

**KIMIA TEKNIK**  
**(TM 111)**

**(Hand Out)**

**Oleh :**  
**Ir. Agus Solehudin, MT**



**Program Studi Teknik Mesin (D3)**  
**FAKULTAS PENDIDIKAN TEKNOLOGI DAN KEJURUAN**  
**UNIVERSITAS PENDIDIKAN INDONESIA**  
**2009**

# BAB I

## PENDAHULUAN

### **Pengertian :**

Kimia adalah ilmu yang mempelajari suatu zat serta sifat-sifatnya yang berhubungan dengan komposisinya. Dengan definisi lain, ilmu kimia adalah cabang ilmu pengetahuan alam yang mempelajari sifat-sifat, struktur, komposisi, dan perubahan materi, serta energi yang menyertai perubahan materi.

Ilmu kimia sangat penting sumbangannya pada bidang ilmu lainnya, misalnya bidang kedokteran, pertanian, geologi, biologi, metalurgi dan mesin serta bidang lainnya. Beberapa bagian ilmu kimia yang berkaitan dengan keteknikan diantaranya : elektrokimia, termodinamika, kimia fisika, kimia permukaan, kimia lingkungan dan lain sebagainya.

Kelompok ilmu kimia dibagi dalam dua bagian yaitu ilmu kimia murni (kimia fisik, kimia analitik, kimia organik, kimia anorganik dan biokimia) dan ilmu kimia terapan (kimia lingkungan, kimia inti, kimia farmasi, kimia pangan dan kimia teknik).

### **Sistem Satuan :**

Sistem satuan mengacu pada *International System of Units* atau disingkat SI. Beberapa satuan dalam SI :

Kuantitas	Satuan	Simbol
Panjang	Meter	m
Massa	Kilogram	kg
Waktu	Sekon	s
Arus listrik	Amper	A
Temperature	Kelvin	K
Jumlah zat	Mol	mol
Intensitas cahaya	Candela	cd

Selain satuan pokok di atas ada juga satuan-satuan turunan yang sering digunakan dalam ilmu kimia, diantaranya :

1. Luas adalah perkalian antara panjang dengan lebar suatu benda
2. Volume adalah perkalian antara luas alas dengan tinggi suatu benda
3. Massa jenis adalah massa suatu benda dibagi dengan volumenya

**Pengukuran Laboratorium :**

Di laboratorium sering melakukan pengukuran dengan alat-alat ukur yang mempunyai satuannya bukan SI, sehingga perlu konversi satuan.

**Panjang, Massa, dan Volume :**

Kuantitas	English to Metric	Metric to English
Panjang	1 in = 2.540 cm	1 m = 39.37 in
	1 yd = 0.9144 m	1 km = 0.6215 mile
	1 mile = 1.609 km	
Massa	1 lb = 453.6 g	1 kg = 2.205 lb
	1 oz = 28.35 g	
Volume	1 gal = 3.786 liter	1 liter = 1.057 qt
	1 qt = 946.4 ml	
	1 oz (cair) = 29.6 ml	

**Temperatur :**

Temperatur yang sering digunakan untuk pengukuran diantaranya Fahrenheit dan Celsius. Keduanya harus dikonversi ke Kelvin.

$$^{\circ}\text{F} = 9/5^{\circ}\text{C} + 32$$

$$^{\circ}\text{C} = 5/9 (^{\circ}\text{F}-32)$$

$$\text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273$$

Contoh :

1. Air mempunyai suhu  $25^{\circ}\text{C}$  berapa pada suhu Fahrenheit?
2. Besi diukur menunjukkan suhu  $95^{\circ}\text{C}$  berapa pada suhu Celsius?
3. Hitung pula untuk no. 1 dan 2 pada suhu Kelvin!
4. Sebatang Magnesium mempunyai massa 14,3 gr dan volume  $8.46\text{ cm}^3$ . berapa massa jenisnya?
5. Air dimasukkan ke dalam gelas ukur sampai terbaca volumenya 25 ml. Sepotong logam yang tidak beraturan bermassa 50,8 gr dimasukkan ke dalamnya sehingga permukaan air naik menjadi 36,2 ml. Berapa massa jenisnya?

**Aplikasi ilmu kimia untuk keteknikan :**

Ada beberapa aplikasi yang akan dijelaskan dalam diktat ini adalah sebagai berikut :

1. Konsep elektrokimia untuk battre, accu, korosi logam, elektroplating.
2. Konsep termodinamika untuk menghitung entalpi (kalor)
3. Reaksi-reaksi kimia dalam peleburan reduksi bijih besi, bijih aluminium, proses pengelasan, proses pembakaran bahan bakar (bensin dan solar), proses polusi udara dan lingkungan serta limbah industri.

## **BAB II**

### **UNSUR, SENYAWA DAN KUANTITATIF**

Secara kimia materi dapat digolongkan menjadi dua jenis yakni zat tunggal dan campuran.

Zat tunggal atau zat murni adalah materi yang memiliki sifat dan susunan yang sama pada setiap bagiannya. Zat tunggal dapat berupa unsur atau senyawa.

Campuran adalah materi yang terdiri dari atas dua macam zat atau lebih. Campuran terdiri dari campuran homogen dan campuran heterogen.

#### **Unsur**

Unsur adalah zat paling sederhana sehingga tidak dapat diurai menjadi zat lain melalui reaksi kimia biasa.

Contoh : emas, besi, karbon, aluminium, oksigen dan sebagainya.

Kelompok unsur logam :

Ciri-cirinya :

- umumnya pada suhu kamar berupa padatan
- bersifat keras dan dapat ditempa
- mengkilap
- merupakan konduktor
- penghantar panas yang baik

Contoh : emas, perak, besi, seng, platina, aluminium.

Kelompok unsur non logam

Ciri-cirinya :

- umumnya pada suhu kamar berupa gas
- yang berwujud padat bersifat rapuh dan tidak dapat ditempa
- tidak mengkilap
- bukan merupakan konduktor
- bukan penghantar panas yang baik

Contoh : karbon, belerang, oksigen, nitrogen, hidrogen.

## **Senyawa**

Senyawa adalah zat tunggal yang merupakan gabungan dua unsur atau lebih melalui reaksi kimia. Senyawa bukan merupakan campuran karena memiliki sifat-sifat yang berbeda dengan sifat-sifat unsur pembentuknya.

Contoh : garam, air, gula, karbon dioksida.

## **Campuran**

Campuran adalah materi yang terdiri atas dua macam zat atau lebih dan masih memiliki sifat-sifat asalnya.

Campuran heterogen adalah campuran yang tidak serbasama, membentuk dua fasa atau lebih, dan terdapat batas yang jelas diantara fasa-fasa tersebut.

Contoh : tepung beras dengan air; adukan semen, kapur, pasir; campuran serbuk besi dan karbon.

