Stoikiometri

Konsep Mol : Menghubungkan Dunia Makroskopik dan Dunia Molekular

Secara Mikro
atom & molekul

→

Secara Makro
gram

Massa atom merupakan massa dari atom dalam satuan massa atom (sma).

Perjanjian internasional:
1 atom ^{12}C “beratnya” 12 u

Jika ditimbang

^{1}H = 1,008 u

^{16}O = 16,00 u

Tabel periodik mencantumkan massa atom unsur-unsur

24 Cr 52.00 — Atomic number / Atomic mass

1 1A	2 2A	3 3B	4 4B	5 5B	6 6B	7 7B	8	9 8B	10	11 1B	12 2B	13 3A	14 4A	15 5A	16 6A	17 7A	18 8A
1 H 1.008																	2 He 4.003
3 Li 6.941	4 Be 9.012											5 B 10.81	6 C 12.01	7 N 14.01	8 O 16.00	9 F 19.00	10 Ne 20.18
11 Na 22.99	12 Mg 24.31											13 Al 26.98	14 Si 28.09	15 P 30.97	16 S 32.07	17 Cl 35.45	18 Ar 39.95
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 58.69	29 Cu 63.55	30 Zn 65.39	31 Ga 69.72	32 Ge 72.59	33 As 74.92	34 Se 78.96	35 Br 79.90	36 Kr 83.80
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)	44 Ru 101.1	45 Rh 102.9	46 Pd 106.4	47 Ag 107.9	48 Cd 112.4	49 In 114.8	50 Sn 118.7	51 Sb 121.8	52 Te 127.6	53 I 126.9	54 Xe 131.3
55 Cs 132.9	56 Ba 137.3	57 La 138.9	72 Hf 178.5	73 Ta 180.9	74 W 183.9	75 Re 186.2	76 Os 190.2	77 Ir 192.2	78 Pt 195.1	79 Au 197.0	80 Hg 200.6	81 Tl 204.4	82 Pb 207.2	83 Bi 209.0	84 Po (210)	85 At (210)	86 Rn (222)
87 Fr (223)	88 Ra (226)	89 Ac (227)	104 Rf (257)	105 Ha (260)	106 Sg (263)	107 Ns (262)	108 Hs (265)	109 Mt (266)	110	111	112						

58 Ce 140.1	59 Pr 140.9	60 Nd 144.2	61 Pm (147)	62 Sm 150.4	63 Eu 152.0	64 Gd 157.3	65 Tb 158.9	66 Dy 162.5	67 Ho 164.9	68 Er 167.3	69 Tm 168.9	70 Yb 173.0	71 Lu 175.0
90 Th 232.0	91 Pa (231)	92 U 238.0	93 Np (237)	94 Pu (242)	95 Am (243)	96 Cm (247)	97 Bk (247)	98 Cf (249)	99 Es (254)	100 Fm (253)	101 Md (256)	102 No (254)	103 Lr (257)

Metals

Metalloids

Nonmetals

Litium alam:

7,42% ^{6}Li (6,015 u)

92,58% ^{7}Li (7,016 u)

Massa atom rata-rata dari litium:

$$\frac{7{,}42 \times 6{,}015 + 92{,}58 \times 7{,}016}{100} = 6{,}941 \text{ u}$$

- Punggunaan massa atomik harus mengikut sertakan pecahan desimal (jumlah angka penting menjadi besar) sehingga konstribusi data massa atom ke ketidakpastian tidak signifikan

Mol

1 dosin = 12

1 box/krat = 24

1 gross = 144

1 rim = 500

- Satu **mol** materi mengandung sejumlah satuan formula (atom, molekul, atau partikel lain) yang sama dengan jumlah atom dari 12 g karbon-12(^{12}C)
- 12 g ^{12}C = 602.213.367.000.000.000.000.000 atom

$$1 \text{ mol} = N_A = 6{,}0221367 \times 10^{23}$$

Bilangan Avogadro (N_A)

Massa Molar: massa dari 1 mol (dlm gram/kg)

