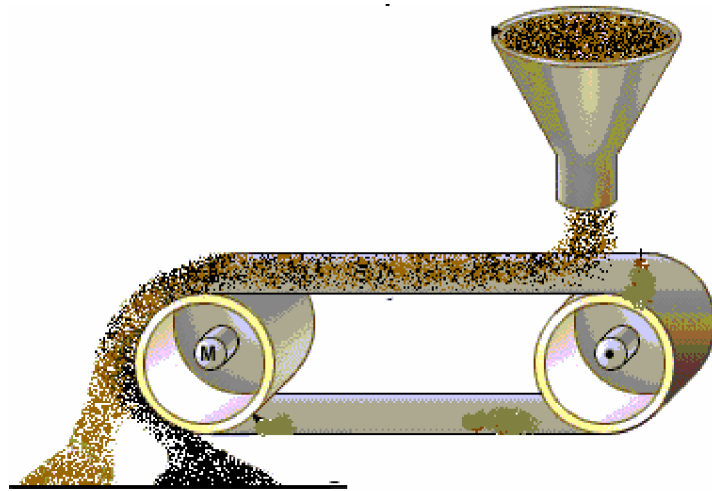




# PENGOLAHAN UNSUR



**BAGIAN PROYEK PENGEMBANGAN KURIKULUM  
DIREKTORAT PENDIDIKAN MENENGAH KEJURUAN  
DIREKTORAT JENDERAL PENDIDIKAN DASAR DAN MENENGAH  
DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL  
JAKARTA  
2004**

## KATA PENGANTAR

Pendidikan Menengah Kejuruan sebagai penyedia tenaga kerja terampil tingkat menengah dituntut harus mampu membekali tamatan dengan kualifikasi keahlian standar serta memiliki sikap dan perilaku yang sesuai dengan tuntutan dunia kerja. Sejalan dengan itu maka dilakukan berbagai perubahan mendasar di dalam penyelenggaraan pendidikan kejuruan. Salah satu perubahan tersebut adalah penerapan Sistem Pendidikan dan Pelatihan Berbasis Kompetensi.

Dalam rangka mengimplementasikan kebijakan tersebut, maka dirancang kurikulum yang didasarkan pada jenis pekerjaan dan uraian pekerjaan yang dilakukan oleh seorang analis dan teknisi kimia di dunia kerja. Berdasarkan hal itu disusun kompetensi yang harus dikuasai dan selanjutnya dijabarkan ke dalam deskripsi program pembelajaran dan materi ajar yang diperlukan yang disusun ke dalam paket-paket pembelajaran berupa modul.

Modul-modul yang disusun untuk tingkat II di SMK program keahlian Kimia Analisis dan Kimia Industri berjumlah empat belas modul yang semuanya merupakan paket materi ajar yang harus dikuasai peserta didik untuk memperoleh sertifikat sebagai **Pengelola Laboratorium**. Judul-judul modul dapat dilihat pada peta bahan ajar yang dilampirkan pada setiap modul.

BANDUNG, DESEMBER 2003

TIM KONSULTAN KIMIA  
FPTK UPI

## DAFTAR ISI MODUL

halaman

HALAMAN DEPAN (COVER1)  
HALAMAN DALAM (COVER 2)  
KATA PENGANTAR  
DAFTAR ISI  
PETA KEDUDUKAN MODUL  
PERISTILAHAN/GLOSARIUM

### I. PENDAHULUAN

- A. Deskripsi
- B. Prasyarat
- C. Petunjuk Penggunaan Modul
- D. Tujuan Akhir
- E. Kompetensi
- F. Cek Kemampuan

### II. PEMBELAJARAN

- A. Rencana Belajar Siswa
- B. Kegiatan Belajar
  - 1. Kegiatan Belajar 1
    - a. Tujuan Kegiatan Pembelajaran 1
    - b. Uraian Materi 1
    - c. Rangkuman 1
    - d. Tugas 1
    - e. Tes Formatif 1
    - f. Kunci Jawaban Formatif 1
    - g. Lembar Kerja 1
  - 2. Kegiatan Belajar 2
    - a. Tujuan Kegiatan Pembelajaran 2
    - b. Uraian Materi 2
    - c. Rangkuman 2
    - d. Tugas 2
    - e. Tes Formatif 2
    - f. Kunci Jawaban Formatif 2
    - Lembar Kerja 2

III EVALUASI  
Kunci Jawaban

IV PENUTUP

DAFTAR PUSTAKA

## BAB I PENDAHULUAN

### A. Deskripsi

Modul ini berjudul *Pengolahan Unsur*. Materi pelajaran meliputi sebaran unsur di alam, prinsip ekstraksi unsur, pengolahan unsur logam, dan pengolahan unsur bukan logam.

Untuk mempermudah dan memperoleh pemahaman yang memadai dalam mempelajari modul ini, disarankan anda terlebih dahulu mempelajari dan memahami modul sebelumnya seperti : (1) Modul stoikiometri, (2) Kimia Unsur, (3) Modul Reaksi reduksi oksidasi. dan (4) Modul Elektrokimia

Beberapa kemampuan (*competencies*) dan kinerja (*performance*) yang harus dicapai setelah anda mempelajari modul ini adalah sebagai berikut :

Kemampuan dan Kinerja yang harus dicapai		
Pengetahuan	Keterampilan	Sikap
<ul style="list-style-type: none"><li>• Mengenal sebaran unsur di alam</li><li>• Menjelaskan prinsip penyebaran unsur</li><li>• Menganalisis kelompok penyebaran unsur</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Menerapkan logika pengelompokan unsur di alam berdasarkan aturan Goldsmidt</li></ul>	Mau menelaah dan memberikan argumen tentang kecenderungan senyawa yang disukai oleh suatu unsur
<ul style="list-style-type: none"><li>• Menjelaskan prinsip dasar ekstraksi unsur hingga pemurnian</li><li>• Menerapkan konsep-konsep kimia relevan pada ekstraksi unsur</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Memisahkan unsur yang terdapat dalam mineral secara eksperimen</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Mau berpartisipasi dalam eksperimen pemisahan unsur dari mineral dengan sungguh-sungguh, cermat, dan hati-hati</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Menganalisis pengolahan unsur Al, Fe, Cu, Si, dan unsur lain</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Memisahkan dan memurnikan unsur dari mineral secara elektrolisis</li><li>• Memisahkan unsur secara reduksi dengan penambahan reduktor</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Mau berpartisipasi dalam eksperimen pemisahan dan pemurnian dengan – sungguh-sungguh, cermat, dan hati-hati</li></ul>

	• Menguji kemurnian unsur	
--	---------------------------	--

## B. Prasyarat

Untuk menguasai secara optimal kemampuan yang dituntut dari Modul pengolahan unsur ini, dipersyaratkan anda menguasai :

- (1) Modul stoikiometri
- (2) Modul kimia unsur
- (3) Modul reaksi reduksi oksidasi
- (4) Modul elektrokimia

Kemampuan khusus yang harus anda tekuni dan latih secara intensif dari modul-modul yang dipersyaratkan tersebut adalah :

- (1) Terampil menyetarakan persamaan reaksi reduksi oksidasi
- (2) Terampil menyelesaikan reaksi elektrolisis
- (3) Menyatakan konfigurasi elektron suatu unsur

## C. Petunjuk Penggunaan Modul

Modul ini dirancang sebagai bahan untuk melangsungkan pembelajaran maupun kerja mandiri. Untuk meningkatkan proses dan hasil belajar, maka pada bagian ini diberikan panduan belajar bagi siswa dan panduan mengajar bagi guru.

### 1. Panduan belajar bagi siswa

- a. Bacalah dengan cepat keseluruhan modul ini (*skimming*)
- b. Buatlah diagram yang berisikan materi utama yang dibicarakan dalam modul ini berikut aktifitas yang diminta. Beri kotak segi empat untuk setiap materi/konsep utama yang dibicarakan. Tiap kotak diberi nomor urut untuk memudahkan penelusuran isi konsepnya.
- c. Siapkan kertas kosong HVS berukuran 10 x 10 cm (lebih baik lagi kertas lipat berwarna yang banyak dijual di toko buku). Tuliskan nomor dan makna atau isi konsep sesuai yang tercantum dalam diagram.
- d. Pahami isi masing-masing konsep yang tertera pada diagram.
- e. Diskusikan dengan guru dan teman-teman tentang konsep-konsep yang belum anda difahami hingga mendapat kejelasan

- f. Jawablah semua soal-soal yang menguji penguasaan konsep, kemudian periksa hasilnya dengan kunci jawaban yang disediakan. Pelajari kembali apabila penguasaan kurang dari 80%. Ingat ! Kunci jawaban hanya di gunakan setelah anda mengerjakan soal, dan hanya digunakan untuk mengetahui pemahaman nyata anda.
- g. Ikuti semua percobaan pengolahan unsur dengan seksama. Latihlah keterampilan-keterampilan dasarnya.

2. Panduan Mengajar bagi Guru

- a. Sebelum pembelajaran dengan modul ini dilangsungkan, terlebih dahulu dipersiapkan OHT (*Overhead Transparencies*) yang memuat struktur materi/konsep utama dalam bentuk diagram. Transparansikan Tabel sebaran unsur di alam dan aturan Goldsmidt, diagram langkah-langkah ekstraksi unsur dan diagram pengolahan unsur khususnya pengolahan Al, Fe, Cu, dan Si.
- b. Tugaskan pada kelompok siswa untuk menelaah kecenderungan senyawa yang terbentuk di alam oleh unsur-unsur. Diskusikan kesulitan yang dihadapinya.
- c. Diskusikan kesulitan siswa setiap tahapan ekstraksi unsur, dan latih keterampilan siswa untuk menyatakan reaksi kimia yang terlibat terutama reaksi reduksi oksidasi dan stoikiometrinya.
- d. Bimbinglah siswa untuk melakukan praktek pengolahan unsur dari mineral yang dipersiapkan hingga tahap pemurnian.
- e. Evaluasi kemampuan siswa dalam aspek kognitif, psikomotor, dan afektif yang dinyatakan dalam modul. Bagi siswa yang belum mencapai penguasaan minimal 80% disuruh untuk mempelajari kembali secara mandiri di rumahnya. Penilaian psikomotor dan afektif hendaknya menggunakan lembar observasi yang dicontohkan pada modul atau alternatif pengembangannya.