Campuran homogen adalah campuran yang serbasama di seluruh bagiannya dan membentuk satu fasa.

Contoh : campuran garam dapur dengan air; air teh yang sudah disaring; udara.

## **Larutan**

Larutan adalah campuran homogen antara zat terlarut (solute) dan zat pelarut (solvent). Larutan dapat berwujud padat, cair, dan gas.

Larutan padat adalah larutan berwujud padat biasa ditemukan pada paduan logam (alloys), contohnya kuningan yaitu logam Zn yang larut dalam Cu. Larutan cair adalah larutan berwujud cair misalnya larutan gula dalam air. Larutan gas adalah larutan berwujud gas misalnya udara yang terdiri dari beberapa gas yang terlarut, diantaranya nitrogen, oksigen, karbon dioksida..

## **Berat atom**

Berat atom adalah massa relatif rata-rata dari sebuah atom unsur yang mengacu pada nilai standar dari atom karbon 12.

Secara praktis berat atom unsur dapat dilihat dari sistem periodik unsur-unsur. Berat atom disimbolkan dengan Ar (atom relatif). Satuan berat atom adalah gram per mol.

Contoh : Ar Cu = 63,5; Ar H = 1; Ar O = 16; Ar S = 32; Ar C = 12, Ar Al = 27;

Ar Fe = 56

### **Berat molekul**

Berat molekul adalah massa relatif rata-rata dari sebuah molekul yang merupakan penjumlahan dari berat atom unsur penyusun molekul tersebut.

Berat atom disimbolkan dengan Mr (molekul relatif). Satuan berat molekul adalah gram per mol.

Contoh :

Hitung Mr dari  $\text{H}_2\text{SO}_4 = 2 \times \text{Ar H} + 1 \times \text{Ar S} + 4 \times \text{Ar O} = 2 \times 1 + 1 \times 32 + 4 \times 16 = 98 \text{ gr/mol}$ .

### **Rumus Empiris dan Rumus Molekul**

Rumus empiris (RE) adalah rumus kimia yang paling sederhana dan didapatkan dari percobaan laboratorium.

Contoh :

Dalam suatu contoh suatu zat terdapat cuplikan gas yang mengandung 2,34 gr nitrogen dan 5,34 gram oksigen. Tentukan rumus empirisnya?

Rumus molekul (RM) adalah rumus kimia yang didapatkan dari rumus empiris dimana berat molekulnya sudah diketahui.

Contoh :

Dalam suatu contoh suatu zat mengandung 43,7% berat Fosfor dan sisanya oksigen. Tentukan rumus molekulnya bila diketahui Mr nya = 284 gr/mol.

### **Konsep Mol**

Mol adalah satuan dari jumlah zat secara SI. Satu mol zat murni mengandung  $6,02 \times 10^{23}$  atom atau molekul zat murni tersebut. Angka  $6,02 \times 10^{23}$  adalah bilangan Avogadro.

### **Menghitung mol :**

Mol dapat dihitung dari beberapa konversi :

Mol suatu zat adalah perbandingan dari massa suatu zat dibagi dengan atom relatif nya atau molekul relatifnya.

Contoh :

1. Hitung mol dari 100 gram batu kapur ( $\text{CaCO}_3$ ) ?
2. Hitung mol dari  $6,02 \times 10^{19}$  partikel atom besi ?

Tugas untuk mahasiswa : cari persamaan perhitungan mol dari volume ?

### **Kukum Gas Ideal**

Untuk gas ideal berlaku persamaan berikut ini.

$\frac{PV}{T} = C$  dimana P = tekanan (liter.atm), V = volume (liter), T =temperatur (Kelvin) dan

konstanta.

Persamaan di atas dapat ditulis juga sebagai berikut :

$PV = nRT$  dimana n = jumlah zat (mol), R = konstanta gas

Nilai R dapat dihitung dengan persamaan diatas dimana jumlah zat diambil 1 mol, dan kondisi standar (STP = standard temperature and pressure, P = 1 atm, T =273 K) dan volume 22, 4 liter maka nilai R = 0.0821 liter.atm/mol.K.

Jadi, untuk 1 mol gas apa saja pada kondisi STP akan mempunyai volume sebesar 22.4 liter.

Contoh :

Suatu conto oksigen pada T = 21 °C dan P = 740 torr mempunyai massa 16 gram. Hitung volumenya? ( 1 atm = 760 torr = 760 mmHg)



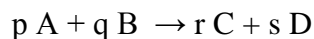
### **BAB III**

## **STOKIOMETRI DAN PERSAMAAN REAKSI KIMIA**

Stokiometri suatu reaksi adalah deskripsi jumlah relatif dalam satuan mol dari suatu persamaan reaksi kimia yang seimbang antara reaktan dan produk reaksi yang ditunjukkan oleh angka-angka koefisien reaksinya.

Persamaan reaksi adalah suatu persamaan reaksi kimia yang melibatkan reaktan dan produk reaksi. Reaktan adalah zat-zat pereaksi yang bereaksi sedangkan produk adalah hasil reaksi setelah reaksi berakhir.

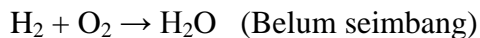
Contoh :



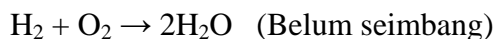
dimana p, q, r, dan s adalah koefisien reaksi yang menunjukkan jumlah mol tiap-tiap zat. A dan B adalah reaktan, C dan D adalah produk reaksi.

### **Persamaan Keseimbangan Reaksi**

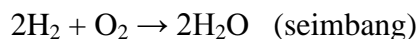
Misalkan gas hidrogen bereaksi dengan gas oksigen membentuk air, maka reaksi dapat ditulis sebagai berikut :



Persamaan reaksi di atas belum seimbang karena jumlah atom oksigen di kiri dan di kanan belum sama. Maka perlu diperbaiki menjadi :



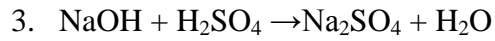
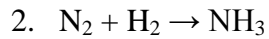
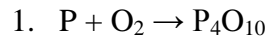
Persamaan reaksi di atas juga belum seimbang karena jumlah atom hidrogen di kiri dan di kanan belum sama. Maka perlu diperbaiki menjadi :



Persamaan yang sudah seimbang di atas memiliki arti sebagai berikut 2 mol gas hidrogen bereaksi dengan 1 mol gas oksigen membentuk 2 mol air.

Contoh :

Seimbangkanlah persamaan reaksi-reaksi di bawah ini :



### **Perhitungan Stokiometri**

Perhitungan stokiometri erat kaitanya dengan perhitungan mol dan persamaan reaksi kimia yang seimbang. Perhitungan dapat dilakukan apabila persamaan reaksi kimianya sudah seimbang.

Misal berapa mol gas oksigen yang diperlukan untuk membakar 1,8 mol metana.