1 mol atom ^{12}C = 6,022 x 10^{23} atom = 12.00 g

1 atom ^{12}C = 12,00 sma

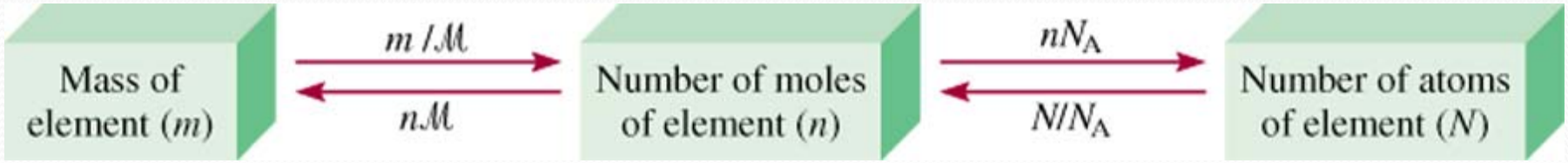
1 mol atom ^{12}C = 12,00 g ^{12}C

1 mol atom litium = 6,941 g Li

Bagi tiap unsur
massa atom (sma) = massa molar (gram)

$$\frac{1\ \cancel{\text{atom}}\ {}^{12}C}{12{,}00\ \text{sma}} \times \frac{12{,}00\ \text{g}}{6{,}022 \times 10^{23}\ \cancel{\text{atom}}\ {}^{12}C} = \frac{1{,}66 \times 10^{-24}\ \text{g}}{1\ \text{sma}}$$

1 sma = $1{,}66 \times 10^{-24}$ g atau 1 g = $6{,}022 \times 10^{23}$ sma



$\mathcal{M}$ = massa molar dalam g/mol

N_A = bilangan Avogadro

Apakah Anda Sudah Mengerti Massa Molar?

berapa jumlah atom pada 0,551 g potasium (K) ?

1 mol K = 39,10 g K

1 mol K = $6{,}022 \times 10^{23}$ atom K

$$0{,}551\ \cancel{\text{g K}} \times \frac{\cancel{1\ \text{mol K}}}{39{,}10\ \cancel{\text{g K}}} \times \frac{6{,}022 \times 10^{23}\ \text{atom K}}{\cancel{1\ \text{mol K}}} =$$

$8{,}49 \times 10^{21}$ atom K

- Bilangan Avogadro sangat besar karena atom dan molekul terlalu kecil: suatu bilangan yang sangat besar diperlukan untuk sampel dalam skala laboratorium
- Bilangan Avogadro menghubungkan mol dengan atom, atau mol dengan molekul menghasilkan cara mudah menghubungkan massa dengan atom atau molekul

- Contoh: Air (massa molar 18.015)

  1 mol H_2O ⇔ 6,022 x 10^{23} molekul H_2O

  1 mol H_2O ⇔ 18,015 g H_2O

  18,015 g H_2O ⇔ 6,022 x 10^{23} molekul H_2O

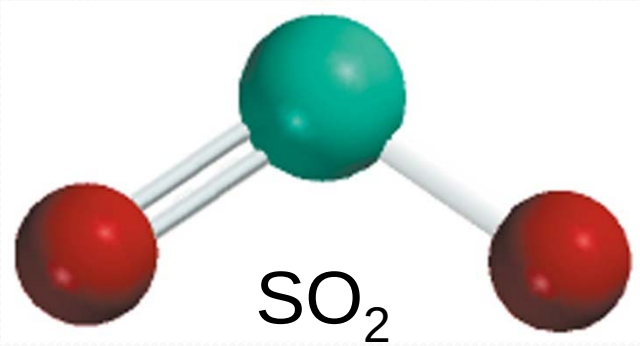
- Dalam senyawa kimia, mol atom selalu bergabung dalam perbadingan yang sama dengan atom secara individu sehingga:

  1 mol H_2O ⇔ 2 mol H

  1 mol H_2O ⇔ 1 mol O

- **Massa molekuler** memungkinkan perhitungan molekul melalui jumlah massa
- Massa molekuler merupakan jumlah massa atom dalam rumus molekul
  - Sebagai contoh untuk air, H_2O, massa molekuler merupakan 2 x massa hidrogen (1,008) ditambah massa oksigen (15,999) = 18,015

- Ingat, senyawa ionik tidak memiliki “massa molekuler” karena tidak mengandung molekul
- Massa satuan formula disebut **massa formula**
- Massa formula dihitung dengan cara yang sama dengan massa molekuler
  - Sebagai contoh massa formula kalsium oksida, CaO, adalah massa kalsium (40,08) ditambah massa oksigen (15,999) = 56,08



1S	32,07 sma
2O	+ 2 x 16,00 sma
SO_2	64,07 sma

Bagi tiap molekul

massa molekul (sma) = massa molar (gram)

1 molekul SO_2 = 64,07 sma

1 mol SO_2 = 64,07 g SO_2

Apakah Anda Sudah Mengerti Massa Molekul & Massa Formula?