**D. Tujuan Akhir**

Tujuan akhir yang harus dicapai setelah menyelesaikan modul ini tertuang pada tabel sebagai berikut :

Kinerja yang diharapkan	Kriteria keberhasilan	Kondisi/variabel yang diberikan
-------------------------	-----------------------	---------------------------------

<p>Terampil (<b>P</b>) dan aktif berpartisipasi (<b>A</b>) dalam menganalisis kecenderungan senyawa di alam yang dibentuk unsur tertentu atas dasar aturan Goldsmidt (<b>K</b>)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Konsep dasar pembentukan senyawa di alam dikuasai minimal 80%</li> <li>• Menunjukkan argumen yang logis dalam menelaah keberadaan unsur di alam</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Disediakan tabel senyawa-senyawa yang terbentuk di alam</li> </ul>
<p>Terampil (<b>P</b>) dan aktif berpartisipasi (<b>A</b>) dalam mengolah unsur dari mineral berdasarkan prinsip ekstraksi (<b>K</b>)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Konsep dasar ekstraksi unsur dikuasai minimal 80%</li> <li>• Dapat memisahkan unsur dari mineral berdasarkan eksperimen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Disediakan penuntun praktikum dan lembar kerja</li> <li>• Disediakan sampel sembarang</li> </ul>
<p>Terampil (<b>P</b>) dan aktif berpartisipasi (<b>A</b>) dalam mengolah unsur Al, Cu, Fe, Si (<b>K</b>)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Konsep dasar pengolahan unsur Al, Cu, Fe, Si dikuasai minimal 80%</li> <li>• Dapat memisahkan dan memurnikan unsur secara elektrolisis</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Disediakan penuntun praktikum dan lembar kerja</li> <li>• Disediakan sampel mineral Al dan Fe</li> </ul>

K = Kognitif  
P = Psikomotor  
A = Afektif

## E. Kompetensi

Kompetensi yang akan dicapai dalam Modul ini adalah sebagai berikut:

Sub Kompetensi	Kriteria Unjuk Kerja	Lingkup Belajar	Materi Pokok Pembelajaran		
			Sikap	Pengetahuan	Keterampilan
1	2	3	4	5	6
G.3 Melakukan pengolahan unsur dari mineral	1. Menganalisis kelimpahan unsur	Sebaran unsur di alam	Kritis dalam memberikan argumen tentang keberadaan senyawa di alam	Menerapkan konsep jari-jari dan muatan atom dalam menentukan keberadaan senyawa di alam	Menerapkan prinsip secara logis
	2. Menganalisis tahapan ekstraksi unsur dari senyawa	Prinsip ekstraksi unsur	Cermat dalam menganalisis tahapan ekstraksi unsur	Menerapkan konsep pengerjaan pengolahan unsur secara fisis dan kimia	Memisahkan unsur dari mineral secara eksperimen
	3. Mensintesis unsur Al, Cu, F dan Si	Pengolahan Al, Cu, Fe dan Si	Kritis, cermat, dan hati-hati dalam pengolahan unsur Al, Cu, Fe dan Si	Menerapkan konsep reduksi oksidasi dalam mengolah unsur Al, Cu, Fe, dan Si	Memisahkan dan memurnikan unsur secara elektrolitik

#### F. Cek Kemampuan

Berikut ini merupakan lembar pengecekan kemampuan anda terhadap isi materi yang akan dicapai pada modul. Lembar isian tersebut harus dipandang sebagai alat evaluasi diri, olehkarena itu harus diisi dengan sejujurnya, dan apabila sebagian besar



pertanyaan sudah anda kuasai, maka anda dapat mengerjakan soal atau minta pengujian praktek pada guru.

Berikan tanda cek (V) pada tingkat penguasaan sesuai yang anda

No.	Aspek yang harus dikuasai	Tingkat Penguasaan		
		Baik	Sedang	Kurang
1	Pengenalan anda tentang kandungan unsur pada lapisan bumi			
2	Pengenalan anda tentang klasifikasi dan jenis unsur di kerak bumi			
3	Pengenalan anda tentang komposisi unsur dalam batuan			
4	Pengenalan anda tentang komposisi unsur dalam air laut			
5	Pemahaman anda tentang aturan Goldsmidt			
6	Pemahaman anda tentang tahapan ekstraksi unsur			
7	Keterampilan anda pada setiap tahapan ekstraksi unsur			
8	Pemahaman anda tentang ekstraksi Al			
9	Keterampilan anda dalam melakukan ekstraksi Al			
10	Pemahaman anda tentang ekstraksi Cu			
11	Keterampilan anda dalam melakukan ekstraksi Cu			
12	Pemahaman anda tentang ekstraksi Fe			
13	Keterampilan anda dalam melakukan ekstraksi Fe			
14	Pemahaman anda dalam ekstraksi Si			
15	Keterampilan anda dalam melakukan ekstraksi Si			

## II . PEMBELAJARAN

### A. Rencana Belajar Peserta Diklat

Tabel berikut merupakan rambu-rambu rencana pembelajaran dengan menggunakan Modul ini. Rambu-rambu ini bersifat fleksibel dan dapat dimodifikasi sesuai dengan kondisi sekolah.

Kompetensi : Analisis unsur

Sub Kompetensi : G.3 Mengolah unsur dari mineral

Jenis Kegiatan	Tanggal	Waktu	Tempat Belajar	Perubahan dan Alasan	Tanda tangan Guru
KBM-1 • Sebaran unsur di alam		10 jam			
KBM-2 • Aturan sebaran unsur		4 jam			
KBM-3 • Prinsip ekstraksi unsur		10 jam			
KBM-4 • Pengolahan unsur Al		10 jam			
KBM-5		10			

• Pengolahan unsur Cu		jam			
KBM-6 • Pengolahan unsur Fe		10 jam			
KBM-7 • Pengolahan unsur Si		6 jam			

## B. KEGIATAN BELAJAR

### 1. Sebaran Unsur Di Alam

#### a. Tujuan Kegiatan Pembelajaran

Melalui kegiatan belajar ini diharapkan Anda dapat:

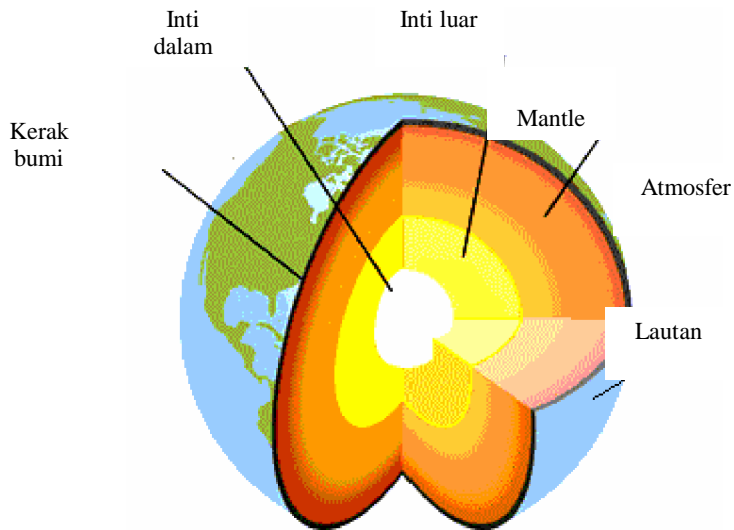
- 1) mendeskripsikan sebaran unsure di alam berdasarkan klasifikasi geokimia;
- 2) menjelaskan prinsip penyebaran unsure
- 3) mengklasifikasi
- 4) mendeskripsikani unsur-unsur yang ada di bumi berdasarkan klasifikasi geokimia (jenis *Siderophile*, *Chalcophile*, *Lithophile*, • *Atmophile*)
- 5)

#### b. Uraian materi

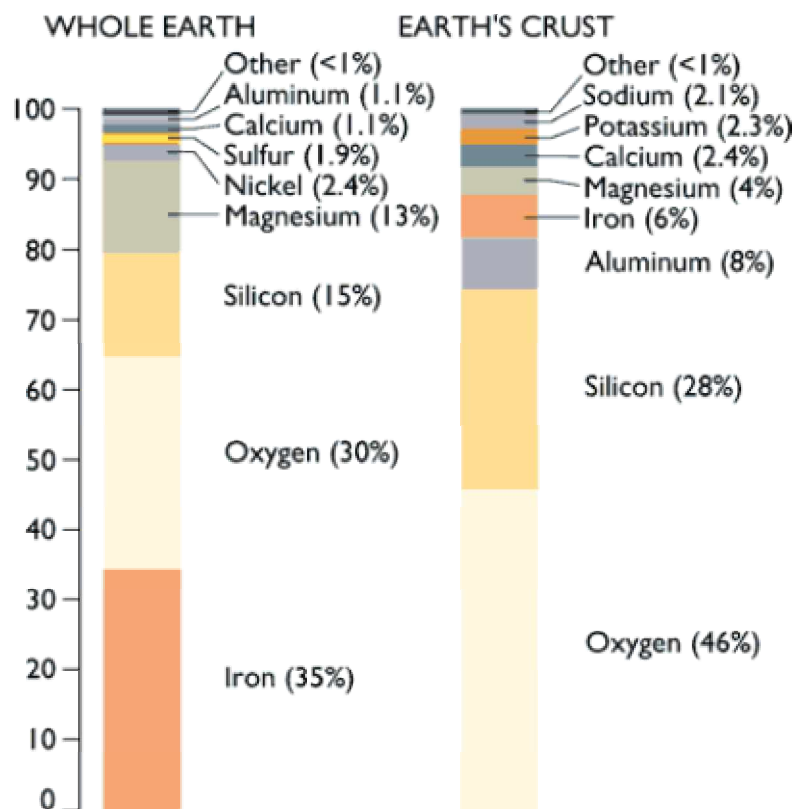
Menurut hasil pengukuran geofisika menyatakan bahwa kerapatan bumi makin tinggi dari permukaan hingga bagian dalam. Sebaran unsur di dalam bumi disimpulkan dari data penjalaran *gelombang seismik*. Secara umum model struktur bumi dinyatakan sebagai berikut :

- *Inti dalam* (padatan Fe dan Ni) dan *inti luar* (cairan Fe dan S) dengan kerapatan  $11 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$  dan ketebalan 3470 km.
- *Mantle* (padatan magnesium silikat) berkerapatan  $4,5 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ , dan ketebalan 2880 km.
- *Kerak* (crust) terdiri dari mineral silikat dan oksida dengan kerapatan  $2,8 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$  dan ketebalan 17 km.
- *Lautan* sebagian besar terdiri dari  $\text{H}_2\text{O}$  dengan kerapatan  $1,03 \text{ kg/m}^3$  dan ketebalan 4 km.
- *Atmosfer* terdiri dari gas-gas yang sebagian besar mengandung  $\text{N}_2$  dan  $\text{O}_2$ .

Penampang struktur bumi ditunjukkan pada Gambar-1 berikut, sedangkan sebaran unsur ditunjukkan pada Gambar-2



Gambar-1 Lapisan-lapisan bumi



Gambar-2 Sebaran unsur pada lapisan bumi

Studi seismik telah memberikan rujukan sifat-sifat mekanik, kerapatan, dan komposisi kimia dari inti bumi, mantel, dan kerak bumi. Mantel lebih banyak mengandung Mg daripada kerak bumi. Sementara kerak bumi lebih kaya mengandung unsur-unsur lain seperti Na, Al, K, dan Ca.

**V.M. Goldschmidt** mengklasifikasi unsur-unsur yang ada di bumi ke dalam 4 jenis, yaitu :

- *Siderophile (iron-loving)*, tersebar sebagai logam kelompok besi (Fe, Co, Ni), sebagaimana tersebar pada inti bumi,
- *Chalcophile*, tersebar sebagai sulfida (gabungan non logam S, Se, dan As),
- *Lithophile (rock-loving)*, tersebar sebagai silikat, dan
- *Atmophile*, tersebar sebagai penyusun atmosfer.

Jenis unsur yang termasuk ke dalam masing-masing kelas tertera pada Tabel-1, sedangkan untuk melihat keteraturannya dapat dipelajari melalui Tabel periodik berikut (Gambar-3)

Tabel-1  
Klasifikasi Unsur di Bumi  
Menurut Goldschmidt

<b>Siderophile</b>	<b>Chalcophile</b>	<b>Lithophile</b>	<b>Atmophile</b>
Fe, Co, Ni, Ru, Rh, Pd, Re, Os, Ir, Pt, Au, Mo,	Cu, Ag, (Au) Zn, Cd, Hg, Ga, In, Tl, (Ge), (Sn), Pb,	Li, Na, K, Rb, Cs, Be, Mg, Ca, Sr, Ba, B, Al,	H, N, (C), (O), (F), (Cl), (Br), (I), gas mulia
Ge, Sn, C, P, (Pb), (As), (W)	As, Sb, Bi, S, Se, Te, (Fe), (Mo), (Re)	Sc, Y, La, (C), Si, Ti, Zr, Hf, Th, (P), V, Nb, Ta, O, Cr, W, U, (Fe), Mn, F, Cl, Br, I, (H), (Tl), Ga, (Ge), (N)	

Pada pengklasifikasian di atas terdapat beberapa unsur yang memiliki lebih dari satu kelas. Misalnya besi sebagai unsur utama penyusun inti bumi, tetapi juga ditemukan sebagai mineral sulfida dan silikat. Namun secara umum unsur-unsur dalam satu kelas mempunyai kemiripan sifat kimianya. **Siderophile** adalah unsur-unsur yang mempunyai *potensial elektrode rendah*, **lithophile** unsur-unsur yang mempunyai *potensial elektrode tinggi*, dan **chalcophile** adalah unsur-unsur yang mempunyai *potensial elektrode sedang*.