Contoh-contoh perhitungan dan latihan dapat dilihat pada buku James E. Brady. "Fundamentals of Chemistry" John Wiley. Halaman 86 – 115.

## BAB IV

### ENERGI DAN TERMOKIMIA

Sumber energi adalah beberapa perubahan alam dalam suatu lingkungan yang kita dapat menggunakannya untuk melakukan suatu pekerjaan atau merubah sesuatu menjadi bentuk lainnya. Sumber energi dapat dibagi menjadi dua yaitu solar dan terestretial. Solar terbagi menjadi climatic, hydrologic, thermal, electrical dan photosynthetic. Sedangkan terestretial dibagi menjadi bahan bakar nuklir, panasbumi, tidal dan hidrogen.

Satuan energi menurut sistem SI adalah joule. Satu joule adalah energi kinetik yang dihasilkan oleh suatu benda bermassa 2 kg yang bergerak dengan kecepatan 1 m/det. Satuan lain dari energi adalah kalori. Kalori adalah jumlah energi yang timbul akibat kenaikan temperatur satu gram air sebanyak satu derajat dari 14.5 – 15.5 °C.

Konversi satuan dari joule ke kalori adalah : 1 kalori = 4,184 joule.

Hukum kekekalan energi adalah energi tidak dapat diciptakan atau dimusnahkan tetapi dapat diubah dari bentuk satu ke bentuk lainnya. Hukum kekekalan energi disebut juga hukum termodinamika I.

Kalor jenis adalah jumlah panas yang dibutuhkan untuk menaikkan temperatur 1 gram suatu zat sebanyak 1 °C. Satuan kalor jenis adalah kal/g°C.

Beberapa kalor jenis zat di bawah ini :

Substansi	Kalor jenis pada 25 °C	
	kal / g°C	J / g°C
Etil alkohol	0.586	2.42
Emas	0.0308	0.129
Granit	0.192	0.803
Besi	0.1075	0.4498
minyak	0.47	2.0
Air (cair)	0.99828	4.1796

Kapasitas panas adalah panas yang diserap yang timbul akibat kenaikan temperatur. Satuan dari kapasitas panas adalah  $\text{kal}/^{\circ}\text{C}$  atau  $\text{joule}/^{\circ}\text{C}$ .

Jenis-jenis kalor yang lainnya adalah kalor reaksi, kalor pembakaran, kalor pembentukan, kalor pelarutan.

Untuk menghitung suatu kalor reaksi kita harus menuliskan dulu reaksi kimia yang sudah seimbang, kemudian harus punya data entalpi dari masing masing zat yang bereaksi dan zat hasil reaksi, biasanya sudah ditabelkan. (lihat tabel).

## **Elektrokimia**

Elektrokimia adalah ilmu kimia yang mempelajari reaksi-reaksi kimia yang melibatkan aliran elektron atau aliran listrik.

Sarat terjadinya reaksi elektrokimia adalah :

- larutan elektrolit
- anoda dan katoda
- penghantar / konduktor

Larutan elektrolit adalah larutan yang dapat menghantarkan arus listrik. Ada tiga jenis larutan elektrolit yaitu garam, asam, dan basa. Misalnya  $\text{NaCl}$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{NaOH}$ .

Anoda adalah suatu logam atau paduan logam yang bertindak sebagai tempat terjadinya reaksi oksidasi. Sedangkan katoda adalah suatu logam atau paduan logam yang bertindak sebagai tempat terjadinya reaksi reduksi.

Ciri-ciri reaksi oksidasi :

- melepaskan elektron
- menerima oksigen
- bilangan oksidasi meningkat

Ciri-ciri reaksi reduksi :

- menerima elektron
- melepaskan oksigen
- bilangan oksidasi menurun

## Sel Elektrokimia

Sel elektrokimia adalah suatu rangkaian yang terdiri dari katoda, anoda, konduktor yang berada dalam larutan elektrolit dimana merupakan tempat terjadinya reaksi reduksi dan oksidasi.

Sel elektrokimia terbagi menjadi dua jenis :

- Sel galvanis
- Sel elektrolisis

Sel galvanis adalah sel elektrokimia dimana reaksi kimia akan menimbulkan arus listrik. Sedangkan sel elektrolisis adalah sel elektrokimia dimana reaksi kimia akan terjadi apabila dipasok arus listrik.

Contoh sel galvanis : batrre, accu yang lagi dipakai

Contoh sel elektrolisi : accu yang lagi di cas, proses elektroplating

Untuk mempelajari perhitungan potensial dan arus yang dihasilkan pada sel galvanis perlu ada tabel deret volta. Lihat Tabel Deret Volta.

Pada sel elektrolisis berlaku hukum Faraday untuk menghitung arus berat logam yang mengendap pada permukaan katoda.

$$w = \frac{Ar.I.t}{n.F}$$

Dimana :  
w = berat logam yang mengendap (gram)  
Ar = atom relatif dari logam yang mengendap di katoda (gram/mol)  
I = arus listrik yang digunakan (amper)  
n = jumlah elektron yang terlibat (jumlah per mol)  
F = konstanta Faraday = 96500 Coulomb.

Contoh-contoh dapat dilihat dari buku : James E. Brady. ” Fundamentals of Chemistry” John Wiley. Halaman 599 - 628.

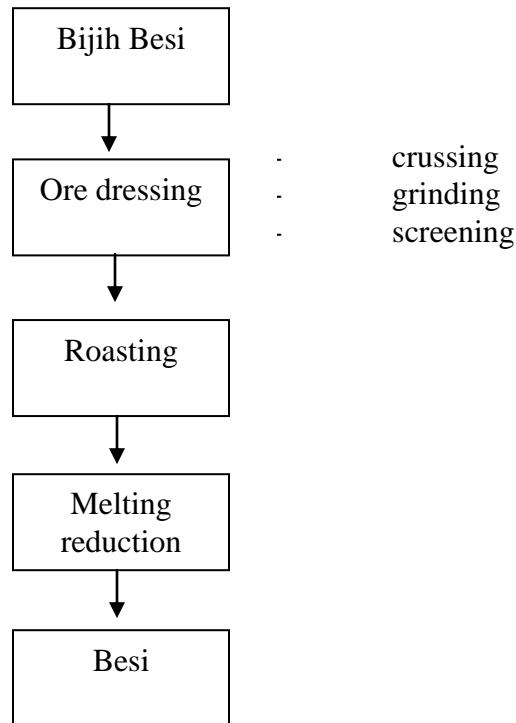
## BAB IV

### APLIKASI –APLIKASI

#### 1. Peleburan Reduksi Bijih Besi

Tahapan proses peleburan reduksi bijih besi dimulai dari proses pengolahan bijih (ore dressing) kemudian dilanjutkan dengan proses pemanggangan (roasting) dan peleburan (melting).

