

STOIKIOMETRI

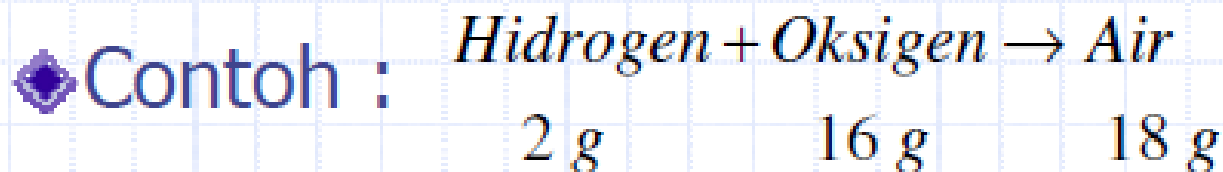
Purwanti Widhy H, M.Pd
widhy_ipauny@yahoo.com

Hukum-Hukum Dasar

- ◆ Hukum Kekekalan Massa (Lavoisier, 1783)
- ◆ Hukum Perbandingan Tetap (Proust, 1799)
- ◆ Hukum Kelipatan Perbandingan (Dalton, 1803)
- ◆ Hukum Perbandingan Timbal Balik (Richter, 1792)
- ◆ Hukum Perbandingan Setara
- ◆ Hukum Penyatuan volume (Gay Lussac, 1808)
- ◆ Hukum Avogadro (1811)

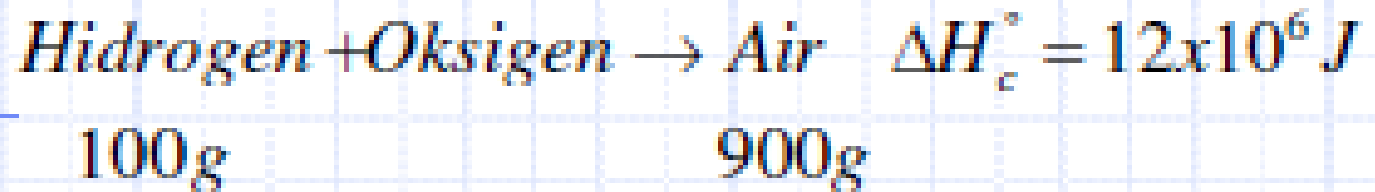
Hukum Kekekalan Massa

"Pada setiap reaksi kimia, massa zat-zat yang bereaksi adalah sama dengan massa produk reaksi."



◆ Dalam versi modern : *Setiap reaksi kimia tidak dapat dideteksi perubahan massa*

◆ Bukti :



◆ Menurut Einstein :

$$E = mc^2$$

$$12 \times 10^6 = m(3 \times 10^8)^2$$

$$m = \frac{12 \times 10^6}{9 \times 10^{16}} = 1,33 \times 10^{-10} \text{ kg}$$

$$m = 1,33 \times 10^{-10} \text{ g (kecil sekali)}$$

◆ massa hilang tiap pembentukan 900 g air

Hukum Kelipatan Perbandingan

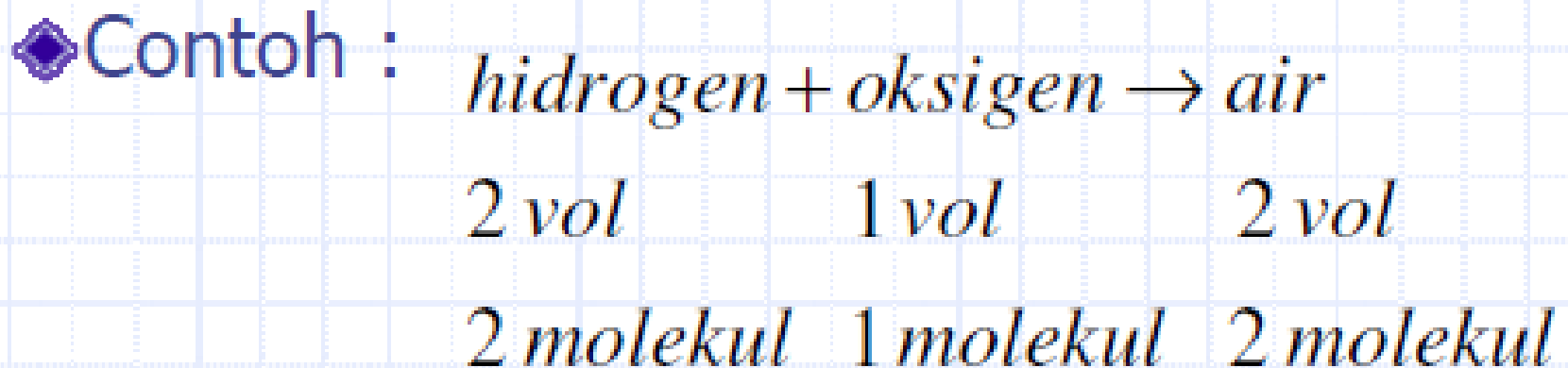
"Bila dua unsur dapat membentuk lebih dari satu senyawa, maka perbandingan massa dari unsur yang satu, yang bersenyawa dengan sejumlah tertentu zat lain, merupakan bilangan yang mudah dan bulat."