Kelimpahan unsur di kerak bumi telah ditentukan berdasarkan metode analitis dengan kemiripan apa yang ditemukan dalam meteorit. Data pada tabel-2 menunjukkan bahwa 8 unsur yaitu *oksigen, silikon, aluminium, besi, magnesium, kalsium, natrium, dan kalium* merupakan penyusun lebih dari 98,5% berat kerak bumi. Beberapa unsur lithophile seperti kalium, dan titanium kelimpahannya lebih banyak terpusatkan di kerak bumi.

### Klasifikasi Geokimia Unsur

Lithophile		Large Ion Lithophile		HFI	Chalcophile												Siderophile	Atmophile
1 H																2 He		
3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne	
11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar	
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	36 Kr	
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo			44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
55 Cs	56 Ba	57 La	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	86 Rn	
87 Fr	88 Ra	89 Ac																
REE		58 Ce	59 Pr	60 Nd			62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu		

Actinides	90 Th	92 U																		
-----------	----------	---------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Gambar-3 Tabel Periodik Sebaran Unsur di bumi

Para ahli kimia dan metalurgi sangat tertarik perhatiannya terhadap sebaran unsur di kerak bumi, karena di sana merupakan sumber unsur-unsur yang dapat diekstraksi dan diisolasi. Batuan di kerak bumi terbentuk melalui berbagai cara sesuai dengan proses fraksionasi sebarannya.

- 1) **Batuan api** (igneous rock), terbentuk akibat pemadatan lelehan materi bertemperatur tinggi yang mengalir dari daerah bagian dalam bumi. Produk utama adalah *magma*, materi lain yang diakibatkan terhamburnya lelehan ke permukaan bumi disebut *lava* (kristal batuan volcanic).

Tabel-2  
Komposisi Utama  
Penyusun Bumi dan Kerak Bumi

Unsur	Kelimpahan (ppm)	
	di bumi	di kerak bumi
H	-	1 400
O	295 000	466 000
Na	5 700	28 300
Mg	127 000	20 900
Al	10 900	81 300
Si	152 000	177 200
P	1 000	1 050
S	19 300	260
K	700	25 900
Ca	11 300	36 300
Ti	500	4 400
Cr	2 600	100

Mn	2 200	950
<b>Fe</b>	346 300	50 000
Ni	23 900	75

Tabel-3  
Komposisi Batuan Api (*Igneous*)

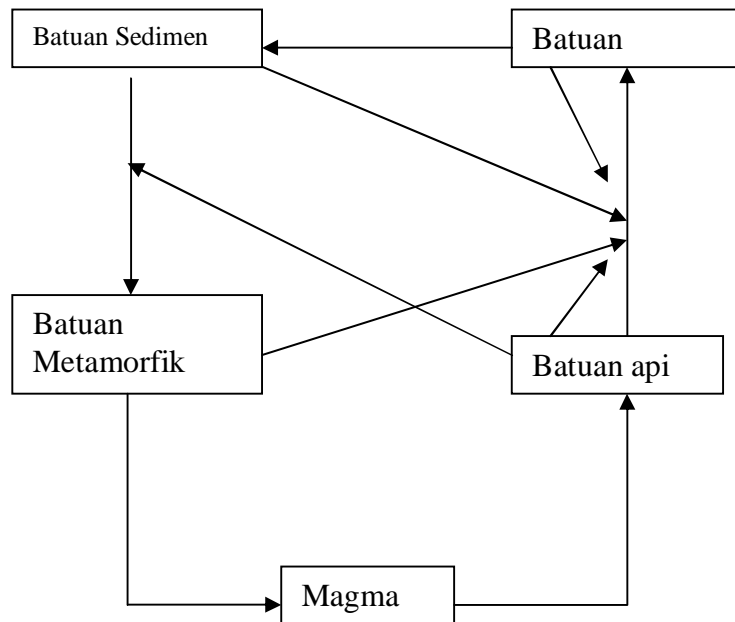
Oksida	Persentase
SiO <sub>2</sub>	66,4
TiO <sub>2</sub>	10,7
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,9
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,5
FeO	3,0
MnO	0,08
MgO	2,2
CaO	3,8
Na <sub>2</sub> O	3,6
K <sub>2</sub> O	3,3
H <sub>2</sub> O	0,6
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1,18

2) **Batuan metamorfik**, terbentuk akibat pengaruh panas dan tekanan terhadap batuan api (*igneous*) dan batuan sedimen. Karena pengaruh suhu dan tekanan, *batu gamping* (limestone) berubah menjadi *marmer* (marble), *batupasir* (sandstone) berubah menjadi *kuarsa* (quartzite), *batu serpih* (shale) berubah menjadi *batu tulis* (slate) dan *mika*. Beberapa batuan metamorfik ini mempunyai perbedaan pada struktur orientasi bidang dan garis yang disebabkan pengarahannya tekanan selama proses metamorfis.

3) **Batuan sedimen**, terbentuk karena pengaruh udara, air, proses biologis, dan proses kimia seperti *hidrolisis*, *pengendapan*, *oksidasi*, dan *reduksi*. Misalnya batupasir



(sandstone) terbentuk dari pasir (sand), batukapur (limestone) terbentuk dari kapur (lime), batu serpih (shale) terbentuk dari lumpur (mud).



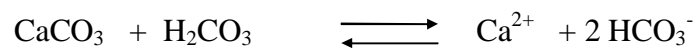
Gambar-4 Siklus Batuan

Tabel-4  
Komposisi Persentase Rata-rata  
Batuan Sedimen

Oksida	Batuan pasir	Batu kapur	Batuan Karbonat
SiO <sub>2</sub>	70,0	6,9	8,2
TiO <sub>2</sub>	0,58	0,05	-
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8,2	1,7	2,2
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,5	0,98	1,0
FeO	1,5	1,3	0,68
MnO	0,06	0,08	0,07
MgO	1,9	0,97	7,7

CaO	4,3	47,6	40,5
Na <sub>2</sub> O	0,58	0,08	-
K <sub>2</sub> O	2,1	0,57	-
H <sub>2</sub> O	3,0	0,84	-
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,10	0,16	0,07
CO <sub>2</sub>	3,9	38,3	35,5
SO <sub>3</sub>	0,7	0,02	3,1

Kalsium karbonat yang terkandung di dalam batuan sedimen jumlahnya paling cukup banyak . Senyawa ini dengan air alam dan karbon dioksida yang larut (asam karbonat) membentuk sistem kesetimbangan sebagai berikut :



Kandungan air, karbon dioksida, klorin, feri yang berubah menjadi fero di dalam batuan sedimen jumlahnya lebih banyak daripada yang terkandung di dalam batuan api. Penurunan kandungan natrium mencerminkan bahwa ion-ion natrium melarut kemudian masuk ke dalam lautan melalui proses pencucuan (weathering).

Senyawa fero teroksidasi menjadi feri cukup lama melalui oksigen atmosfer. Senyawa yang terbentuk adalah Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> atau dalam bentuk hidratnya. Feri oksida umumnya tidak berubah karena kelarutannya sangat kecil. Pada kondisi tertentu feri oksida tersuspensi sebagai sol. Koloid bermuatan positif tersebut mampu menyerap anion seperti fosfat.

Mangan, pada awalnya berada sebagai mangan (II), larut sedikit dalam asam karbonat. Pada kondisi tertentu dapat teroksidasi menjadi mangan (III) dan (IV). Oksida campuran seperti Mn<sub>3</sub>O<sub>4</sub> dapat terbentuk juga, tetapi sebagai produk akhir adalah MnO<sub>2</sub>. Mangan oksida dapat membentuk sol bermuatan negatif, dan kation-kation yang diikatnya adalah K<sup>+</sup>, Ni<sup>2+</sup>, Co<sup>2+</sup>, Pb<sup>2+</sup>, Ba<sup>2+</sup>, dan Cu<sup>2+</sup>. Selama proses sedimentasi, mangan terpisahkan secara efektif dari unsur-unsur lain seperti besi.

Proses ini terjadi karena adanya perbedaan kelarutan pada penambahan pH, di mana ferioksida mengendap terlebih dahulu sebelum oksida mangan.

Belerang adalah unsur lainnya yang teroksidasi selama proses pencucian. Di dalam batuan api, unsur ini berada sebagai sulfida (tingkat oksidasi -2), dan bila kontak dengan udara dan air berubah membentuk sulfat. Logam-logam sulfida terbentuk sebagai mineral sedimen hanya apabila berada dalam lingkungan yang sangat mereduksi, seperti adanya zat-zat organik.

Proses pencucian memberi peran terhadap penyebaran unsur-unsur ke dalam air laut. Air laut merupakan sistem buffer dengan pH antara 8,0 dan 8,4. Rentang ini memberi gambaran bahwa dalam air laut terdapat banyak ion kalsium berasal dari aliran sungai yang diendapkan sebagai kalsium karbonat. Karena itu komposisi air laut ditentukan oleh garam-garam yang tertinggal akibat penguapan. Kebanyakan garam yang berada di air laut terdiri dari *kalsium sulfat* dan *natrium klorida*.

Unsur-unsur lain sirkulasinya tetap di dalam kerak bumi. Kalsium dan magnesium masuk ke dalam proses biologis, kalsium membentuk tulang, sedangkan magnesium membentuk klorofil. Kalium dan natrium mempunyai peran sangat penting di dalam biologis. Sedangkan siklus materi penting terjadi di alam adalah siklus karbon, siklus fosfor, dan siklus nitrogen.

Tabel-5  
Komposisi Air laut  
(untuk salinitas 35 ppt)

<b>Komponen</b>	<b>Konsentrasi (ppm)</b>
Cl <sup>-</sup>	18 900
Na <sup>+</sup>	10 556
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	2 649
Mg <sup>2+</sup>	1 272
Ca <sup>2+</sup>	400
K <sup>+</sup>	380

$\text{HCO}_3^-$	140
$\text{Br}^-$	65
$\text{Sr}^{2+}$	8
$\text{H}_3\text{BO}_3$	26

### Aturan Goldschmidt

Silikat adalah senyawa yang jumlahnya mendominasi senyawa lain di kerak bumi. Sifat dan strukturnya mempunyai kapasitas untuk berubah menjadi isomorf lain. Kecenderungan sebaran unsur di bumi, telah diformulasikan oleh aturan-aturan empiris yang ditelaah V.M. Goldschmidt. Menurutnya faktor utama yang berpengaruh terhadap sebaran ion-ion di bumi adalah *ukuran* dan *muatan*.

### Aturan Goldschmidt

- 1) Jika dua ion mempunyai jari-jari sama atau hampir sama dan muatan sama, maka ion-ion tersebut akan terdistribusi dalam mineral yang berbanding lurus dengan kelimpahannya disertai pergantian isomorf dari satu ion dengan ion yang lain.
- 2) Jika dua ion mempunyai jari-jari hampir sama dan muatan sama, ion berukuran lebih kecil akan mengkristal lebih awal
- 3) Jika dua ion mempunyai jari-jari hampir sama tetapi muatan berbeda, maka ion dengan muatan lebih tinggi akan mengkristal lebih awal.

Sebagai gambaran ditemukan bahwa ion  $\text{Ba}^{2+}$  (135 pm) dan  $\text{K}^+$  (133 pm) terjadi pergantian secara intensif di dalam pembentukan mineralnya. Demikian pula ion  $\text{Fe}^{3+}$  (64 pm) dan  $\text{Cr}^{3+}$  (69 pm), dapat membentuk pasangan dengan ion lain dengan menunjukkan substitusi isomorf.

Gambaran lain ditunjukkan bahwa ion  $\text{Mg}^{2+}$  (65 pm) akan mengkristal lebih awal membentuk sederetan isomorf olivin ( $\text{Mg}_2\text{SiO}_4$ ) dibandingkan dengan ion  $\text{Fe}^{3+}$  (82 pm). Sementara  $\text{Li}^+$  (60 pm) dan  $\text{Mg}^{2+}$  (65 pm) akan terjadi substitusi, akan tetapi litium ditemukan mengkristal lebih lambat dalam mineralnya.