Skematik proses sebagai berikut :



Proses peleburan rediksi bijih besi :

Bahan Utama : bijih besi yang mengandung  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  pengotornya alumina, silikan lempung dan lain-lain.

Adanya dalam bentuk sulfida,  $\text{FeS}_2$  (pyrite). Bijih sulfida perlu di roasting dulu agar sulfidanya terbang.

Bahan Bakar : kokas

Bahan Imbuh : batu kapur, dolomit, silika

Reaksi-reaksi yang terjadi : akan diuraikan !!!

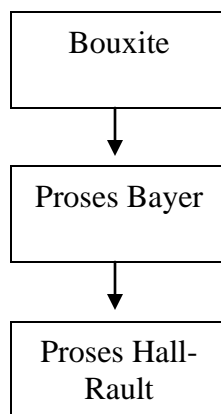
Contoh soal :

Dalam suatu industri peleburan bijih besi besi ingot yang didapat adalah 75 kg / hari. Apabila menggunakan reduktor kokas yang mengandung 90% C. Hitung berapa kokas yang diperlukan dan berapa biji besi yang harus disediakan.

## 2. Proses Pemurnian Aluminium

Bahan baku bijih aluminium yang disebut Bouksite. Kandungan bouksit adalah :  $\text{Al}_2\text{O}_3$  51,5%,  $\text{SiO}_2$  13,2%,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  8,6% dan lempung 26,9%.

Tahapan prosesnya adalah sebagai berikut :



Pada proses bayer bertujuan untuk menghasilkan alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ). Proses yang terjadi dimulai dari ore dressing, proses penggumpakan atau koagulasi dengan NaOH sampai proses kalsinasi.

Proses Hall-Rault bertujuan untuk elektrolisis alumina dalam lelehan garam kryolit sehingga menghasilkan aluminium murni.

Titik leleh garam kryolit ( $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ ) adalah 980 °C, sehingga temperatur proses sebesar 1000 °C dengan arus yang diperlukan 175 kA.

Reaksi-reaksi yang terjadi : akan diuraikan !!!

Contoh soal :

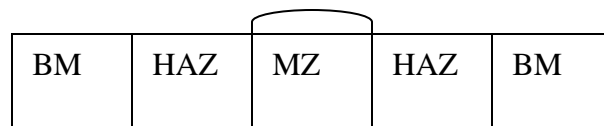
Pada proses pemurnian Al diinginkan 27 kg Al per hari. Berapa kg anoda karbon yang diperlukan jika anoda tsb mengandung 90% C.

### 3. Proses Pengelasan

Proses pengelasan adalah suatu proses penyambungan atau pemotongan suatu logam atau paduan. Dalam pembahasan disini akan diambil pengelasan pada baja.

Jenis pengelasan yang paling populer adalah TIG, MIG, asetilen.

Skematik zona pengelasan :



BM = base metal = logam dasar

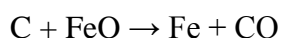
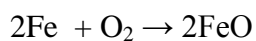
HAZ = Heat affected zone = daerah yang terpengaruh panas

MZ = melting zone = daerah lelehan = daerah fusion

Dalam proses pengelasan diperlukan gas pelindung yang bertujuan untuk melindungi logam yang mencair pada daerah MZ agar tidak terkontaminasi atmosfer luar.

Gas pelindung adalah : He, Ar, CO<sub>2</sub>.

Akibat dari penguraian gas CO<sub>2</sub> maka zona gas pelindung akan bersifat oksidator.



Kerugian karena menggunakan gas pelindung CO<sub>2</sub> adalah :

- adanya oksida FeO yang bersifat getas
- adanya rongga / porous akibat gas CO<sub>2</sub> yang terperangkap



Cara penanggulangannya :

- Menggunakan modifikasi elektroda pengumpan yaitu elektroda yang mengandung Si atau Mn  
$$\text{Si} + 2 \text{FeO} \rightarrow 2\text{Fe} + \text{SiO}$$
$$\text{Mn} + \text{FeO} \rightarrow \text{Fe} + \text{MnO}$$
Sifat oksida Si dan Mn memiliki kestabilan yang baik.
- Mengganti gas pelindung misal He, Ar tetapi lebih mahal.

Pengelasan dengan sistem gas Asitelin :

Gas asitelin ( $\text{C}_2\text{H}_2$ ) berfungsi sebagai sumber energi pada proses pengelasan. Gas ini apabila terbakar akan menghasilkan energi yang dapat digunakan untuk proses penyambungan dan pemotongan.

Ada tiga sistem nyala pada proses pengelasan ini :

- Nyala karburisasi
- Nyala netral
- Nyala oksidasi

Reaksi-reaksi yang terjadi : akan diuraikan !!!

#### **4. Pencemaran Lingkungan oleh Sulfur dan Senyawanya**

Sulfur atau belerang dalam ilmu kimia disimbolkan dengan huruf S yang memiliki massa atom 32. Kandungan sulfur yang paling banyak di alam terdapat di perut bumi pada batuan sedimen sekitar  $8 \times 10^9$  kg. Sedangkan di atmosfer sulfur berada dalam bentuk senyawanya seperti  $\text{SO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{SO}_3$  dan sebagainya. Pada gambar 1 ditunjukkan beberapa jumlah kandungan sumber sulfur dan siklusnya.

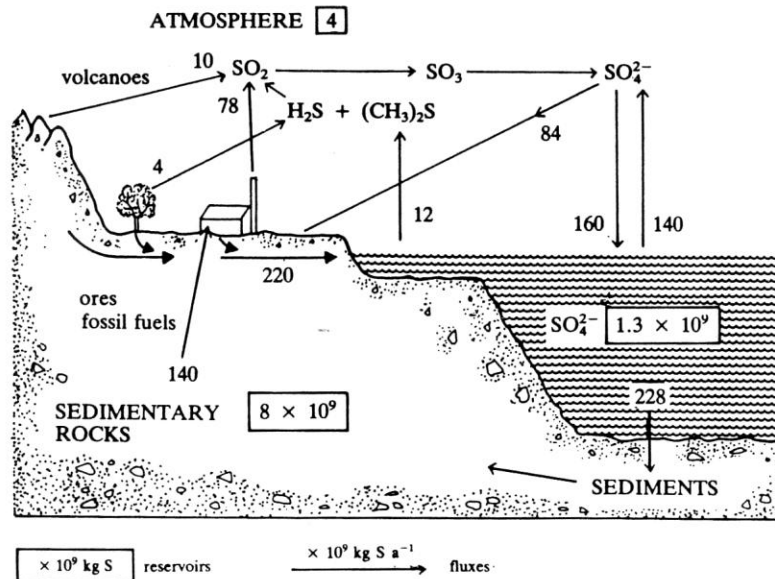
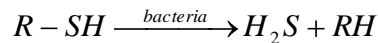


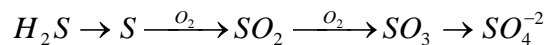
Figure 6.1 Some quantitative aspects of the sulphur cycle.