◆ Contoh :

Senyawa	% N	% O	<u>Massa N</u> Massa O
I	63,7	36,3	1:0,57
II	46,7	53,3	1:1,14
III	36,9	63,11	1:1,74

Hukum Avogadro

"Pada suhu dan tekanan yang sama, volume yang sama dari semua gas mengandung sejumlah molekul yang sama."



Menentukan jumlah partikel dan jumlah mol

$$\text{Jumlah mol } X(n) = \frac{\text{jumlah partikel } X}{L}$$

1 mol = L partikel

L = bilangan avogadro ($6.02 \times 10^{23}/\text{mol}$)

Massa Atom Relatif dan Massa molekul relatif

Pada tahun 1962 ditetapkan isotop karbon-12 sebagai dasar penentuan massa atom relatif

MASSA ATOM RELATIF suatu unsur: harga rata-rata massa atom relatif dari isotop-isotop menurut kelimpahannya berdasarkan atas nuklida karbon yang mempunyai massa 12 tepat

$$A_r = \frac{\text{massa satu atom unsur}}{\frac{1}{12} \text{ massa satu atom karbon} - 12}$$

Massa satu atom karbon = 12 sma = $1,9926786 \times 10^{-23}$ g
1 sma (amu) = $1,660566 \times 10^{-24}$ g = 1 dalton (1D)

Massa Molekul Relatif (Mr)

$$M_r = \frac{\text{massa satu molekul senyawa}}{\frac{1}{12} \text{ massa satu atom karbon} - 12}$$

$$M_r = \sum A_r$$

Menghitung jumlah mol jika diketahui massa, Mr, Ar

$$n = \frac{\text{gr}}{\text{Mr/Ar}}$$

n = mol

gr = massa

Mr/Ar = massa atom/molekul relatif

KONSEP MOL

- Mol: jumlah zat suatu sistem yang mengandung sejumlah besaran elementer (atom, molekul, partikel dsb) sebanyak atom yang terkandung dalam 12 gr tepat isotop karbon-12
- Jumlah besaran elementer ini disebut dengan tetapan avogadro (L)
$$L = 6,02 \times 10^{23} \text{ partikel}$$

Konsentrasi

- Merupakan banyaknya zat terlarut (jumlah solute) yang ada dalam sejumlah larutan atau pelarut (solvent).
- Konsentrasi dapat dinyatakan dalam beberapa cara, antara lain:
 - Molalitas
 - Molaritas
 - Normalitas
 - Persentase
 - Fraksi mol
 - Ppm (*part per million*)

- @ Kemolaran (M) : jumlah mol zat terlarut dalam tiap liter larutan.

$$M = \frac{\text{mol}}{\text{Volume pelarut (L)}}$$

$$\text{atau } M = \frac{\text{gram terlarut}}{Mr} \times \frac{1000}{\text{volume pelarut (mL)}}$$

- jika dua buah larutan/lebih yang zat terlarutnya sama, dengan volume dan konsentrasi yang berbeda, maka bila di campur akan diperoleh campuran dengan volume dan konsentrasi yang baru

$$M_3 = \frac{V_1 \times M_1 + V_2 \times M_2}{V_1 + V_2}$$

Satuan-satuan Konsentrasi

Purwanti Widhy H

Molaritas (M)

$$M = \frac{\text{mol zat terlarut}}{\text{liter larutan}}$$

Molalitas (m)

$$m = \frac{\text{mol zat terlarut}}{\text{massa pelarut (kg)}}$$



MOLALITAS

- ⊗ Kemolalan (m) : jumlah mol zat terlarut dalam tiap 1000 gram pelarut.

$$m = \frac{\text{mol}}{\text{kg pelarut}}$$

atau

$$m = \frac{\text{gram terlarut}}{Mr} \times \frac{1000}{\text{gram pelarut}}$$

Normalitas (N)

Purwanti Widhy H

Normalitas merupakan jumlah mol-ekivalen zat terlarut per liter larutan.