Berapa jumlah atom H dalam 72,5 g C_3H_8O ?

1 mol C_3H_8O = (3 x 12) + (8 x 1) + 16 = 60 g C_3H_8O

1 mol C_3H_8O molekul = 8 mol atom H

1 mol H = $6{,}022 \times 10^{23}$ atom H

$$72{,}5\ \cancel{g\ C_3H_8O} \times \frac{1\ \cancel{mol\ C_3H_8O}}{60\ \cancel{g\ C_3H_8O}} \times \frac{8\ \cancel{mol\ H\ atom}}{1\ \cancel{mol\ C_3H_8O}} \times \frac{6{,}022 \times 10^{23}\ atom\ H}{1\ \cancel{mol\ atom\ H}} =$$

$5{,}82 \times 10^{24}$ atom H

- **Stoikiometri** merupakan kajian tentang hubungan massa dalam senyawa kimia dan reaksi kimia
- Penggunaan umum stoikhiometri adalah untuk menghubungkan massa reaktan yang diperlukan untuk membuat suatu senyawa
- Perhitungan dapat dilakukan dengan metode faktor-label dan hubungan ekuivalen massa molekul dan atau massa formula yang berkaitan

- Contoh: Berapa gram besi dalam 15,0 g sampel besi (III) oksida?

ANALISIS: 15,0 g Fe_2O_3 ⇔ ? g Fe

HUBUNGAN: 1 mol Fe_2O_3 ⇔ 2 mol Fe

1 mol Fe_2O_3 ⇔ 159,9 g Fe_2O_3

1 mol Fe ⇔ 55,85 g Fe

PENYELESAIAN:

$$15{,}0\ \cancel{g\ Fe_2O_3} \times \frac{1\ \cancel{mol\ Fe_2O_3}}{159{,}9\ \cancel{g\ Fe_2O_3}} \times \frac{2\ \cancel{mol\ Fe}}{1\ \cancel{mol\ Fe_2O_3}} \times \frac{55{,}85\ g\ Fe}{1\ \cancel{mol\ Fe}} = 10{,}5\ g\ Fe$$

- Bentuk umum dalam menggambarkan massa relatif unsur dalam senyawa adalah *persen massa*
- Sering disebut sebagi **persen komposisi** atau **persen komposisi massa**
- Persen massa adalah jumlah gram unsur dalam 100 g senyawa yang dirumuskan sebagai:

$$\%\ \text{unsur} = \frac{\text{massa unsur}}{\text{massa keseluruhan sampel}} \times 100\%$$

- Contoh: Suatu sampel dianalisis dan ditemukan bahwa sampel mengandung 0,1417 g nitrogen dan 0,4045 g oksigen. Berapa persen komposisi senyawa ini?

ANALISIS: Cari massa sampel dan hitung %

HUBUNGAN: keseluruhan sampel = 0,5462 g

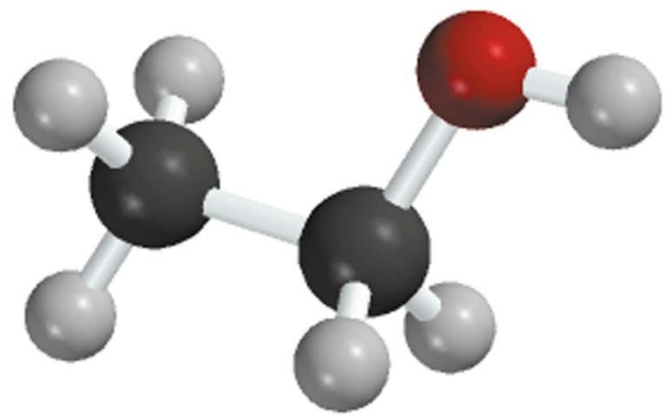
JAWABAN:

$$\% \text{ N} = \frac{0.1417 \text{ g N}}{0,5462 \text{ g sampel}} \times 100\% = 25,94 \ \%$$

$$\% \text{ O} = \frac{0,4045 \text{ g O}}{0,5462 \text{ g sampel}} \times 100\% = 74,06 \ \%$$

Apakah Anda Sudah Mengerti Persen komposisi?

Berapa persen komposisi senyawa etanol C_2H_5OH ?