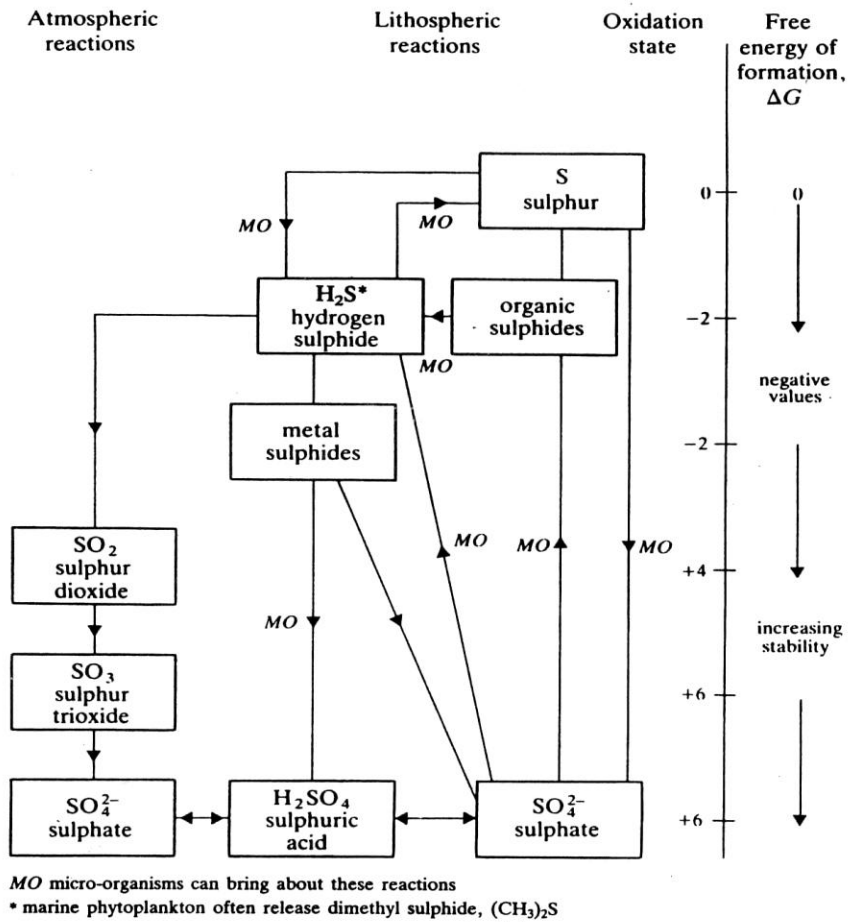
### Gambar 1. Beberapa aspek kuantitatif dari siklus sulfur

Di alam sulfur akan lebih stabil dalam bentuk senyawa sulfat (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) seperti terlihat pada gambar 2. Di atmosfer terjadi reaksi-reaksi oksidasi dari SO<sub>2</sub> menjadi SO<sub>3</sub> selanjutnya menjadi sulfat. Di litosfer terjadi reaksi reduksi dan oksidasi dari berbagai senyawa sulfur dengan bantuan mikroorganisma. Seperti contoh apabila di dalam tanah (litosfir) terdapat bakteri maka senyawa organik hidrosulfida akan terdekomposisi menjadi produk hidrogen sulfida seperti pada reaksi berikut ini :



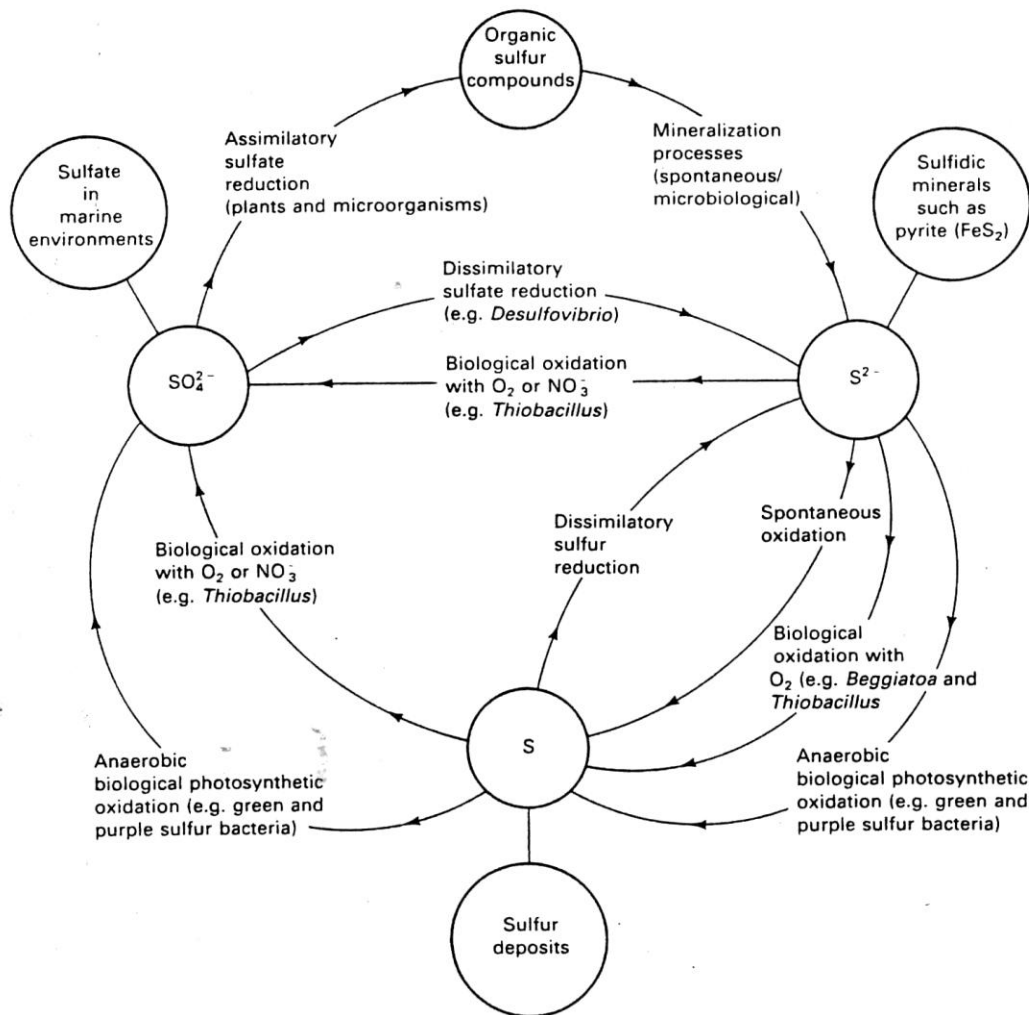
Dimana R-SH adalah senyawa organik hidrosulfida dan RH adalah senyawa organik. Pembentukan senyawa sulfat dapat terjadi apabila ada aksi dari mikroorganisma di dalam tanah, sediment, dan saluran air melalui reaksi oksidasi sebagai berikut :





**Figure 6.2** Chemical species found in the sulphur cycle, illustrating changes in oxidation state and relative stability.