- Terdapat hubungan antara Normalitas dengan Molaritas, yaitu :

$$N = M \times \text{Valensi}$$

Mol-ekivalen :

- **Asam/basa:** jumlah mol proton/ OH^- yang diperlukan untuk menetralkan suatu asam / basa.
- Contoh :
- 1 mol $\text{Ca}(\text{OH})_2$ akan dinetralkan oleh 2 mol proton;
- 1 mol $\text{Ca}(\text{OH})_2$ setara dengan 1 mol-ekivalen; $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 1M = $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 2N

Persen Massa (% Massa)

- **Persen massa menyatakan jumlah gram zat terlarut dalam seratus gram larutan**

$$\% \text{ massa zat A} = \frac{\text{massa zat A}}{\text{gr zat terlarut} + \text{gr pelarut}} \times 100\%$$

Contoh:

Pada 50 gram asam cuka mengandung 10 gr asam asetat. Hitunglah kadar asam cuka tersebut?

Jawab:

$$\% \text{ Asam Cuka} = \frac{10 \text{ gram}}{60 \text{ gram}} \times 100 \% = 20\%$$

Persen volume (% volume)

- **Persen volume menyatakan jumlah liter zat terlarut dalam seratus liter larutan**

$$\% \text{ Volume zat X} = \frac{\text{Volume zat X}}{\text{Volume larutan}} \times 100\%$$

Contoh:

Dalam label alkohol yang dijual di toko obat tercantum kadar alkohol 70%. Berapa ml alkohol yang terdapat dalam 500 ml larutan alkohol tersebut?

Jawaban

- **Misal volume alkohol murni = x ml**

$$\% \text{ Alkohol murni} = \frac{x \text{ ml}}{500 \text{ ml}} \times 100\% = 70\%$$

persamaan dalam larutan alkohol :

$$100x = 70 \times 500$$

$$100x = 35000$$

$$x = \frac{35000}{100} = 350$$

jadi volume alkohol dalam 500 ml larutan alkohol 70% adalah = 350

◆ Persen komposisi

$$\% \text{ unsur} = \frac{\text{jumlah atom} \times \text{Ar}}{\text{Mr}} \times 100\%$$

◆ Contoh :

Hitung % Na dalam Na_2SO_4 (Ar Na = 23; S = 32; O = 16)

◆ Jawab :

$$\% \text{Na} = \frac{2 \times 23}{142} \times 100\% = 32.4\%$$

ppm (part per million) atau bpj (berat per sejuta)
banyaknya zat terlarut (1 mg) dalam 1 L larutan

Purwanti Widhy H

$$ppm = \frac{1 \text{ mg}}{1 \text{ L larutan}}$$

$$\begin{aligned} 1 \text{ ppm} &= 1 \text{ mg} / 1 \text{ L} \\ &= 1 \cdot 10^{-3} \text{ gram} / 10^3 \text{ mL} \\ &= 1 \cdot 10^{-6} \text{ gram} / \text{mL} \\ &= \text{seper sejuta gram tiap mL Larutan} \\ &= \text{bpj} \\ &= \text{ppm} \end{aligned}$$

$$\text{bpj zat A} = \frac{\text{massa/volume zat A}}{\text{massa/volume campuran}} \times 10^6$$

Contoh

Berapa bpj kadar CO₂ di udara, jika udara bersih mengandung 0,00025% CO₂?

Jawaban:

$$\text{kadar CO}_2 = \frac{0,00025}{100} \times 10^6 = 2,5 \text{ bpj}$$

Fraksi Mol (X)

$$X_A = \frac{\text{mol zat A}}{\text{jumlah mol seluruh komponen}}$$

1. Penerapan konsep mol pada gas

a) Persamaan gas ideal : $PV = nRT$

b) Pada keadaan STP ($T=0^{\circ}\text{C}; P=1 \text{ atm}$), volume satu mol gas = 22.4 L

◆ Contoh : Suatu gas sebanyak 11.09 g menempati wadah 5.6 L pada STP. Hitung massa molar!

◆ Jawab :

$$5.6\text{L} \approx \frac{5.6\text{L}}{22.4\text{L}} \times 1\text{mol} = 0.25\text{mol}$$

$$0.25\text{mol} = \frac{11.09\text{g}}{\text{massa molar (g / mol)}}$$

$$\therefore \text{massa molar} = \frac{11.09}{0.25} = 44\text{g / mol}$$

Persamaan gas ideal

$$pV = nRT$$

P = tekanan (atm)

V = volume (L)

n = mol

T = suhu (K)

R = tetapan gas = 0,082 L atm K⁻¹

Pada keadaan standar, P = 1 atm, T = 0° C , 1 mol gas memiliki volume sebesar 22,4 L

2. Penerapan konsep mol pada larutan

$$\text{molar} = \frac{\text{mol}}{\text{liter}} = \frac{\text{mmol}}{\text{mL}}$$

◆ Contoh : hitung kemolaran larutan yang mengandung 24.5 g H_2SO_4 dalam 2 L larutan!