Aturan Goldschmidt hanya dapat digunakan sebagai pemandu secara kualitatif terhadap sebaran unsur. Misalnya  $\text{Zn}^{2+}$  (74 pm) diharapkan berada dalam feromagnesium silikat sebagaimana terdapatnya  $\text{Ni}^{2+}$  (76 pm) dan  $\text{Co}^{2+}$  (78 pm). Kenyataannya  $\text{Zn}^{2+}$  tidak ditemukan dalam silikat melainkan berbentuk struktur kristal bilangan koordinasi-6 (oktahedral) tetapi berada sebagai bilangan koordinasi-4 (tetrahedral). Dalam kasus ini kita katakan bahwa walaupun jari-jari ion dapat digunakan sebagai alat merasionalisasi terbentuknya struktur kristal, ternyata struktur tersebut akan berubah juga karena faktor lingkungan.

Keterbatasan aturan Goldschmidt lainnya adalah tidak memperhitungkan jenis-jenis ikatan yang terbentuk. Demikian  $\text{Cu}^+$  (96 pm) tidak terdapat bersamaan dengan  $\text{Na}^+$  (95 pm) walaupun ukurannya hampir sama, hal ini disebabkan ikatan  $\text{Cu}^+$  sedikit sekali menunjukkan karakter ionik dibandingkan  $\text{Na}^+$ . Sehubungan dengan kasus ini, maka **Ringwood** memperluas kesahihan aturan Goldschmidt dengan mengusulkan pentingnya *keelektronegatifan ion*. Kriterianya menyatakan bahwa “*untuk dua ion yang memiliki valensi dan jari-jari hampir sama, ion yang keelektronegatifannya lebih rendah akan membentuk kristal lebih awal karena membentuk ikatan yang lebih kuat (lebih ionik) daripada ion lainnya*”.

Kritik lainnya yang diajukan terhadap aturan Goldschmidt adalah didasarkan atas pandangan termodinamika. Kritik ini menyatakan bahwa aturan Goldschmidt

hendaknya memasukan *entalpi kisi kristal* secara implisit. Namun kesulitannya adalah tidak cukupnya informasi besaran termodinamika yang dimiliki, seperti halnya energi solvasi atau perubahan energi bebas yang berhubungan dengan reaksi yang berlangsung pada media lelehan, begitu pula kita tidak dapat mempertimbangkan kestabilan relatif ion di dalam lelehan atau fase kristal.

Disisi lain **Hulme** mengusulkan pengklasifikasian sumber-sumber logam di alam ke dalam 5 kelompok, yaitu :

**Logam tipe-1 :**

- Unsur-unsur  $ns^1$  dan Be.
- Logam sangat elektropositif, ditemukan sebagai garam klorida, karbonat, dan sulfat yang larut.
- Diekstraksi melalui teknik elektrolitik.

**Logam tipe-2 :**

- Unsur-unsur  $ns^2$  kecuali Be.
- Logam alkali tanah elektropositif, ditemukan sebagai karbonat dan sulfat tidak larut (kecuali  $MgSO_4 \cdot 7H_2O$  dapat larut).
- Diekstraksi melalui elektrolisis.

**Logam tipe-3 :**

- Terdiri dari unsur  $ns^2 np^1, d^1, d^2, d^3, Cr$  dan  $Mn$ .
- Tidak mempunyai orbital d terisi penuh yang dapat digunakan untuk membentuk ikatan  $\pi$ .
- Sebagai sumber utama *oksida dan campuran oksida*.
- Diekstraksi melalui elektrolisis, reduksi kimia dengan C, CO, atau logam lebih reaktif.

**Logam tipe-4 :**

- Mempunyai orbital d terisi penuh yang dapat digunakan untuk membentuk ikatan d-p- $\pi$  dengan atom belerang, seperti Mo, Fe, Co, Ni, Cu, Ag, dan logam blok p.

- Sebagai sumber utama *sulfida*, dan sedikit dalam oksida.
- Diekstraksi dengan cara mengubah sulfida menjadi oksida, kemudian direduksi dengan C, CO, dan hidrogen atau sulfat untuk proses elektrolitik.

**Logam tipe-5 :**

- Logam tidak reaktif, berada sebagai unsur bebas.
- Potensial oksidasinya rendah.
- Oksida dan sulfidanya tidak stabil.
- Senyawanya mudah direduksi.
- Garis batas dengan tipe-4 tidak ditafsirkan secara kaku, seperti Cu, Zn, dan Pb terdapat juga sebagai karbonat, akan tetapi sumber karbonat yang dapat dikerjakan hanyalah oksida dan karbonat Fe. Hg berada sebagai unsur bebas pula, Bentuk sulfidanya dengan mudah direduksi melalui penguraian termal.

Tabel 6  
Klasifikasi Sumber Logam

Li	Be	B													
Na	Mg	Al	Si												
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po
Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	<b>5</b>									
<b>1</b>	<b>2</b>					<b>4</b>									

**2. Kegiatan belajar 2 : Prinsip – Prinsip Ekstraksi Logam**

**a. Tujuan Kegiatan Pembelajaran**

Metalurgi adalah pengetahuan yang mengkaji tentang cara-cara pengolahan logam dari bijihnya hingga memperoleh logam yang siap untuk digunakan. Proses metalurgi dibagi menjadi 3 prinsip pengerjaan : (1) Perlakuan awal, dengan cara melakukan pemekatan bijih (*concentration of ore*) agar bijih yang diinginkan terpisah dari materi pengotor (*gangue*). (2) Proses reduksi, yaitu mereduksi senyawa logam yang ada pada

bijih agar berubah menjadi logam bebas. (3) Pemurnian (refining), yaitu melakukan pengolahan logam kotor melalui proses kimia agar diperoleh tingkat kemurnian tinggi.

#### 1. Pemekatan Bijih

Pemekatan bijih bertujuan ialah untuk memisahkan mineral dari pengotornya sehingga diperoleh kadar bijih tinggi. Pemekatan dapat dilakukan melalui dua teknik pemisahan, yaitu pemisahan secara fisis dan pemisahan secara kimia.

Pemisahan secara fisis terdiri dari :

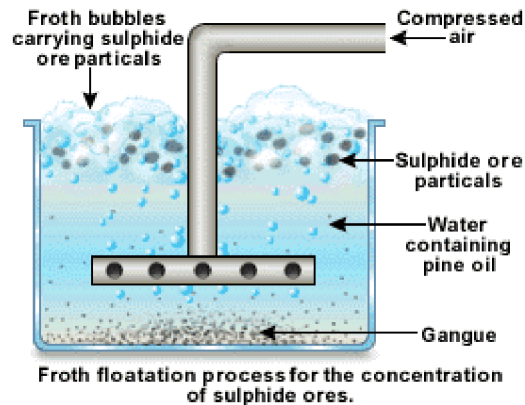
- Pemisahan pengapungan (flotation separation),
- Pemisahan gaya berat (gravity separation),
- Pemisahan magnetik (magnetic separation),
- Pemisahan pencairan (liquation separation), dan
- Pemisahan amalgam (amalgams separation).

Pemisahan secara kimia terdiri dari :

- Proses pelindian (leaching),
- Proses pemanggangan (roasting),

Pengapungan buih (froth flotation) adalah proses pemisahan mineral menjadi bijih dari pengotor dengan cara mengapungkan bijih ke permukaan melalui pengikatan dengan buih. Proses ini banyak dipakai untuk beberapa bijih seperti Cu, Pb, Zn, Ag, Au, dan Ni. Teknik pengerjaannya dilakukan dengan cara menghembuskan udara ke dalam butiran mineral halus (telah mengalami proses crushing) yang dicampur dengan air dan zat pembuih. Butiran mineral halus akan terbawa gelembung udara ke permukaan, sehingga terpisahkan dengan materi pengotor (gangue) yang tinggal dalam air (tertinggal pada bagian bawah tank penampung). Pengikatan butiran bijih akan semakin efektif apabila ditambahkan suatu zat collector.





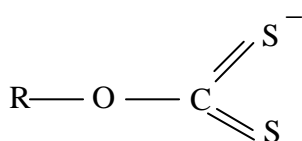
Gambar-5 Pemisahan Dengan pengapungan Buih

Prinsip dasar pengikatan butiran bijih oleh gelembung udara berbuih melalui molekul collector adalah :

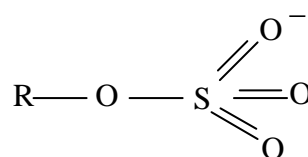
- Butiran zat yang mempunyai permukaan hidrofilik akan terikat air sehingga akan tinggal pada dasar tank penampung.
- Butiran zat yang mempunyai permukaan non-polar atau hidrofob akan ditolak air , jika ukuran butirannya tidak besar, maka akan naik ke permukaan dan terikat gelembung udara.

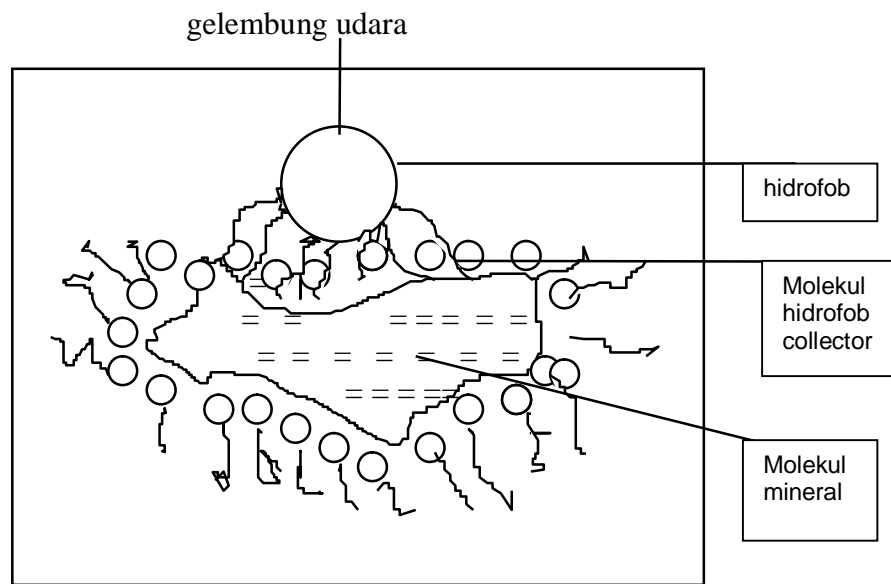
Kebanyakan mineral terdiri dari ion yang mempunyai permukaan hidrofil, sehingga partikel tersebut dapat diikat air. Dengan penambahan zat collector, permukaan mineral yang terikat molekul air akan terlepas dan akan berubah menjadi hidrofob. Dengan demikian ujung molekul hidrofob dari collector akan terikat molekul hidrofob dari gelembung, sehingga mineral (bijih) dapat diapungkan. Molekul collector mempunyai struktur yang mirip dengan detergen. Salah satu macam zat collector yang sering dipakai untuk pemisahan mineral sulfida adalah Xanthate.