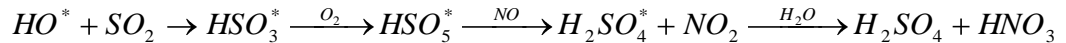
**Gambar 2.** Spesi-spesi kimia yang terdapat dalam siklus sulfur, gambaran perubahan keadaan oksidasi dan kestabilan relatif



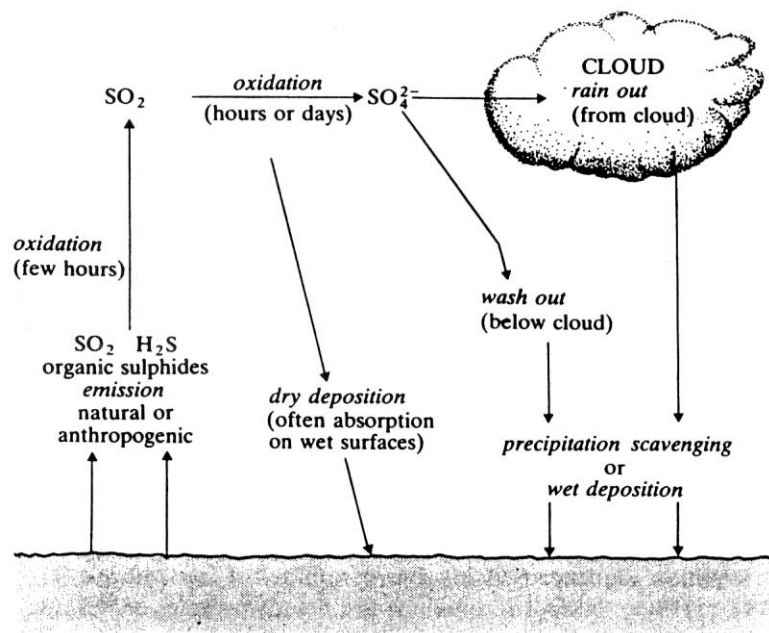
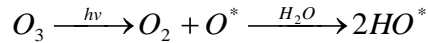
**Fig. 2** The sulfur cycle showing the role of bacteria in oxidizing elemental sulfur to sulfate ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) and in reducing sulfate to sulfide ( $\text{S}^{2-}$ ). Source: Ref 52

### Gambar 3. Siklus sulfur dan senyawanya akibat bakteri

Sulfur dioksida ( $\text{SO}_2$ ) di atmosfer teroksidasi dengan berbagai mekanisme (gambar 4) yang melibatkan interaksi gas-gas yang berbentuk spesi-spesi radikal bebas (*free radicals*) disebut dengan oksidasi homogen (*homogenous oxidation*). Mekanisme reaksi oksidasi homogen tersebut adalah sebagai berikut :



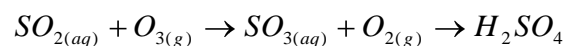
Spesi radikal bebas dapat terbentuk di atmosfer dengan melibatkan fotolisis dimana sebuah ikatan kovalen putus / rusak oleh absorpsi radiasi sinar matahari (*solar*). Bagian ultraviolet dari spektrum solar terlibat dalam reaksi pembentukan spesi radikal bebas seperti reaksi di bawah ini :



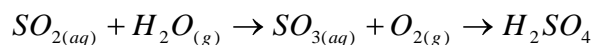
**Figure 6.5** Mechanisms by which sulphur dioxide and its oxidation products are removed from the atmosphere.

#### Gambar 4. Mekanisme SO<sub>2</sub> dan produk oksidasinya

Selain mekanisme di atas, mekanisme sulfur oksida di atmosfer bisa dalam bentuk larutan dimana dapat terjadi dengan atau tanpa adanya katalis yang disebut dengan reaksi oksidasi heterogen (*heterogenous oxidation*). Mekanisme reaksi oksidasi heterogen tersebut adalah sebagai berikut :

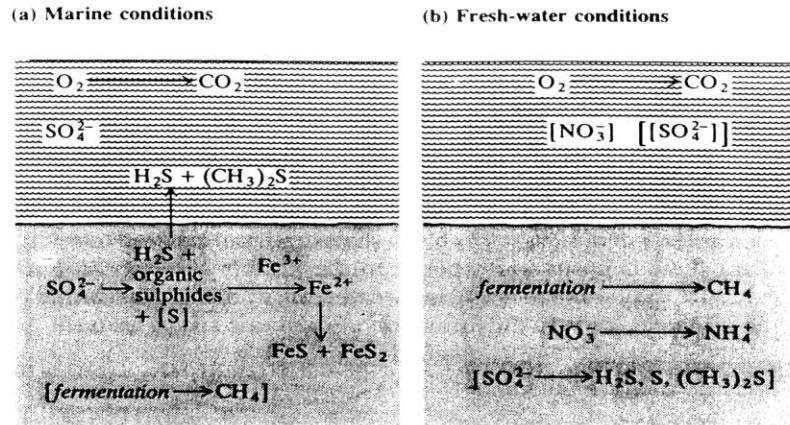


atau alternatif lain,



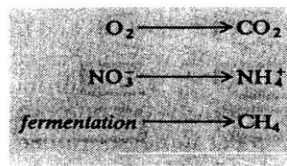
Bergantung pada jumlah embun / uap lembab di atmosfer, 20 – 80% sulfur dioksida yang terpancarkan ke udara dioksidasi menjadi sulfat dan sebagian dipindahkan dengan bentuk *dry deposition*. Sulfat mempunyai kecepatan pengendapan relative rendah dan sebagian dipindahkan menjadi *wet deposition*.

Beberapa mekanisme siklus sulfur dan pembentukan senyawanya terjadi pada berbagai kondisi seperti kondisi air laut (*marine*), air tawar (*fresh-water*), dan tanah (*soils*) seperti pada gambar 5. Pada kondisi air laut akan terjadi mekanisme pembentukan senyawa logam sulfida ( $\text{FeS} + \text{FeS}_2$ ) pada sedimennya. Hal ini terjadi karena semakin kedalam permukaan kandungan oksigen semakin berkurang sehingga kondisinya semakin anaerobik. Pada kondisi anaerobik tersebut pereduksi nitrat akan lebih suka, sehingga konsentrasi nitrat akan lebih rendah dari konsentrasi sulfat, yang selanjutnya akan menyebabkan mikroorganisme pereduksi sulfat akan dominan.



for marine and fresh-water systems, the surface waters are generally aerobic with a plentiful supply of dioxygen, but at depth or in the sediments conditions become anaerobic

(c) Soils



anaerobic conditions result when the soil is saturated with water or an impermeable layer forms preventing access by dioxygen – fermentation reactions are particularly common in buried refuse tips

Figure 6.4 Electron acceptors found under different natural environmental conditions.