◆ Jawab:

$$\text{mol} = \frac{24.5 \text{ g}}{98 \text{ g/mol}} = 0.25 \text{ mol}$$

$$C_M = \frac{0.25 \text{ mol}}{2 \text{ L}} = 0.125 \text{ M}$$

Rumus senyawa

1. Rumus empiris : perlu data

- Macam unsur dalam senyawa
- % komposisi unsur
- Massa atom relatif unsur yang bersangkutan

2. Rumus molekul : perlu data

- RE
- Massa molekul dan hasil eksperimen

Contoh soal

- Suatu senyawa hidrokarbon mengandung 85.7% massa karbon dan sisanya massa hidrogen . Jika ditentukan Ar:H=1, C=12 dan molekul relatif senyawa hidrokarbon 56 tentukan rumus empiris dan rumus molekul senyawa tersebut

Jawaban

1. Cari massa dari hidrogen dan karbonnya %
massa hidrogen = 100% - %massa karbon
= 100% - 85.7%
2. Cari perbandingan molnya
Perbandingan mol C : mol H

$$\begin{aligned} &= \frac{\% \text{ C}}{\text{Ar C}} : \frac{\% \text{ H}}{\text{Ar H}} \\ &= \frac{85.7\%}{12} : \frac{14.3\%}{1} \\ &= 7.14 : 14.3 \\ &= 1 : 2 \end{aligned}$$