Struktur Xanthate



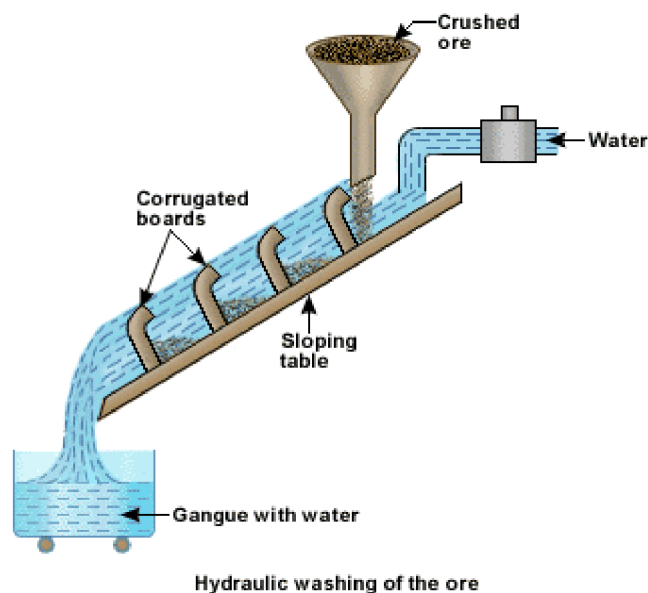
Struktur sulfonat





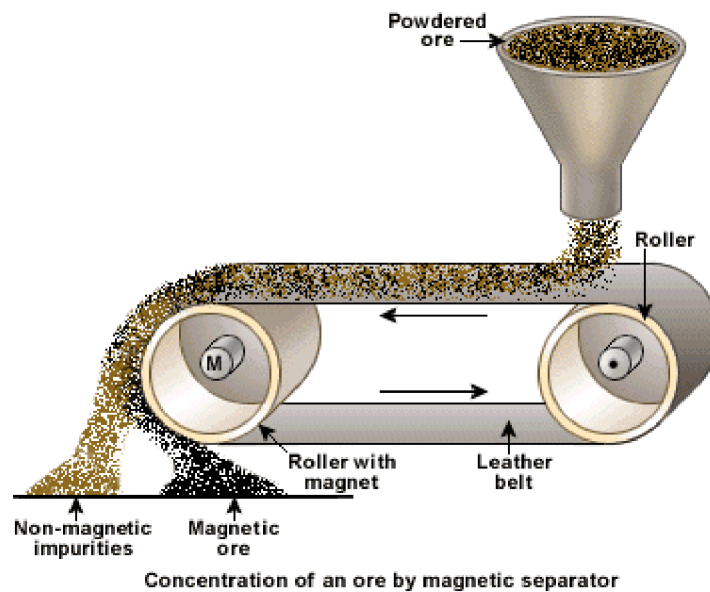
Gambar-6 Molekul mineral yang dilapisi molekul collector menjadi terikat gelembung udara

Pemisahan gaya berat (gravity separation), adalah proses pemisahan mineral yang didasarkan atas perbedaan massa jenis antara partikel bijih dan partikel pengotor. Teknik pengejaannya adalah dengan cara menghamburkan butiran mineral pada bidang miring yang dihembusi uap air, sehingga partikel mineral yang lebih berat akan terkumpul pada bagian bawah tempat penampungan. Metode ini sering dipakai pada pemisahan cassiterit ( $\text{SnO}_2$ ) dari pengotor (gangue), pemisahan emas atau perak dari pasir.



Gambar-7 Pemisahan Gaya Berat

Pemisahan magnetik (magnetic separation), adalah proses pemisahan dengan dasar apabila mineral memiliki sifat feromagnetik. Teknik pengejerjaannya adalah dengan mengalirkan serbuk mineral secara vertikal terhadap medan magnet yang bergerak secara horizontal. Dengan demikian materi yang tidak tertarik magnet akan terpisahkan dari materi yang memiliki sifat feromagnet. Metode ini sering dilakukan untuk memisahkan mineral magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) dari pengotor, kromit  $\text{Fe}(\text{CrO}_2)_2$  dari silikat, rutil ( $\text{TiO}_2$ ) dari apatit  $\text{CaF}_2 \cdot 3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ , wolframit  $\text{FeWO}_4$  dari cassiterit  $\text{SnO}_2$ , Zirkon  $\text{ZrSiO}_4$ , pirolisit  $\text{MnO}_2$  dari pengotor.



Gambar 8 Pemisahan Magnetik Bijih dan Pengotor

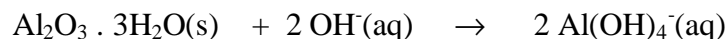
Pemisahan pencairan (liquation separation), adalah proses pemisahan yang dilakukan dengan cara memanaskan mineral di atas titik leleh logam, sehingga cairan logam akan terpisahkan dari pengotor. Cara ini biasa dilakukan untuk memperoleh bismut atau tembaga.

Pemisahan amalgam (amalgams separation), adalah proses pemisahan didasarkan atas kelarutan logam dari mineral dalam raksa. Logam yang pemisahannya dilakukan dengan cara ini adalah Ag dan Au. Untuk melepaskan logam Ag atau Au dari amalgam dilakukan dengan proses detilasi.

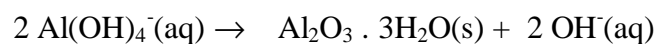
Proses pelindian (leaching) adalah proses pemekatan kimiawi untuk melepaskan pengotor bijih dari suatu mineral dengan cara pelarutan dalam reagen tertentu. Misalnya  $H_2SO_4$  digunakan untuk melindi oksida Zn dan Ni. Natrium hidroksida digunakan untuk melindi aluminium oksida dari bijih bauksit. Materi tidak larut sebagai pengotor dipisahkan dengan cara penyaringan (filtration), sedangkan larutan ion logam dipadatkan melalui cara pengkristalan seperti pada ekstraksi Al, atau dengan pengendapan (menambahkan ion tertentu agar membentuk senyawa tidak larut. Bahkan logam tertentu seperti emas dapat diperoleh secara langsung melalui reduksi larutan hasil lindiannya, sedangkan untuk memperoleh Zn dilakukan dengan mengelektrolisis larutan lindiannya.

- Pelindian Aluminium Oksida (alumina)

Bauksit mengandung  $Al_2O_3 \cdot 3H_2O$ , besi (III) oksida  $Fe_2O_3$ , silika  $SiO_2$ , dan tanah liat (clay). Serbuk bauksit dilindi dengan NaOH pada suhu 150 -170 °C dan tekanan 5 -10 atm sehingga terjadi reaksi :



Silikat dan tanah liat mengendap sebagai natrium aluminium silikat. Demikian pula besi (III) oksida tidak larut dan membentuk lumpur merah (red mud) di bagian bawah wadah tempat mereaksikan. Semua endapan dipisahkan melalui penyaringan. Dengan pendinginan, larutan aluminat akan mengendap sebagai aluminium oksida hidrat.



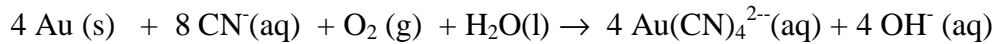
Setelah dilakukan pencucian, dan penyaringan. Alumina hidrat dipanaskan sampai 1200 °C, maka dihasilkanlah alumina dengan kemurnian 99,5%.



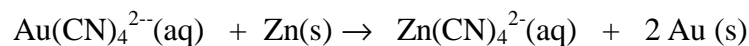
Untuk memperoleh Al dilakukan dengan elektrolisis dalam kriolit.

- Pelindian emas :

Emas dilindi dengan larutan NaCN yang dialiri oksigen,

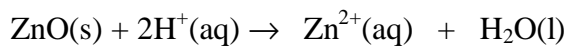


pengotor dipisahkan melalui penyaringan, dan seng ditambahkan untuk mendesak emas dari larutan.

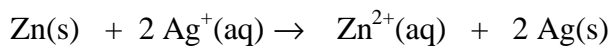
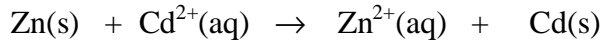


- Pelindian seng oksida :

Seng oksida sebagai hasil pemanggangan seng sulfida dilindi dengan asam sulfat encer.



Untuk menghilangkan logam-logam pengotor seperti Ag dan Cd, ke dalam larutan perlu ditambahkan serbuk seng.

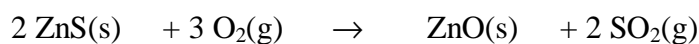


Untuk mendapatkan Zn dilakukan dengan elektrolisis.

Proses pemanggangan (roasting), adalah proses pemekatan bijih melalui pemanasan bijih yang disertai pengontrolan jumlah udara (oksigen).

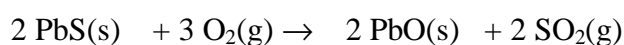
Misalnya :

- Pengubahan bijih sulfida menjadi oksida :

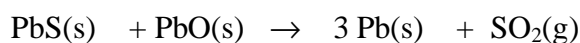


melalui tahap ini pengotor As dapat dihilangkan.

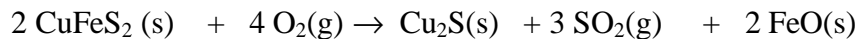
- Pengubahan bijih sulfida secara parsial menjadi oksida :



galena



- Perubahan sulfida menjadi sulfida yang lebih meningkat kadarnya :  
Semula dalam bijih  $\text{CuFeS}_2$  terdapat kadar Cu sebanyak 0,5 - 5%, setelah dilakukan pemanggangan maka kadar Cu dalam  $\text{Cu}_2\text{S}$  meningkat menjadi 25-30%.

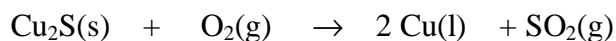


### **Proses Reduksi**

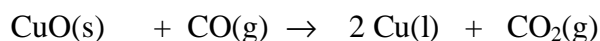
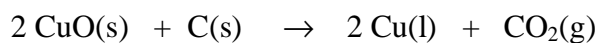
Ada dua jenis reduksi senyawa logam, yaitu reduksi kimia dan reduksi elektrolitik. Kita ketahui bahwa kereaktifan logam menentukan sekali di dalam memilih metode yang akan digunakan. Senyawa-senyawa dari logam dengan kereaktifan rendah kebanyakan mudah direduksi. Sebaliknya senyawa-senyawa dari logam sangat reaktif sukar direduksi.

### **Reduksi kimia senyawa logam**

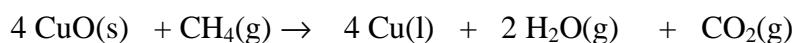
Ketika sulfida-sulfida dari beberapa logam kurang reaktif dipanaskan, terjadilah proses reduksi. Ion sulfida akan diubah menjadi belerang dioksida. Misalnya,



Ekstraksi logam pada zaman dahulu dimulai dengan menggunakan bara arang sebagai reduktornya. Karbon dan karbon monoksida ( $\text{CO}$ ), mempunyai kemampuan mereduksi beberapa oksida logam menjadi logam. Misalnya ,



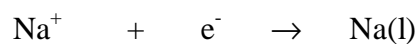
Gas netral seperti metana ( $\text{CH}_4$ ), dapat juga digunakan untuk mereduksi tembaga (II) oksida panas menjadi logam tembaga.



Namun perlu diingat tidak semua senyawa logam dapat direduksi oleh C atau CH<sub>4</sub>.

### **Reduksi elektrolitik senyawa logam**

Logam-logam dapat diperoleh sebagai produk katode selama proses elektrolisis lelehan senyawa ionik. Misalnya, produksi Na dalam cell Down elektrolitnya adalah menggunakan campuran lelehan natrium klorida dan kalsium klorida.



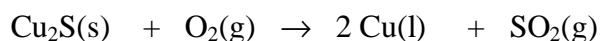
(lelehan garam)

Energi yang diperlukan suatu produksi untuk mendapatkan lelehan elektrolit memakan biaya besar. Karena itu alternatif elektrolit yang digunakan adalah berupa larutannya. Misalnya tembaga adalah merupakan produk katode di dalam larutan CuSO<sub>4</sub>.

Deret kereaktifan logam memberikan dasar dalam melakukan pereduksian senyawa logam. Reduksi kimia umumnya cocok untuk logam-logam berkereaktifan rendah, sedangkan metode elektrolitik dapat digunakan untuk logam-logam pada umumnya. Dimana pemilihan reduksi kimia atau reduksi elektrolitik, pertimbangan ekonomis memberikan keputusan dalam memilih metode tersebut.

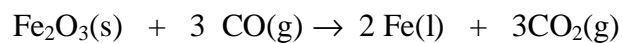
Praktek yang dilakukan di dalam industri menyimpulkan :

Sulfida-sulfida logam yang dalam deret kereaktifannya rendah dapat direduksi dengan pemanasan kuat dalam udara. Misalnya tembaga(I) sulfida Cu<sub>2</sub>S, nikel(II) sulfida, NiS, dan raksa(II) sulfida HgS. Ion-ion sulfida adalah reduktor, sehingga dioksidasi menjadi belerang dioksida. Pada contoh berikut, ion tembaga (I) dan oksigen direduksi.