**Gambar 5. Beberapa aseptor elektron pada berbagai kondisi lingkungan alam**

Adanya pembentukan hidrogen sulfida ( $H_2S$ ) menjadi ciri karakteristik dari lingkungan sedimen laut anarobik yang konsentrasinya lebih tinggi dari pada sulfat. Sementara, pada lingkungan tanah konsentrasi nitrat paling tinggi dibanding sulfat sehingga pada kondisi anaerobik amonia terbentuk. Jika konsentrasi sulfat sangat rendah maka akan terdapat bakteri metana menjadi dominan. Pada permukaan air laut, dimetil sulfida  $(CH_3)_2S$  terbentuk lebih banyak daripada  $H_2S$  sehingga akan menyebabkan spesi pitoplanton akan hidup.

## 1. Pencemaran terhadap kesehatan dan tumbuhan

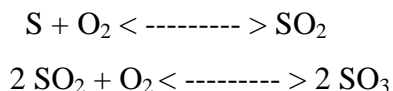
Pencemaran oleh sulfur oksida terutama disebabkan oleh dua komponen sulfur bentuk gas yang tidak berwarna, yaitu sulfur dioksida (SO<sub>2</sub>) dan Sulfur trioksida (SO<sub>3</sub>), yang keduanya disebut sulfur oksida (SO<sub>x</sub>). Gambar 4 menjelaskan mekanisme pembentukan SO<sub>2</sub> dan oksidasinya di atmosfer. Pengaruh utama polutan SO<sub>x</sub> terhadap manusia adalah iritasi sistem pernafasan seperti pada tabel 1 dan 2 di bawah ini.

**Tabel I.**  
**Sumber dan Standar Kesehatan Emisi Gas Buang**

Pencemar	Sumber	Keterangan
Karbon monoksida (CO)	Buangan kendaraan bermotor; beberapa proses industri	Standar kesehatan: 10 mg/m <sup>3</sup> (9 ppm)
Sulfur dioksida (SO <sub>2</sub> )	Panas dan fasilitas pembangkit listrik	Standar kesehatan: 80 ug/m <sup>3</sup> (0.03 ppm)
Partikulat Matter	Buangan kendaraan bermotor; beberapa proses industri	Standar kesehatan: 50 ug/m <sup>3</sup> selama 1 tahun; 150 ug/m <sup>3</sup>
Nitrogen dioksida (NO <sub>2</sub> )	Buangan kendaraan bermotor; panas dan fasilitas	Standar kesehatan: 100 pg/m <sup>3</sup> (0.05 ppm) selama 1 jam
Ozon (O <sub>3</sub> )	Terbentuk di atmosfer	Standar kesehatan: 235 ug/m <sup>3</sup> (0.12 ppm) selama 1 jam

Sumber: Bapedal [2]

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa iritasi tenggorokan terjadi pada kadar SO<sub>2</sub> sebesar 5 ppm atau lebih, bahkan pada beberapa individu yang sensitif iritasi terjadi pada kadar 1-2 ppm. SO<sub>2</sub> dianggap pencemar yang berbahaya bagi kesehatan terutama terhadap orang tua dan penderita yang mengalami penyakit khronis pada sistem pernafasan kardiovaskular. Mekanisme pembentukan SO<sub>x</sub> dapat dituliskan dalam dua tahap reaksi sebagai berikut :





**Tabel 2. Pencemaran SO<sub>2</sub> terhadap kesehatan**

DAMPAK KESEHATAN	TAHUN	
	1998	2015
<b>PM<sub>10</sub></b>		
Kematian prematur	3.307	7.893
Hilang hari aktivitas karena sakit	18.194.822	43.426.615
Dirawat di rumah sakit	5.905	14.095
Dibawa ke ruang gawat darurat	115.845	276.493
Serangan asma	1.323.551	3.158.993
Gangguan saluran pernafasan bawah pada anak	296.909	708.65
Gangguan saluran pernafasan	90.057.542	214.945.450
Bronkitis kronis	30.118	71.883
<b>NO<sub>2</sub></b>		
Gangguan saluran pernafasan	3.506.535	11.154.959
<b>SO<sub>2</sub></b>		
Kematian prematur	91	441
Gangguan saluran pernafasan anak-anak	175	849
Nyeri pada dada orang dewasa	174.295	844.753

Tabel 15. Perkiraan jumlah dampak kesehatan menurut jenis pencemar udaranya di Jakarta tahun 1998 dan 2015

Sumber: Integrated Vehicle Emission Reduction Strategy for Greater Jakarta, 2001

Selain masalah terhadap kesehatan terdapat pula masalah utama yang berkaitan dengan peningkatan penggunaan bahan bakar fosil adalah dilepaskannya gas-gas polutan penyebab hujan asam, seperti carbon dioksida (CO<sub>2</sub>), oksida nitrogen (NO<sub>x</sub>) dan oksida sulfur (SO<sub>x</sub>). Dilihat dari sumbernya, SO<sub>x</sub> sebanyak 2,4 % berasal dari pembakaran bahan bakar minyak untuk transportasi, sebanyak 73,5 % berasal dari pembakaran stationer bahan bakar fosil di pusat pembangkit listrik, dan sebanyak 22 % dari pembakaran batubara dalam proses industri. Gas oksida sulfur terdiri atas gas SO<sub>2</sub> dan gas SO<sub>3</sub> yang keduanya mempunyai sifat berbeda. Gas SO<sub>3</sub> berasal dari SO<sub>2</sub> yang bereaksi dengan oksigen di udara. Antara 1-5 % SO<sub>2</sub> teroksidasi langsung menjadi SO<sub>3</sub>. Kedua gas tersebut bereaksi dengan uap air yang ada di udara sehingga membentuk H<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> (asam sulfit) dan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (asam sulfat). Apabila asam tersebut terkondensasi di udara dan kemudian jatuh bersama-sama air hujan, maka terjadinya hujan asam tidak dapat dihindari lagi. Melalui proses ini, pelepasan SO<sub>x</sub> dari pembakaran batubara dapat menimbulkan hujan asam di daerah sejauh beratus-ratus km. Sebagian kota besar utama di dunia dewasa ini harus berjuang menanggulangi masalah pencemaran udara tingkat

tinggi yang menjurus ke arah terjadinya hujan asam. Di samping itu, kabut asap pencemar udara dari kota-kota besar dan industri dapat terbang menuju ke tempat-tempat lain