C_2H_6O

$$\%C = \frac{2 \times (12{,}01\ g)}{46{,}07\ g} \times 100\% = 52{,}14\%$$

$$\%H = \frac{6 \times (1{,}008\ g)}{46{,}07\ g} \times 100\% = 13{,}13\%$$

$$\%O = \frac{1 \times (16{,}00\ g)}{46{,}07\ g} \times 100\% = 34{,}73\%$$

52,14% + 13,13% + 34,73% = 100,0%

- Hidrogen peroksida terdiri atas molekul dengan rumus H_2O_2
- Disebut dengan **rumus molekul**
- Rumus paling sederhana hidrogen peroksida adalah HO yang disebut **rumus empiris**
- Rumus empiris dapat dihitung dari data massa
- Tujuannya untuk menghasilkan perbandingan bilangan bulat terkecil mol atom

- Contoh: Sebanyak 2,012 g sampel senyawa mengandung 0,522 g nitrogen dan 1,490 g oksigen. Hitung rumus empiris

ANALISIS: Diperlukan perbadingan bilangan bulat terkecil dari mol nitrogen dan oksigen

PENYELESAIAN:

$$0{,}522 \text{ g N} \times \frac{1 \text{ mol N}}{14{,}01 \text{ g N}} = 0{,}0373 \text{ mol N}$$

$$1{,}490 \text{ g O} \times \frac{1 \text{ mol O}}{15{,}999 \text{ g O}} = 0{,}0931 \text{ mol O}$$

$$N_{\frac{0{,}0373}{0{,}0373}} O_{\frac{0{,}0931}{0{,}0373}} = N_{1{,}00} O_{2{,}50}$$

$$N_{1{,}00 \times 2} O_{2{,}50 \times 2} = N_{2{,}00} O_{5{,}00} = N_2O_5$$

- Rumus empirik juga dapat dihitung secara tidak langsung
- Jika senyawa hanya terdiri atas karbon, hidrogen, dan oksigen dibakar sempurna dengan oksigen murni maka hanya akan menghasilkan karbon dioksida dan air
- Peristiwa tersebut disebut Pembakaran (**combustion)**
- Rumus Empirik dapat dihitung dari analisis informasi pembakaran

- Contoh: Pembakaran 5,217 g sampel senyawa C, H, dan O menghasilkan 7,406 g CO_2 dan 4,512 g H_2O. Tentukan rumus empirik senyawa.

ANALISIS: Problem multi step. Massa oksigen didapatkan dari selisih:

g O = 5,217 g sampel – (g C + g H)

massa unsur kemudian digunakan untuk menghitung rumus empirik senyawa

PENYELESAIAN:

$$7{,}406\ \text{g}\ CO_2 \times \frac{12{,}011\ \text{g C}}{44{,}009\ \text{g}\ CO_2} = 2{,}022\ \text{g C}$$

$$4{,}512\ \text{g}\ H_2O \times \frac{2{,}0158\ \text{g H}}{18{,}015\ \text{g}\ H_2O} = 0{,}5049\ \text{g H}$$

$$\text{massa total C dan H} = 2{,}527\ \text{g}$$

$$\text{massa O} = 5{,}217\ \text{g} - 2{,}527\text{g} = 2{,}690\ \text{g}$$

$$\text{C}:\quad 2{,}022\ \text{g C} \times \frac{1\text{mol C}}{12{,}011\ \text{g C}} = 0{,}1683\ \text{mol C}$$

$$\text{H}: 0{,}5049\ \text{g H} \times \frac{1\text{mol H}}{1{,}008\ \text{g H}} = 0{,}5009\ \text{mol H}$$

$$\text{O}:\quad 2{,}690\ \text{g O} \times \frac{1\text{mol O}}{15{,}999\ \text{g O}} = 0{,}1681\ \text{mol O}$$

$$C_{\frac{0{,}1683}{0{,}1681}} H_{\frac{0{,}5009}{0{,}1681}} O_{\frac{0{,}1681}{0{,}1681}} = C_{1{,}001} H_{2{,}980} O_{1{,}000} = CH_3O$$

- Rumus untuk senyawa ionik sama dengan rumus empirik
- Untuk molekul , rumus molekul dan rumus empirik biasanya berbeda
- Jika massa molekul eksperimen tersedia maka rumus empirik dapat dirubah menjadi rumus molekul
- Rumus molekul merupakan kelipatan seluruh koefisien dalam rumus empirik

- Contoh: Rumus empirik hidrazine adalah NH_2, dan massa molekulernya 32,0. Apa rumus molekul hidrazin?