3. Dari perbandingan diperoleh rumus empiris senyawa= CH_2

4. Hitung rumus molekul

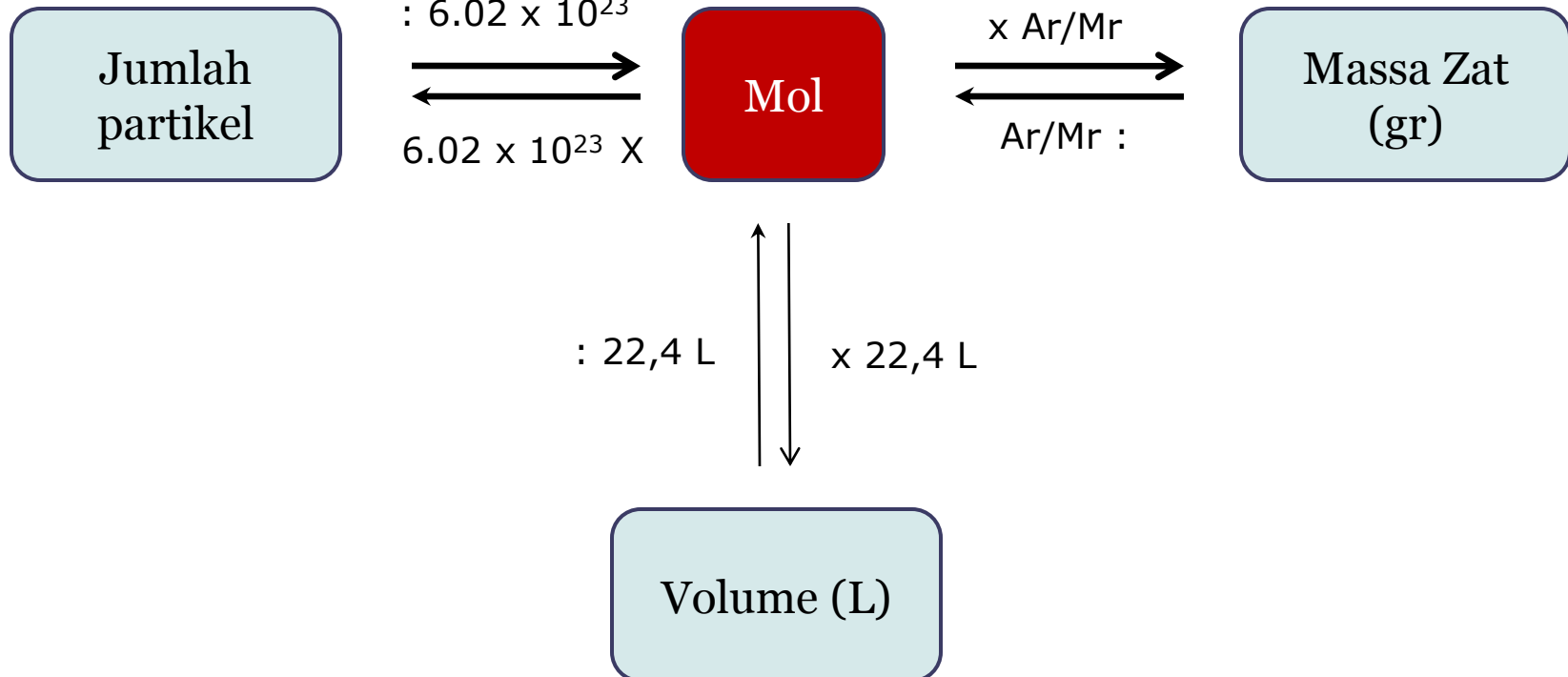
➤ $(\text{Mr CH}_2)n=56$

➤ $(12+2)n=56$

➤ $n=4$

Jadi rumus molekul dari unsur $(\text{CH}_2)_4$ atau C_4H_8

Hub Massa zat, Jml partikel, Volume



PERHITUNGAN KIMIA DALAM PERSAMAAN REAKSI



Contoh soal

1. Jika 8.1 gr logam aluminium direaksikan dengan larutan H_2SO_4 , menghasilkan garam $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ dan gas hidrogen (diketahui Ar; Al = 27, S = 32, dan O = 16) tentukan:
 - a) Massa garam $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ yang terbentuk
 - b) Volume gas hidrogen pada keadaan STP

Jawaban

- Buat persamaan reaksinya:



- Hitung mol Al

$$n = \frac{\text{gr}}{\text{Ar}} = \frac{8,1 \text{ gr}}{27 \text{ gr/mol}} = 0,3 \text{ mol}$$

Untuk menghitung massa $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$

- Hitung mol $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ dengan perbandingan koefisien

$$\text{jumlah mol } \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 = \frac{\text{koefisien } \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3}{\text{koefisien Al}} \times n \text{ Al}$$

$$\text{jumlah mol } \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 = \frac{1}{2} \times 0,3 \text{ mol} = 0.15 \text{ mol}$$

Jawaban

- **Hitung Mr $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$**

$$\begin{aligned}\text{Mr Al}_2(\text{SO}_4)_3 &= (2 \times \text{Ar Al}) + (3 \times \text{Ar S}) + (12 \times \text{Ar O}) \\ &= (2 \times 27) + (3 \times 32) + (12 \times 16) \\ &= 54 + 96 + 192 \\ &= 342\end{aligned}$$

- **Hitung Massa $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$**

$$\begin{aligned}\text{Massa Al}_2(\text{SO}_4)_3 &= n \text{ Al}_2(\text{SO}_4)_3 \times \text{Mr Al}_2(\text{SO}_4)_3 \\ &= 0,15 \text{ mol} \times 342 \text{ g mol}^{-1} = 51,3\end{aligned}$$

- **Jadi Massa $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 = 51,3 \text{ gr}$**

jawaban

Untuk menghitung volume STP gas hidrogen

● Hitung mol H₂

$$\text{jumlah mol H}_2 = \frac{3}{2} \times 0,3 \text{ mol} = 0,45 \text{ mol}$$

• Hitung volume H₂

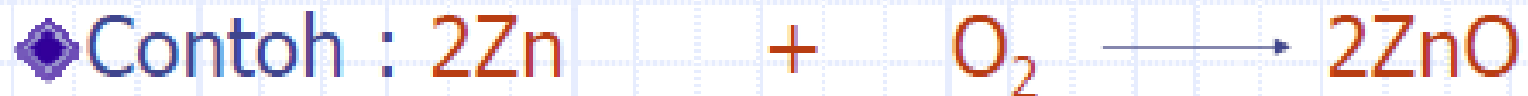
$$\text{Volume H}_2 \text{ STP} = n \text{ H}_2 \times V_{\text{STP}}$$

$$\text{Volume H}_2 \text{ STP} = 0,45 \text{ mol} \times 22,4 \text{ L mol}^{-1} = 10,08 \text{ L}$$

Jadi volume H₂ = 10,08 L

Pereaksi pembatas

◆ Pereaksi yang habis bereaksi disebut *pereaksi pembatas*



Massa : 28.6 g 7.44

Ar : 65.4 16

Mol : 0.438 0.232

Dibagi

koefisien : 0.219 mol 0.232 mol

◆ Setelah dibagi dg koefisien masing-masing, zat dg mol terkecil merupakan *pereaksi pembatas* atau yg habis bereaksi. Dalam hal ini Zn.

