar 2 mol  $C_2H_5OH$ , maka persamaan reaksi menjadi :



Berapapun kuantitas yang digunakan selalu akan dijumpai bahwa banyaknya mol  $O_2$  yang dipakai adalah 3 kali banyaknya mol  $C_2H_5OH$  dan untuk setiap mol  $C_2H_5OH$  yang dibakar habis, akan terbentuk 2 mol  $CO_2$  dan 3 mol  $H_2O$ . Informasi tersebut diperoleh dari persamaan reaksi karena :

koefisien-koefisien dalam suatu persamaan reaksi menyajikan angka banding antara mol zat-zat yang bereaksi dengan mol zat-zat yang terbentuk.

Apabila kita melakukan eksperimen , biasanya bekerja dalam satuan laboratorium, misalnya gram. Untuk mendapatkan perhitungan dalam gram kita dapat melakukan dengan cara mengubah satuan laboratorium (gram) ke satuan kimia (mol), menalar dengan mol, dan kemudian mengembalikan lagi ke satuan laboratorium.

### Perhitungan Pereaksi Pembatas

Dalam reaksi kimia, biasanya tidak selalu mencampurkan pereaksi dalam proporsi yang benar secara eksak sehingga semua pereaksi akan habis tanpa sisa. sering terjadi adanya satu pereaksi atau lebih dalam keadaan berlebih. Apabila hal ini terjadi, satu pereaksi akan habis terlebih dahulu sebelum pereaksi yang lain habis. Misalnya 5 mol  $H_2$  dan 1 mol  $O_2$  dicampur dan dibiarkan bereaksi menurut persamaan ;



Koefisien reaksi menunjukkan bahwa dalam persamaan tersebut 1 mol  $O_2$  akan mampu bereaksi seluruhnya karena  $H_2$  yang tersedia

lebih dari 2 mol. Dalam contoh ini  $O_2$  disebut sebagai pereaksi pembatas karena bila habis tidak ada reaksi lebih lanjut yang terjadi dan tidak ada lagi produk  $H_2O$  yang terbentuk. Dengan kata lain dalam campuran 5 mol  $H_2$  dan 1 mol  $O_2$ , banyaknya  $O_2$  yang membatasi banyaknya  $H_2O$  yang terbentuk.

dalam memecahkan soal pereaksi pembatas, kita harus mengenal mana yang merupakan pereaksi pembatas. Kemudian, kita hitung banyaknya produk yang terbentuk berdasarkan pada banyaknya pereaksi pembatas yang tersedia.

### Perhitungan Persen Hasil

Jumlah pereaksi pembatas yang ada pada awal reaksi menentukan hasil teoritis dari reaksi tersebut. Jadi hasil teoritis adalah banyaknya produk yang diperoleh dari reaksi yang berlangsung sempurna. Pada praktiknya, jumlah hasil sebenarnya hampir selalu lebih kecil daripada hasil teoritis. Ada beberapa alasan mengapa terjadi perbedaan antara hasil sebenarnya dengan hasil teoritis. Misalnya, banyak reaksi kimia yang berkesetimbangan sehingga tidak 100 % reaksi berlangsung dari kiri kekanan. beberapa reaksi bersifat kompleks, dalam arti produk-produk yang terbentuk mungkin dapat bereaksi lebih lanjut membentuk produk yang lain.

Untuk menentukan efisiensi dari suatu reaksi, kimiawanseringkali menggunakan persen hasil yang merupakan perbandingan hasil sebenarnya terhadap hasil teoritis.