ANALISIS: Massa molekular (32,0) adalah kelipatan sederhadana dari massa yang dihitung dari rumus empirik (16,03)

PENYELESAIAN:

$$\text{faktor kelipatan} = \frac{32{,}0}{16{,}03} = 2{,}00$$

$$\text{Rumus yang benar adalah}$$

$$N_{1\times 2{,}00}H_{2\times 2{,}00} = N_2H_4$$

- Koefisien dari reaksi setimbang memberikan informasi perbandingan mol-mol materi yang terlibat dalam reaksi
- Apapun soal dalam perubahan materi yang berbeda biasanya melibatkan hubungan mol-mol
- Bagaimana mendeteksi reaksi tidak setimbang?

- contoh: jika 0,575 mol CO_2 dihasilkan dari pembakaran propane, C_3H_8, berapa mol oksigen yang diperlukan? Reaksi setimbangnya adalah:

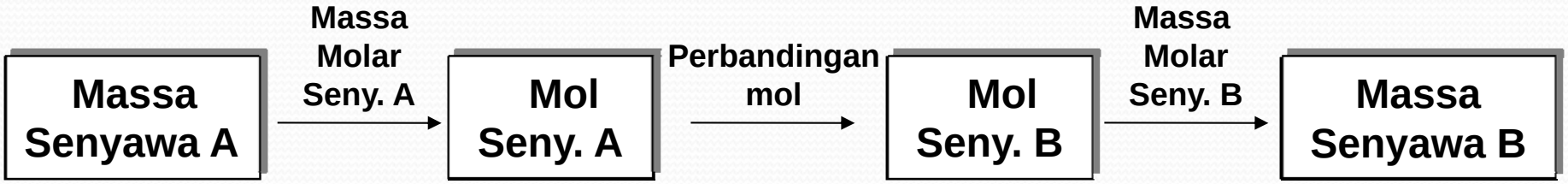
  $C_3H_8 + 5\ O_2 \rightarrow 3\ CO_2 + 4\ H_2O$

  ANALISIS: Menghubungkan dua senyawa biasanya melibatkan perbandingan mol-ke-mol

  PENYELESAIAN:

$$0{,}575\ \text{mol CO}_2 \times \frac{5\ \text{mol O}_2}{3\ \text{mol CO}_2} = 0{,}958\ \text{mol O}_2$$

Metode Mol



1. Tulis rumus yg benar untuk semua reaktan dan produk dan setarakan reaksi kimianya
2. Konversi kuantitas dari sebagian atau semua zat yang diketahui (biasanya reaktan) menjadi mol.
3. Gunakan koefisien2 dlm persamaan yg sudah setara untuk menghitung jumlah mol dr kuantitas yg dicari atau yang tidak diketahui (biasanya kuantitas produk).
4. Konversi kuantitas yang tidak diketahui menggunakan jumlah mol yang telah dihitung serta massa molarnya.
5. Periksalah bahwa jawabannya masuk akal dalam bentuk fisiknya.

- contoh: Berapa gram of Al_2O_3 dihasilkan jika 41,5 g Al beraksi?

$2Al(s) + Fe_2O_3(s) \rightarrow Al_2O_3(s) + 2\ Fe(l)$

ANALISIS:

41,5 g Al ⇔ ? g Al_2O_3

PENYELESAIAN:

$$\text{grams Al} \rightarrow \text{mol Al} \rightarrow \text{mol}Al_2O_3 \rightarrow \text{gram } Al_2O_3$$

$$41{,}5\ \text{g Al} \times \frac{1\,\text{mol Al}}{26{,}98\ \text{g Al}} \times \frac{1\,\text{mol } Al_2O_3}{2\,\text{mol Al}} \times \frac{102{,}0\ \text{g } Al_2O_3}{1\,\text{mol } Al_2O_3} = 78{,}45\ \text{g } Al_2O_3$$

Persamaan Reaksi

- Persamaan kimia memberikan gambaran kuantitatif reaksi kimia
- Kekakalan massa merupakan dasar penyetimbangan persamaan reaksi
- Untuk menyetimbangkan suatu persamaan:
  1) Tulis reaksi yang belum setimbang
  2) Sesuaikan koefisien untuk mendapatkan jumlah yang sama untuk semua atom dikedua sisi reaksi

- Panduan penyetimbangan reaksi:
  1) Setimbangkan dulu unsur-unsur selain H dan O
  2) Setimbangkan sebagai kelompok segala bentuk ion polyatomik yang tidak berubah pada kedua sisi reaksi
  3) Setimbangkan secara terpisah unsur-unsur tersebut yang muncul dimanapun sebagai unsur bukan sebagai grup
- Harus digunakan koefisien bilangan bulat terkecil saat menulis reaksi yang setimbang