◆ Jadi, mol ZnO = mol Zn
= 0.438 mol
massa ZnO = 0.438(65.4+16)
= 35.6 gram

Persen Hasil

$$\% \text{ hasil} = \frac{\text{massa produk nyata}}{\text{massa produk menurut perhitungan}} \times 100\%$$



Massa : 3.86 g 11.84 g

Mr : 28 32

Mol : 0.1378 0.37

Dibagi

Koefisien : 0.1378 mol 0.123 mol

❖ Jadi, pereaksi pembatas, O_2 , sehingga menurut perhitungan :

$$\text{massa } CO_2 = \left(\frac{2}{3} \times 0.37 \right) \text{ mol} \times 44 \frac{\text{g}}{\text{mol}} = 10.85 \text{ gram}$$

massa hasil eksperimen $CO_2 = 6.96 \text{ gr}$

shg,

$$\% \text{ hasil} = \frac{6.96}{10.85} \times 100\% = 64\%$$

MASALAH PELARUTAN

- Perhitungan jumlah zat terlarut:

$$\text{Mol zat terlarut} = \text{liter} \times M$$

- Pengenceran Larutan:

$$V_1 M_1 = V_2 M_2$$

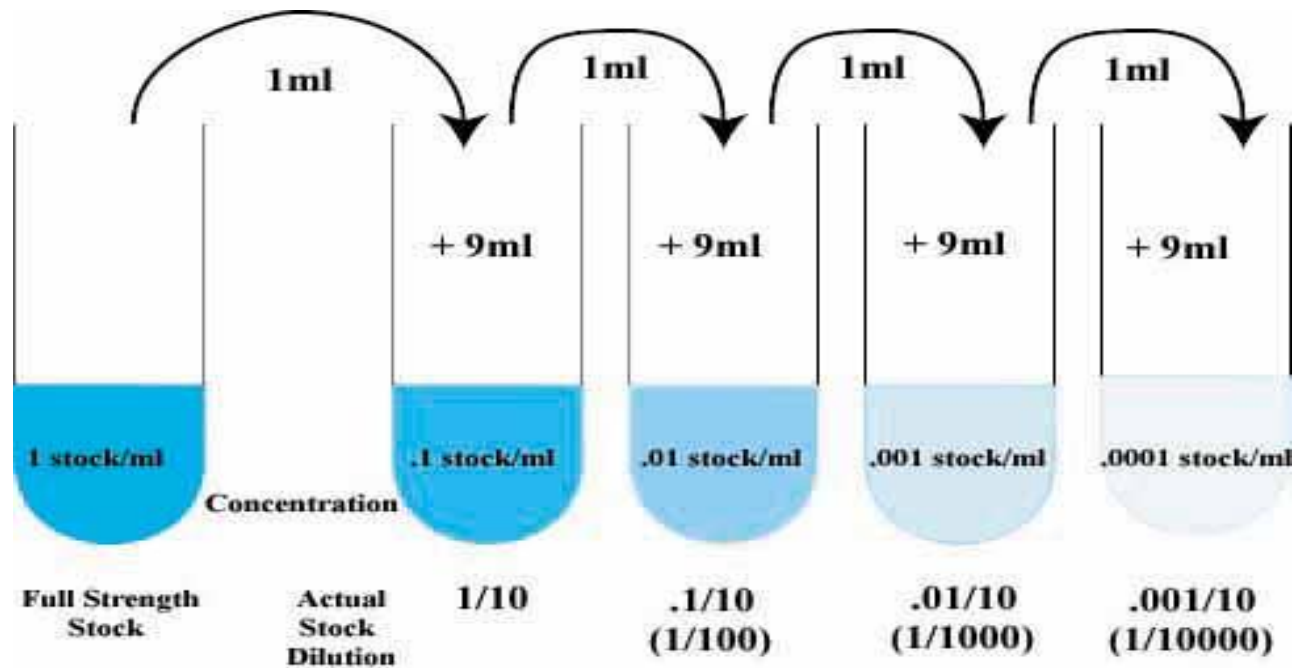
- Pencampuran konsentrasi yang berbeda:

$$M_{\text{camp}} = \frac{V_1 M_1 + V_2 M_2}{V_1 + V_2}$$

Dilution/Pengenceran

- Proses penambahan pelarut/solvent ke dalam larutan

$$M_1V_1 = M_2V_2$$



Alat yang digunakan dalam membuat larutan

1. Pipet volum
2. Labu ukur
3. Timbangan/neraca



Contoh cara membuat 250 mL larutan CuSO_4 1M

Purwanti Widhy H

$$\text{Mol CuSO}_4 = 0,1 \text{ M} \times 0,25 \text{ L} = 0,025 \text{ mol}$$

$$\text{Massa CuSO}_4 = 0,025 \times \text{Mr CuSO}_4 = 0,025 \times 160 = 4 \text{ gram.}$$