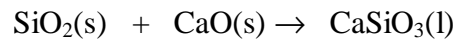


Reaksi yang terjadi ini disebut pemanggangan (roasting) sekaligus peleburan (smelting). Oksida-oksida logam yang memiliki posisi rendah sampai menengah pada deret kereaktifan logam dapat direduksi dengan menggunakan kokas pada

tanur. Oksida Fe, Pb, dan Sn direduksi dengan cara ini. Ion seng, tembaga, dan nikel direduksi secara elektrolitik pada katode dari larutan garamnya. **Peleburan** (smelting) dimaksudkan adalah proses reduksi bijih pada suhu tinggi hingga mendapatkan material lelehan. Produk reduksi selama proses pelelehan disebut **matte**. Matte umumnya berupa campuran sulfida, atau logam dan sulfida, dimana persentase logamnya meningkat sebagai hasil pelelehan. Contoh lainnya adalah :



Sebagai pengotor (gangue) pada bijih besi ini adalah silikat  $\text{SiO}_2$ , dan untuk menghilangkannya diberikan zat penambah (flux) yaitu  $\text{CaO}(\text{s})$ .



Ion-ion kebanyakan logam reaktif seperti Na, K, Ca, Mg dan Al, harus direduksi secara elektrolitik dari lelehan senyawa atau campuran senyawanya. Ion-ion ini tidak dapat dielektrolisis dari larutannya karena air yang akan mengalami reduksi pada katode.

### **Pemurnian**

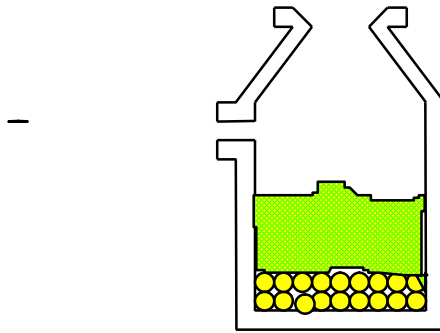
Pemurnian (refining) adalah suatu proses untuk merubah logam kotor menjadi logam dengan kemurnian tinggi. Ada beberapa cara yang digunakan untuk melakukan pemurnian logam, yaitu : **pelelehan** (fusion), **destilasi**, **kristalisasi**, **elektrolisis**, **proses Parkes** , **proses Van Arkel** (vapour phase refining), **zone-refining**, **proses Mond** (purification via the volatile carbonyl compound), dan **proses Bassemer** (open hearth process).

### **Pemurnian dengan pelelehan (fusion)**

Proses ini biasanya dipakai untuk memurnikan logam Sn, Pb dan Bi. Batang logam kotor ditempatkan dalam tungku yang dipanaskan pada suhu di atas titik leleh logam. Lelehan logam murni ada di bagian atas, sedangkan pengotor berada pada bagian bawah. Untuk memisahkan lelehan logam murni dari pengotor dilakukan



dengan memiringkan tungku sehingga lelehan logam murni mengalir ke celah samping tungku.



Gambar-9 Pemurnian Cara Pelelehan

### **Pemurnian dengan destilasi**

Logam-logam mudah menguap dapat dimurnikan dengan destilasi. Misalnya Hg, pemisahan Zn-Cd-Pb dengan destilasi fraksional. terpisahkan dari yang satu dengan yang lainnya.

### **Pemurnian dengan kristalisasi**

Metode ini banyak dilakukan untuk memurnikan logam-logam lantanida melalui garam rangkapnya dengan kalium dan natrium. Demikian juga untuk pemisahan Pt dan Ir melalui amonium heksakloroplatinat dan iridiat.

### **Pemurnian dengan elektrolisis**

Sel elektrolitik yang dipakai harus terbuat dari anode logam kotor (logam yang akan dimurnikan), sedangkan katode terbuat dari logam murni yang dilapisi lapisan tipis grafit agar logam murni yang dihasilkan mudah dilepas, sedangkan elektrolit yang digunakan adalah larutan garam dari logam yang akan dimurnikan. Selama elektrolisis berlangsung logam kotor sebagai anode akan larut, sedangkan logam murni akan diendapkan pada katode. Pemurnian dengan cara ini hanyalah dapat

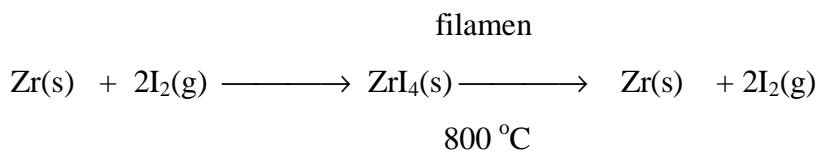
dilakukan untuk logam-logam yang keelektropositifannya rendah seperti Cu, Sn, Pb, Au, Zn, Cr, dan Ni. Jadi metode ini digunakan untuk logam yang tidak bereaksi dengan air, mudah dioksidasi pada anode, dan mudah direduksi pada katode.

### **Pemurnian proses Parkes**

Proses ini digunakan untuk pemurnian logam Pb, juga pada pemekatan logam Ag. Sekitar 1-2% Zn ditambahkan pada lelehan Pb yang mengandung pengotor Ag. Perak lebih mudah larut dalam seng, sedangkan Pb tidak larut. Dengan demikian logam Pb murni mudah dipisahkan.

### **Pemurnian proses Van Arkel**

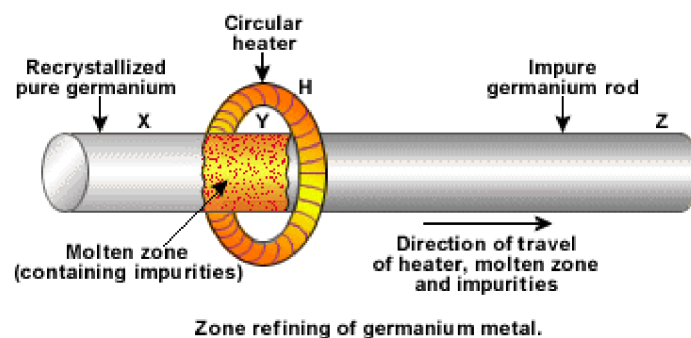
Proses ini disebut juga pemurnian fase uap. Proses ini dilakukan untuk halida mudah menguap. Halida dimurnikan melalui destilasi fraksional, halida tersebut mengurai menjadi logam dan halogen pada suhu tinggi. Misalnya



Logam-logam Ti, Hf, Zr, V, W, Si dan Be dimurnikan dengan cara ini.

### **Pemurnian dengan zone-refining**

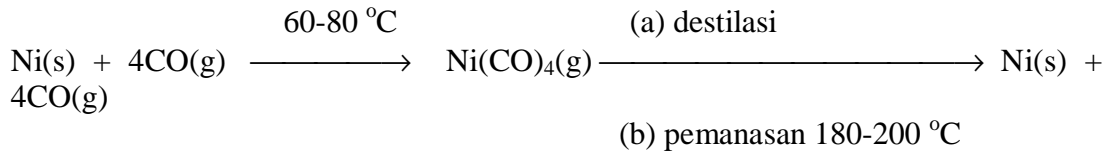
Metode ini digunakan untuk memperoleh unsur yang kemurniannya sangat tinggi seperti semikonduktor Si, Ge, dan Ga. Sirkulasi panas dipasang pada batang logam kotor, kemudian digerakan secara lambat. Logam murni akan mengkristal di sebelah samping lelehan logam, dan pengotor tersebar di dalam zone lelehan.



Gambar-9 Pemurnian Cara Zone Refining

**Pemurnian proses Mond**

Pemurnian cara ini disebut juga pemurnian melalui senyawa mudah menguap karbonil. Prinsipnya sama dengan metode Van Arkel tetapi cara ini hanya digunakan untuk Ni.



Nikel kotor direaksikan dengan CO pada suhu 60-80 °C. Nikel bereaksi membentuk gas nikel karbonil, dan pengotor tertinggal sebagai zat padat. Nikel murni diperoleh dengan pemanasan gas karbonil pada suhu 180-200 °C.

**Pemurnian proses Bassemer**

Proses Bassemen disebut juga proses tungku terbuka (open hearth process). Karbon dari kokas digunakan sebagai pereduksi. Silikon, fosfor, dan belerang dari bijih dioksidasi dan menguap sebagai terak (slag) dari besi. Di dalam proses bassemer besi mentah (pig iron) dari proses tanur tinggi diubah menjadi butiran (pelet). Udara dialirkan melalui lelehan yaitu untuk mengoksidasi pengotor. Proses dilangsungkan pada keadaan cepat (10-15 menit)

Tabel 6  
Tabel lengkap Ekstraksi Logam

Unsur	Sumber	Metode Ekstraksi	Catatan
Hidrogen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tersebar sebagai penyusun air dan senyawa lain</li> </ul>	<u>Skala kecil</u> : Zn + asam <u>Skala besar</u> : (a) $2\text{H}_2\text{O} + \text{C} \rightarrow \text{CO}_2 + 2\text{H}_2$ (pada 1273K) (b) $\text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO} + 3\text{H}_2$ (pada 1373K) (c) Elektrolisis air	

		(d) $4\text{H}_2\text{O} + \text{Fe (uap)}$ $\text{Fe}_3\text{O}_4 + 4\text{H}_2$	
Litium	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Spodumene : <math>\text{LiAl}(\text{SiO}_3)_2</math></li> <li>• Lepidolite : (lithia mica)</li> </ul>	Elektrolisis lelehan $\text{LiCl/KCl}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Logam-logam elektro-positif golongan IA.</li> </ul>
Natrium	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Garam batu : <math>\text{NaCl}</math></li> <li>• Feldspar : <math>\text{NaAlSi}_3\text{O}_8</math></li> <li>• Sendawa Chili : <math>\text{NaNO}_3</math></li> <li>• Boraks : <math>\text{NaB}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}</math></li> </ul>	Elektrolisis lelehan $\text{NaOH}$ atau $\text{NaCl/CaCl}_2$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Garam-garamnya dari asam kuat larut dalam air.</li> <li>• Sebagai kation dalam batuan aluminosilikat.</li> </ul>
Kalium	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Carnallite : <math>\text{KCl} \cdot \text{MgCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}</math></li> <li>• Berbagai Aminosilikat</li> <li>• Sendawa (saltpetre) : <math>\text{KNO}_3</math></li> </ul>	Elektrolisis lelehan $\text{KCl/CaCl}_2$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kereaktifannya tinggi, sehingga dalam ekstraksi logamnya perlu dilakukan dalam kondisi anhidros.</li> </ul>
Rubidium	Berhubungan dengan K dan Li	Untuk Rb dan Cs dilakukan dengan pendesakan kloridanya dengan kalsium : $2\text{RbCl} + \text{Ca} \rightarrow 2\text{Rb} + \text{CaCl}_2$	
Cesium	Pollucite, cesium aluminium silikat		
Berilium	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Beryl : <math>3\text{BeO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_3</math></li> <li>• Chrysoberyl : <math>\text{BeO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3</math></li> </ul>	Elektrolisis lelehan $\text{BeF}_2/\text{NaF}$ atau mereduksi $\text{BeF}_2$ dengan Mg	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Be merupakan unsur yang unik di dalam golongan IIA berada sebagai campuran oksida</li> </ul>
Magnesium	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Carnallite: <math>\text{KCl} \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}</math></li> <li>• Magnesite : <math>\text{MgCO}_3</math></li> <li>• Spinel : <math>\text{MgAl}_2\text{O}_4</math></li> <li>• Olivine : <math>\text{Mg}_2\text{SiO}_4</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elektrolisis lelehan <math>\text{KCl/MgCl}_2</math></li> <li>• Reduksi <math>\text{MgO}</math> dengan C</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Logam-logam yang lebih elektropositif dari golongan IIA.</li> <li>• Berada sebagai senyawa silikat dan garam-garam yang kelarutannya kecil.</li> </ul>
Kalsium	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dolomit : <math>\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3</math></li> <li>• Batu gamping : <math>\text{CaCO}_3</math></li> <li>• Gips : <math>\text{CaSO}_4</math></li> </ul>	Elektrolisis lelehan $\text{CaCl}_2/\text{CaF}_2$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reduksi dengan C hanya dilakukan untuk</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fluorspar : <math>\text{CaF}_2</math></li> <li>• Apatit : <math>\text{CaF}_2 \cdot 3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2</math></li> </ul>		menghasilkan Mg, sedang-kan untuk logam alkali
Stronsium	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Strontianite : <math>\text{SrCO}_3</math></li> <li>• Celestine : <math>\text{SrSO}_4</math></li> </ul>	• Elektrolisis lelehan halida	tanah yang lebih aktif akan menghasilkan karbida.
Barium	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Witherite : <math>\text{BaCO}_3</math></li> <li>• Barytes : <math>\text{BaSO}_4</math></li> </ul>	• Reduksi oksida dengan Al	
Boron	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Boraks : <math>\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}</math></li> <li>• Colemanite : <math>\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 5\text{H}_2\text{O}</math></li> </ul>	Reduksi termal $\text{B}_2\text{O}_3$ dengan Na, Mg, Al	Keunikan unsur golongan IIIA yang berada sebagai anion
Aluminium	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bauksit : <math>\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}</math></li> <li>• Kriolit : <math>\text{Na}_3\text{AlF}_6</math></li> <li>• Batuan aluminosilikat</li> </ul>	Reduksi elektrolitik $\text{Al}_2\text{O}_3$ yang dilarutkan dalam lelehan kriolit	Logam-logam golongan IIIB berada sebagai silikat dan fosfat. Sebagai kontraksi lantanida yang mempunyai jari-jari ionik yang sama dengan lantanoida berat.
Skandium Yttrium dan logam tanah jarang berat Eropium - Lutesium	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Thorveitite : <math>\text{Sc}_2\text{Si}_2\text{O}_7</math></li> <li>• Gadolinite (siliikat hitam dengan besi)</li> <li>• Xenotime (fosfat)</li> <li>• Yttrotantalite</li> <li>• Samarskite</li> <li>• Fergusonite (kompleks niobate dan tantalate)</li> </ul>	Elektrolisis lelehan klorida	
Cerium dan logam tanah jarang ringan Lantanum - Samarum	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Monazite : fosfat</li> <li>• Cerite : silikat hidrat</li> <li>• Orthite : silika kompleks</li> </ul>	Elektrolisis lelehan klorida	
Torium	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Monazite :</li> <li>• Thorite : <math>\text{ThO}_2</math></li> </ul>	Reduksi $\text{ThO}_2$ dengan Ca	
Uranium	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pitchblende : <math>\text{U}_3\text{O}_8</math></li> <li>• Carnolite : <math>\text{K}_2\text{O} \cdot 2\text{UO}_3 \cdot \text{V}_2\text{O}_5</math></li> </ul>	Reduksi $\text{UF}_4$ dengan Ca atau Mg	
Karbon	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Intan, grafit</li> <li>• Dolomit, kapur</li> <li>• Batu gamping, batu bara</li> </ul>	Destilasi destruktif batu bara	
Silikon	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kuarsa : <math>\text{SiO}_2</math></li> </ul>	• Reduksi elektro	Merupakan unsur