- Semua reaksi biasanya menggunakan semua reaktan kemudian berhenti
- Reaktan yang dihabiskan terlebih dahulu disebut sebagai reaktan pembatas (**limiting reactant)** karena membatasi jumlah produk yang dapat terbentuk
- Semua pereaksi yang tidak habis selama reaksi disebut sebagai berlebih (**excess)** dan disebut sebagai **excess reactant**
- Perhitungan jumlah produk yang terbentuk selalu berdasarkan limiting reactant

- contoh: Berapa gram NO dapat terbentuk jika 30,0 g NH_3 dan 40,0 g O_2 bereaksi sesuai reaksi:

  $4\ NH_3 + 5\ O_2 \rightarrow 4\ NO + 6\ H_2O$

  ANALISIS: Soal tentang limiting reactant

  PENYELESAIAN:

$$30{,}0\ \text{g}\ NH_3 \times \frac{1\ \text{mol}\ NH_3}{17{,}03\ \text{g}\ NH_3} \times \frac{4\ \text{mol}\ NO}{4\ \text{mol}\ NH_3} \times \frac{30{,}01\ \text{g}\ NO}{1\ \text{mol}\ NO} = 52{,}9\ \text{g}\ NO$$

$$40{,}0\ \text{g}\ O_2 \times \frac{1\ \text{mol}\ O_2}{32{,}00\ \text{g}\ O_2} \times \frac{4\ \text{mol}\ NO}{5\ \text{mol}\ O_2} \times \frac{30{,}01\ \text{g}\ NO}{1\ \text{mol}\ NO} = 30{,}01\ \text{g}\ NO$$

O_2 adalah limiting reactant dan 30,01 g NO terbentuk

Apakah Anda Mengerti Pereaksi Pembatas?

Dlm suatu proses, 124 g Al bereaksi dg 601 g Fe_2O_3

$$2Al + Fe_2O_3 \longrightarrow Al_2O_3 + 2Fe$$

Hitung massa Al_2O_3 yang terbentuk.

g Al ⟶ mol Al ⟶ dibthkan mol Fe_2O_3 ⟶ dibthkan Fe_2O_3

ATAU

g Fe_2O_3 ⟶ mol Fe_2O_3 ⟶ dibthkan Al ⟶ dibthkan g Al

$$124\ \text{g Al} \times \frac{1\ \text{mol Al}}{27.0\ \text{g Al}} \times \frac{1\ \text{mol } Fe_2O_3}{2\ \text{mol Al}} \times \frac{160\ \text{g } Fe_2O_3}{1\ \text{mol } Fe_2O_3} = 367\ \text{g } Fe_2O_3$$

124 g Al ⟶ membthkan 367 g Fe_2O_3

Tersedia Fe_2O_3 (601 g) shg Al adalah pereaksi pembatas

Gunakan pereaksi pembatas untuk menghitung jumlah produk yang dapat dihasilkan.

$$\text{g Al} \longrightarrow \text{mol Al} \longrightarrow \text{mol } Al_2O_3 \longrightarrow \text{g } Al_2O_3$$

$$2Al + Fe_2O_3 \longrightarrow Al_2O_3 + 2Fe$$

$$124 \text{ g Al} \times \frac{1 \text{ mol Al}}{27.0 \text{ g Al}} \times \frac{1 \text{ mol } Al_2O_3}{2 \text{ mol Al}} \times \frac{102 \text{ g } Al_2O_3}{1 \text{ mol } Al_2O_3} = 234 \text{ g } Al_2O_3$$

- Jumlah produk yang didapatkan dalam reaksi kimia selalu lebih kecil dari perhitungan (jumlah maksimum yang mungkin)
- **Hasil aktual (actual yield)** adalah jumlah produk yang diinginkan yang berhasil didapatkan
- **Hasil teori (theoretical yield)** adalah jumlah yang berhasil didapatkan jika tidak ada kehilangan (hasil perhitungan, jumlah maksimum)
- **Persen yield** adalah hasil aktual sebagai persentase hasil teoritis

$$\text{persentase hasil} = \frac{\text{hasil aktual}}{\text{hasil teoritis}} \times 100\%$$

- Yang harus diperhatikan dari persentase yield:
  - Melibatkan pengukuran (actual yield) dan perhitungan (theoretical yield) kuantitas produk
  - Perhitungan dapat dilakukan baik dalam gram maupun mol
  - Hasil tidak pernah lebih besar dari 100%