Kemudian lakukan beberapa tahap berikut:

Tahap 1.	Timbang massa CuSO_4 tersebut sebanyak 4 gram.
Tahap 2.	Masukkan dalam labu ukur 250 mL yang sebelumnya sudah diberi sedikit aquades
Tahap 3.	Masukkan sedikit aquades, kocok hingga CuSO_4 larut. Tambahkan aquades hingga tepat 250 mL menggunakan pipet tetes. Kocok lagi sampai homogen.
Tahap 4.	Masukkan larutan CuSO_4 1 M ke dalam botol reagen



tahap 1



tahap 2

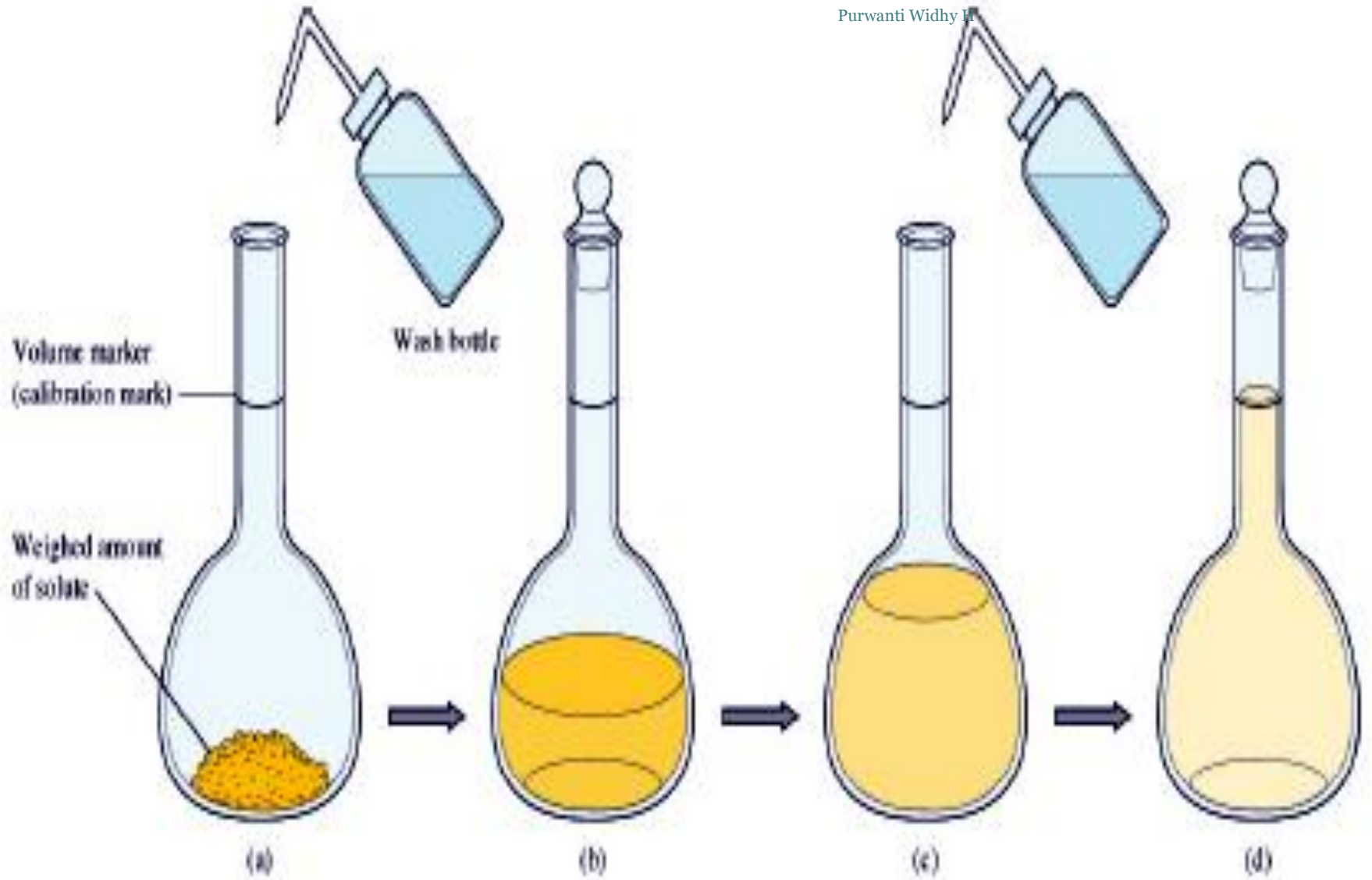


tahap 3



tahap 4

Gambar 19
Proses pembuatan larutan CuSO_4 1,0 M



Perhitungan pembuatan larutan dari bahan dalam bentuk cairan

Jika dalam botol hanya diketahui konsentrasi saja

$$V_p = \frac{V_e \times K_e}{K_p}$$

V_p = volume of concentrated solution

V_e = volume of aqueous solution

K_e = concentration of aqueous solution

K_p = concentration of concentrated solution

Jika dalam botol diketahui konsentrasi, massa jenis, dan presentase

$$V_p = \frac{V_e \times K_e \times Mr}{B_j \times \%P \times 10}$$

B_j = d = density

%P = Percentage of purity

Membuat 25 ml larutan H_2SO_4 , 1M,
97% ($\rho \text{H}_2\text{SO}_4 = 1,84 \text{ kg/L}$)

$$V_p = \frac{25 \times 1 \times 98}{1,84 \times 97 \times 10} \quad V_p = 1,37 \text{ mL}$$

Jadi mengambil 1,37 mL H_2SO_4 pekat, ditaruh dalam labu ukur 25 ml (yang sudah berisi air sedikit) melewati dinding, dan tambahkan air lewat dinding sedikit demi sedikit sampai tanda batas
Maka akan dihasilkan 25 mL larutan H_2SO_4 1 M

Soal

- Sebanyak 12 gr senyawa organik di bakar menghasilkan 17,6 gr gas karbon dioksida dan 7,2 gr uap air. Jika diketahui Ar : H=1, O=16, C=12 dan massa 1 molekul senyawa = 1×10^{-22} gr ($L=6 \times 10^{23}$), tentukan rumus empiris dan molekul senyawa tersebut