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Beberapa silikat dan alumino - silikat</li> </ul>	termal $\text{SiO}_2$ <ul style="list-style-type: none"> <li>• Reduksi <math>\text{SiCl}_4</math> oleh Zn atau hidrogen</li> </ul>	dengan kelimpahan terbanyak diikuti oleh oksigen
Titanium	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ilmenite : <math>\text{TiO}_2 \cdot \text{FeO}</math></li> <li>• Rutile : <math>\text{TiO}_2</math></li> </ul>	Reduksi $\text{TiCl}_4$ oleh Mg (proses Kroll) atau Na	Logam-logam golongan IVB mempunyai afinitas sangat
Zirkonium	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Baddeleyite : <math>\text{ZrO}_2</math></li> <li>• Zircon : <math>\text{ZrSiO}_4</math></li> </ul>	Reduksi $\text{ZrCl}_4$ oleh Mg	tinggi dengan oksigen. Perlu diubah menjadi halida
Hafnium	Bersamaan dengan Zr : biasanya Hf terdapat jika kandungan Zr 1-2%	As untuk Zr	kemudian direduksi di dalam atmosfer. Hf sangat mirip dengan Zr karena kontraksi lantanida
Vanadium	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vanadinite : <math>3\text{Pb}_3(\text{VO}_4)_2 \cdot \text{PbCl}_2</math></li> <li>• Carnolite :</li> <li>• Patronite : sulfida</li> </ul>	Reduksi aluminotermal dari $\text{V}_2\text{O}_5$	Logam-logam golongan VB mempunyai afinitas lebih kecil terhadap oksigen daripada logam-logam
Niobium	Niobite : $\text{Fe}(\text{NbO}_3)_2$ mengandung Ta	Reduksi $\text{K}_2\text{NbF}_7$ atau $\text{K}_2\text{TaF}_7$ dengan Na	transisi golongan selanjutnya. Hanya logam V ditemukan
Tantalum	Tantalite : $\text{Fe}(\text{TaO}_3)_2$ mengandung Nb	Elektrolisis lelehan $\text{K}_2\text{TaF}_7$ $\text{Ta}_2\text{O}_5 + 5\text{TaC} \rightarrow 7\text{Ta} + 5\text{CO}$	sebagai sulfida
Krom	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Chromite : <math>\text{FeO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3</math></li> <li>• Crocoisite : <math>\text{PbCrO}_4</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reduksi <math>\text{Cr}_2\text{O}_3</math> oleh Al atau Si</li> <li>• Elektrolisis larutan larutan garam Cr(III)</li> </ul>	Logam-logam golongan VIB ini terdapat sebagai oksida campuran atau sebagai bagian oksianion
Molibden	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Molybdenite : <math>\text{MoS}_2</math></li> <li>• Wulfenite : <math>\text{PbMoO}_4</math></li> </ul>	Reduksi $\text{MoO}_3$ oleh hidrogen	$\text{MoS}_2$ merupakan pengecualian
Wolfram	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wolframite : <math>\text{FeWO}_4 / \text{MnWO}_4</math></li> <li>• Scheelite : <math>\text{CaWO}_4</math></li> <li>• Tungstite : <math>\text{WO}_3</math></li> </ul>	Reduksi $\text{WO}_3$ oleh hidrogen	Metoda ekstraksi bijih-bijih oksida awalnya melibatkan pemanggangan dengan $\text{Na}_2\text{CO}_3$ untuk membentuk garam Na yang larut dalam air
Mangan	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pyrolusite : <math>\text{MnO}_2</math></li> <li>• Hausmannite : <math>\text{Mn}_3\text{O}_4</math></li> </ul>	Reduksi $\text{Mn}_3\text{O}_4$ oleh Al atau C	Logam dalam golongan VIIB hanya Mn merupakan logam
Teknesium	Sedikit di alam	Reduksi amonium	komersial yang penting

	biasanya diisolasi dari hasil pemecahan inti	perteknat oleh H <sub>2</sub>	
Renium	Melibdenite mengandung 20 ppm Re dan sumber logam yang mahal	Reduksi amonium perrhenat oleh H <sub>2</sub>	Ekstrasi besi dan pengubahan menjadi baja merupakan proses metalurgi sangat penting Kobalt dan nikel umumnya lebih sedikit dari besi dan biasa ditemukan sebagai low-grade-ors
Besi	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Magnetite : Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub></li> <li>• Haematite : Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></li> <li>• Firit : FeS<sub>2</sub></li> </ul>	Reduksi oksida oleh CO pada tanur tinggi	
Kobalt	Bergabung dengan Cu dan Ni sebagai sulfida dan arsenida Smaltite : CoAs <sub>2</sub>	Reduksi oksida oleh C atau gas air	
Nikel	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Terdapat dalam pentlandite : besi sulfida mengandung sampai 3% Ni</li> <li>• Garnierite : silika Mg dan Ni yang dihasilkan oleh pencuacaan</li> <li>• Millerite : NiS</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reduksi oksida dengan C, dilanjutkan dengan pemurnian elektrolitik</li> <li>• Proses karbonil Mond  <math display="block">\text{Ni} + \text{CO} \xrightarrow{453\text{K}} \text{Ni}(\text{CO})_4 \xrightarrow{333\text{K}} \text{Ni} + \text{CO}</math> </li> </ul>	
Rutenium Rodium Paladium Osmium Iridium Platinum	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sebagai logam : aliasi osmium.</li> <li>• 0,5 ppm dalam besi sulfida yang mengandung nikel (sumber utama).</li> <li>• Bijih langka : Braggite : PdS Sperrylite : PtAs<sub>2</sub></li> </ul>	Residu dari proses nikel karbonil, dibuat senyawa murninya. Kemudian dilakukan penguraian secara termal : PdCl <sub>2</sub> (NH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> menjadi Pd, dan (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> PtCl <sub>6</sub> menjadi Pt	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Energi bebas pembentukan senyawa platinum adalah rendah.</li> <li>• Unsur-unsur ini berada dalam keadaan bebas sebagai logamnya atau dalam bentuk senyawa yang mudah direduksi.</li> </ul>
Tembaga	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Copper pyrites : CuFeS<sub>2</sub></li> <li>• Cuprite : Cu<sub>2</sub>O</li> <li>• Malachite: CuCO<sub>3</sub> .Cu(OH)<sub>2</sub></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Oksidasi parsial bijih sulfida :  <math display="block">2\text{Cu}_2\text{O} + \text{Cu}_2\text{S} \rightarrow 6\text{Cu} + \text{SO}_2</math> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ditemukan dalam bentuk logam bebas.</li> <li>• Ekstraksi dari bijih sulfida</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Logam bebas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pelindian (leaching) dengan <math>H_2SO_4</math> diikuti elektrolisis.</li> </ul>	<p>dilakukan dengan pyro- atau hydro- metalurgi.</p>
Perak	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Argentite : Silfide</li> <li>• Horn silver : <math>AgCl</math></li> <li>• Logam bebas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pelindian bijih sulfida dengan natrium sianida.</li> <li>• Pembentukan <math>Ag(CN)_2^-</math> kemudian Ag diendapkan dengan Zn</li> </ul>	
Emas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Logam bebas</li> <li>• Sedikit terdapat dalam bijih firit</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pelindian sianida seperti pada Ag</li> </ul>	
Seng	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Seng blende, wurtzite : <math>ZnS</math></li> <li>• Calamine : <math>ZnCO_3</math></li> </ul>	<p>Untuk Zn dan Cd, bijih sulfida dipanggang menjadi oksida kemudian direduksi dengan C.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bijih golongan IIB sebagian besar berada sebagai sulfida.</li> <li>• Logam-logam ini dengan mudah diekstraksi dari bijahnya.</li> </ul>
Kadmium	Terdapat dalam bijih seng dalam jumlah kecil	Elektrolisis $ZnSO_4$ untuk pembuatan Zn.	
Raksa	Cinnabar : $HgS$	Penguraian termal : $HgS + O_2 \rightarrow Hg + SO_2$	
Galium	Berada dalam seng blende dan bauksit dalam jumlah kecil.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dihasilkan pada ekstraksi Zn.</li> <li>• Elektrolisis bauksit yang dilindi alkali</li> </ul>	
Indium	Berada dalam seng blende dan cassiterite dalam jumlah kecil	In dan Tl diperoleh dengan mengelektrolisis atau reduksi kimia debu pembakaran firit	Tidak ada bijih logam golongan IIIA yang diketahui
Talium	Ditemukan di dalam firit		
Germanium	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Di dalam seng blende</li> <li>• Bijih jarang : kompleks sulfida, <math>4Ag_2S \cdot GeS_2</math></li> </ul>	Reduksi $GeO_2$ dengan $H_2$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Logam-logam golongan IVA ditemukan sebagai</li> </ul>