Dampak pencemaran udara yang signifikan terhadap tanaman adalah menurunnya kecepatan pertumbuhan dan berkurangnya produktivitas. Untuk menentukan dampak dari satu polutan terhadap tanaman sulit dilakukan dan kerusakan tanaman mungkin disebabkan oleh campuran dari beberapa polutan. Namun demikian, konsentrasi  $O_3$  dan  $SO_2$  yang tinggi telah menunjukkan kerusakan spesies tanaman tertentu di dalam sejumlah penelitian. *Spotting* pada daun juga dapat mengindikasikan kerusakan akibat pencemaran udara. Beberapa jenis tanaman terutama yang memiliki daun yang pendek seperti bayam dan semanggi sensitif terhadap  $O_3$ . Walaupun belum terdapat informasi yang rinci mengenai efek  $O_3$  pada spesies tanaman, namun telah diasumsikan bahwa kerusakan struktur sel diakibatkan oleh penetrasi  $O_3$  ke dalam stomata. Ozon dapat mengganggu fungsi stomata dan kemudian merusak keseimbangan kelembaban.



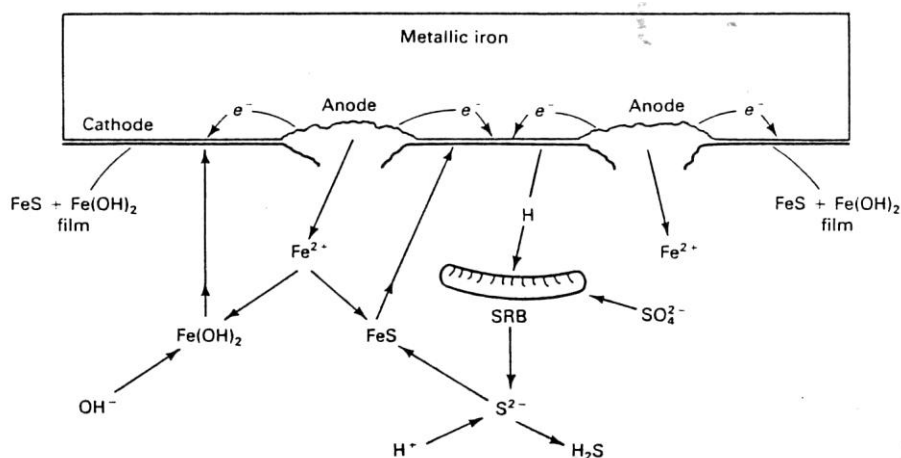
**Foto 6. Efek penyaringan udara pada gandum Pakistan**

Beberapa studi menunjukkan bahwa palawija dan tumbuhan lain yang ditanam sepanjang jalur jalan utama dari wilayah pinggir kota sampai dengan pusat kota memperlihatkan tingkat pertumbuhan yang rendah di lokasi sekitar kota seperti pada

gambar 6. Di sebelah kiri adalah tanaman dengan udara yang disaring, di tengah adalah tanpa penyaringan, dan sebelah kanan adalah tanaman yang tumbuh di udara ambien .

## 2. Kerusakan terhadap bangunan dan logam

Dampak pencemaran udara terhadap bangunan dan bahan-bahan adalah korosi, pelapukan, dan pengotoran. Polutan  $\text{SO}_2$  memiliki daya rusak yang tinggi pada bangunan dan bahan-bahan yaitu korosi. Proses korosi ditentukan pula oleh parameter meteorologi seperti kelembaban relatif, temperatur, dan presipitasi. Selain itu, efek sinergi dari beberapa polutan yaitu  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2$ , dan  $\text{O}_3$  semakin menambah intensitas korosi. Pada bahan-bahan yang mengandung seng dan tembaga, jika lapisan pelindung korosinya terkelupasakan mempercepat kerusakan bahan-bahan tersebut. Sedangkan batu yang digunakan untuk bangunan seperti batu kapur dan marmer sangat rentan terhadap deposisi  $\text{SO}_2$ . Pada bahan-bahan organik seperti karet dan cat, kerusakan umumnya diasosiasikan dengan polutan ozon plus faktor temperatur dan radiasi matahari. Beberapa bangunan dan monumen bersejarah dibangun dengan bahan-bahan yang sensitif terhadap korosi.



**Fig. 6** Schematic of the anaerobic corrosion of iron and steel showing the action of sulfate-reducing bacteria in removing hydrogen from the surface to form FeS and  $\text{H}_2\text{S}$

### Gambar 7. Skematik korosi anaerobik pada baja

Karakteristik korosi pada lingkungan  $\text{H}_2\text{S}$  terlarut adalah adanya atom hidrogen yang dihasilkan dari sebuah reaksi elektrokimia antara logam dengan medium yang

mengandung H<sub>2</sub>S masuk berdifusi kedalam baja (gambar 7). Kehadiran hidrogen dalam baja dan ketahanan baja terhadap kemungkinan terjadinya retakan terkandung dari : jenis baja, mikrostruktur, distribusi inklusi, voids, dan distribusi tegangan biasanya tegangan sisa. Kelangsungan dari pipa baja akan terancam dengan adanya aktifitas difusi dari atom hidrogen khususnya ketika atom hidrogen berkumpul pada internal diskontinuitas seperti inklusi dan void pada baja.

## **5. Bahan Bakar**

Bahan bakar yang akan dibahas adalah bahan bakar bensin dan solar.

Tugas Mahasiswa :

- Proses pembakaran pada motor bensin 4 langkah dan 2 langkah ( 2 kelompok)
- Proses pembakaran pada motor diesel 4 langkah dan 2 langkah ( 2 kelompok)

Yang harus dipelajari :

- Prinsip kerja
- Struktur dan rumus kimia dari bahan bakar
- Reaksi-reaksi proses pembakaran.

## **6. Gas Pendingin (Refrigrasi)**

Gas pendingin yang akan dibahas adalah hidrokarbon dan freon. Dijelaskan kekurangan dan kelebihan dari masing-masing gas pendingin.

Tugas Mahasiswa :

- Gas pendingin hidrokarbon ( 1 kelompok)
- Gas pendingin freon ( 1 kelompok)

Yang harus dipelajari :

- Prinsip kerja
- Struktur dan rumus kimia dari gas pendingin
- Reaksi-reaksi yang terjadi akibat kebocoran gas pendingin

Buku sumber utama:

- (1) James E. Brady, Fundamental of Chemistry, John Willey & Sons, USA, 1981

- (2) Keenan, Kleinfelter, Wood, Kimia untuk Universitas, Erlangga, Jakarta, 1986.
- (3) Uphadaya, Problem solving thermodynamic & thermo chemistry , 1982
- (4) Peter O'Neill. *Environmental Chemistry*. Chapman & Hall Inc. USA. 1993.
- (5) Rosevenquis, Metallurgical Extractive,
- (6) Teknik Pengelasan