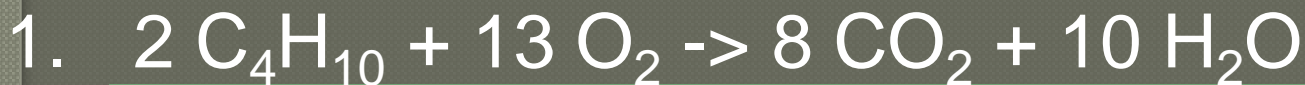
Soal

- Jika 8,8gr C_3H_8 di bakar dengan gas oksigen dihasilkan sejumlah gas CO_2 dan uap air. Tentukan
 - a) Persamaan reaksi
 - b) Massa gas O_2 yang di perlukan
 - c) Massa dan volume gas CO_2 pada keadaan STP

-
- Perbandingan massa karbon dan oksigen dalam senyawa karbon dioksida 3 : 8
 - a. berapa gr karbon yang dpt bereaksi dg 24 g oksigen?
 - b. jika 6 g karbon direaksikan dg 12 g oksigen, adakah unsur yang bersisa? Berapa g karbon dioksida yang terbentuk?
 - c. berapa gram karbon dan oksigen yg harus direaksikan untuk membentuk 33 g senyawa karbon dioksida

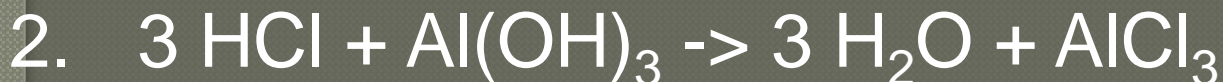
More Stoichiometry Questions

Follow the rules for significant digits. Show all calculations.



a) what mass of O_2 will react with 400 g C_4H_{10} ?

b) how many moles of water are formed in a)?



How many grams of aluminum hydroxide will react with 5.3 moles of HCl?



What mass of O_2 results from the decomposition of 1.00 kg of calcium chlorate?

4. The reaction of Ca with water can be predicted using the activity series. What mass of water is needed to completely react with 2.35 g of Ca?



- a) How many moles of carbon monoxide are required to react with 163.0 g of iron(III) oxide?
- b) How many grams of CO_2 are produced from a reaction that also produces 23.9 grams of Fe?



- a) how many moles of copper(II) nitrate can be prepared from 17.0 moles of Cu?
- b) how many grams of copper(II) nitrate can be prepared using 3.8 moles of HNO_3 ?
- c) what mass of water results from the reaction of 8.50 kg of copper metal?