			sulfida, kecuali Sn.
Timah	Cassiterite : $\text{SnO}_2$	Reduksi $\text{SnO}_2$ dengan C	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pemurnian elektrolitik Sn dengan pelarut air adalah penting.</li> </ul>
Timbal	Galena : $\text{PbS}$	Pemanggangan sulfida menjadi oksida, kemudian direduksi dengan C	
Fosfor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Apatite : <math>\text{CaF}_2 \cdot 3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2</math></li> <li>• Chlorapatite : <math>\text{CaCl}_2 \cdot \text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2</math></li> </ul>	Reduksi arkus listrik oleh karbon dengan adanya $\text{SiO}_2$ (untuk membentuk kalsium silikat)	Bijih-bijih sulfida unsur berat golongan ini merupakan hal yang penting
Arsen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nickel glance : <math>\text{NiAsS}</math></li> <li>• Mispickel : <math>\text{FeAsS}</math></li> </ul>	Pemanggangan bijih tanpa ada udara	
Antimon	Stibnite : $\text{Sb}_2\text{S}_3$	Reduksi sulfida dengan besi	Merupakan contoh penting dari ekstraksi unsur dengan melakukan reduksi sulfida secara langsung
Bismut	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bismuth glance : <math>\text{Bi}_2\text{S}_3</math></li> <li>• Bismuthite : <math>\text{Bi}_2\text{O}_3</math></li> </ul>	Reduksi oksida oleh karbon	
Belerang	Sebagai unsur bebas Sebagai sulfida dan sulfat	Belerang bebas diubah melalui pelelehan endapan di bawah tanah kemudian ditekan ke permukaan oleh cairan panas (proses Frasch)	Kelimpahan belerang sangat banyak, sedangkan Se dan Te sedikit. Se dan Te dihasilkan dari proses lain pada pemurnian elektrolitik
Selenium	Ditemukan dalam bijih-bijih	Reduksi senyawanya dengan $\text{SO}_2$	Cu
Telurium	yang mengandung belerang		
Fluorin	Fluorspar : $\text{CaF}_2$ Kriolit : $\text{Na}_3\text{AlF}_6$	Elektrolisis campuran lelehan $\text{KF}/\text{HF}$	Halogen selalu ditemukan sebagai anion.
Klorin	Sebagai ion klorida dalam air laut. Sebagai padatan klorida	Elektrolisis air laut	Fluorin mempunyai keelektronegatifan tinggi dan reaktif, hanya dihasilkan dengan elektrolisis lelehan garam anhidros.
Bromin	Ditemukan dalam air	Pendesakan oleh klorin	Ekstraksi halogen

	laut dan garam	: $\text{MgBr}_2 + \text{Cl}_2 \rightarrow \text{MgCl}_2 + \text{Br}_2$	makin mudah pada unsur yang lebih berat (makin ke bawah dalam golongan)
Iodin	< 0,1 ppm dalam air laut tetapi banyak dalam rumput laut . Sebagai iodat $\text{NaIO}_3$ dalam chilea nitrate	Reduksi iodat dengan bisulfit	

### C. PENGOLAHAN UNSUR

#### *Pengolahan Aluminium*

Logam aluminium dan tembaga sangat diperlukan dalam kehidupan modern. Aluminium dan campurannya digunakan sebagai kawat listrik, perkakas, mesin mobil dan sebagainya. Tembaga dan paduannya digunakan sebagai kabel listrik, pipa, bejana, dan sebagainya.

Aluminium sangat berlimpah di alam. Kebanyakan terdapat dalam kulit bumi. Aluminium merupakan unsur terbanyak ketiga setelah oksigen dan silikon. Aluminium tidak ditemukan dalam keadaan bebas karena logam yang sangat reaktif. Bijih Aluminium ditemukan di kulit bumi sebagai bauksit  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$  dan Kriolit  $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ . Aluminium ditemukan juga dalam feldspar, mika, dan kaolin.

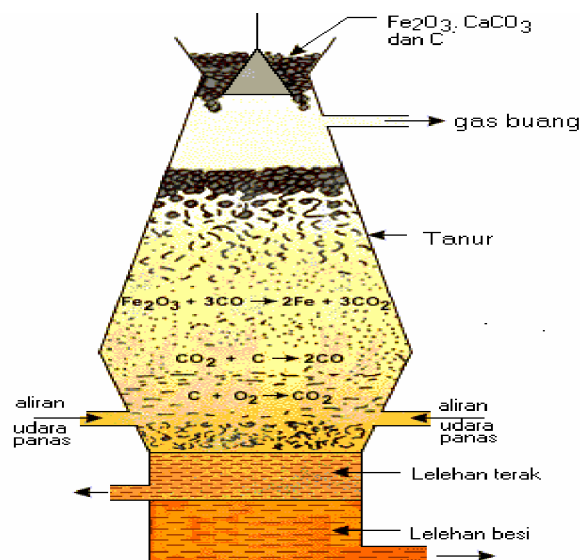
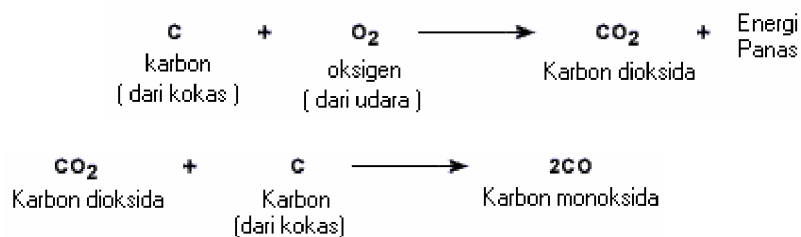
#### **Ekstraksi Aluminium dari bauksit**

Proses pemekatan bijih dilakukan dengan pemisahan kimia. Proses ini dikenal sebagai proses Bayer's. Bijih bauksit direaksikan dengan  $\text{NaOH}$  panas dan terbentuk natrium aluminat yang larut dalam air. Partikel pengganggu biasanya Fe dan Si yang tidak larut dalam  $\text{NaOH}$ . Natrium aluminat yang terbentuk dipisahkan dengan menambahkan air, kemudian disaring.



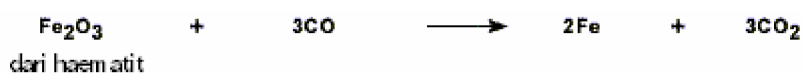


Bijih dipisahkan dengan pemecahan bijih menjadi partikel yang lebih kecil dan dicuci dengan air. Pasir, lempung merupakan partikel pengganggu yang harus dihilangkan kemudian bijih dipanaskan atau dikalsinasi sehingga terbentuk oksida logam murni. Kemudian direduksi dengan penambahan kokas. Secara umum pasir atau silikon dioksida sebagai pengotor, untuk menghilangkannya ditambahkan  $\text{CaCO}_3$  ( batu kapur) bersama kokas. Batu kapur dapat mereduksi  $\text{SiO}_2$ . Campuran bijih ditempatkan dalam suatu tanur dan udara panas dihembuskan dari bawah. Kokas dengan udara panas membentuk karbonmonoksida yang selanjutnya bertindak sebagai agen pereduksi. CO terbentuk melalui dua tahap dalam tanur.



Gambar 11 Tanur tinggi untuk ekstraksi besi dari hematit

Reduksi Fe (III) to Fe dilakukan melalui reaksi berikut :



Logam Fe adalah cairan keabuan yang mengalir dan terkumpul di bawah tanur.

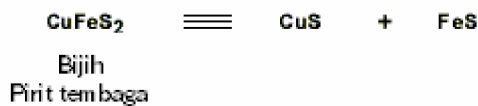
CaCO<sub>3</sub> ditambahkan dalam jumlah kecil bereaksi dalam tanur menjadi CaO. Batukapur disebut sebagai flux. CaO bereaksi dengan SiO<sub>2</sub> membentuk kalsium silikat yang berbentuk cairan gelas seperti terak yang dikumpulkan pada dasar tanur. terak mengapung diatas lelehan besi murni dan melindungi dari reoksidasi Fe.

Besi yang diperoleh dari tanur disebut sebagai besi tuang (*pig iron*) yang memiliki pengotor S, C, Si atau P. Proses pemurnian dilakukan dengan metoda oksidasi yang dilakukan dengan melewati udara panas pada besi tuang. Pengotor lebih mudah teroksidasi daripada besi. Selanjutnya pengotor membentuk CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> mudah terlepas melalui aliran gas buang.

**Sifat fisik besi** : Besi adalah logam putih kebiruan, permukaan yang nampak berwarna coklat menghasilkan karat. Kerapatan besi tinggi yaitu 7.86 gm/cc. Titik leleh 1539°C. Fe memiliki sifat magnetik yang kuat dan merupakan penghantar panas dan listrik yang baik.

### ***Pengolahan Tembaga***

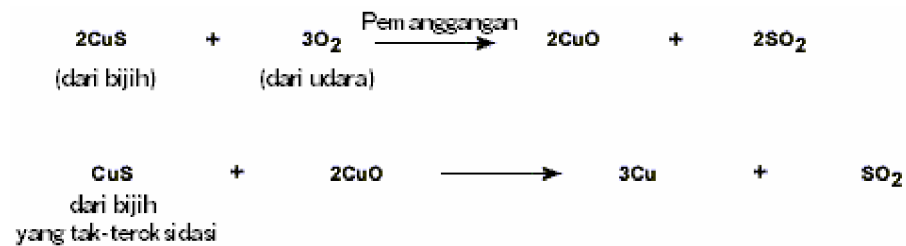
Tembaga adalah logam yang relatif tidak reaktif dan kadang ditemukan di alam dalam keadaan bebas. Bijih Cu membentuk senyawa oksida, sulfida dan karbonat. Bijih ditemukan sebagai : pirit tembaga (CuFeS<sub>2</sub>), Cu galena (Cu<sub>2</sub>S), kuprit (Cu<sub>2</sub>O), malasit [Cu(OH)<sub>2</sub>.CuCO<sub>3</sub>], dan azurit [Cu(OH)<sub>2</sub>.2CuCO<sub>3</sub>].



Bijih tembaga-besi sulfida(CuFeS<sub>2</sub>) adalah paling banyak di alam yang merupakan campuran besi sulfida dan tembaga sulfida.

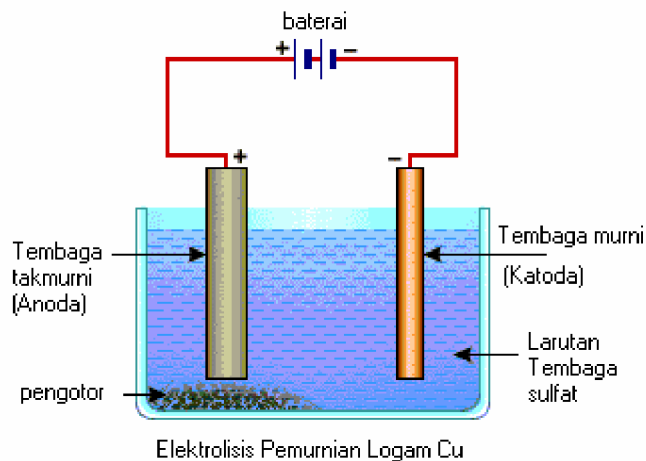
### **Ekstraksi Cu dari pirit**

Mineral tembaga dipisahkan dengan pemecahan bijih menjadi partikel lebih kecil. Teknik pengapungan buih digunakan dengan menambahkan minyak cemara kedalam tangki yang penuh dengan bubuk bijih dan air. Campuran diaduk dengan melewati udara bertekanan. Partikel sulfida muncul kepermukaan dengan buih. Pasir,lempung dan partikel pengganggu lainnya terpisah dari dasar tangki. Selanjutnya bijih dipanaskan dibakar dengan udara yang cukup sehingga air terpisah dan oksida logam murni tertinggal. Logam oksida kemudian direduksi dengan pemanasan tetapi tanpa adanya udara.



Proses diatas disebut Basemerisasi dari Cu. Logam Cu yang yang didapatkan berupa lelehan. Oksida sulfur ditiupkan melalui lelehan Cu dan lepuhan pada permukaan dan ini tersisa sebagai pengotor dalam ekstarksi logam Cu. Sehingga logam Cu perlu dimurnikan lebih lanjut dengan elektrolisis.

Dalam tangki elektrolisa larutan kupri sulfat diasamkan (+H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> encer) membentuk larutan electrolit. Cu batangan yang tidak murni digunakan sebagai anoda dengan menghubungkan ke terminal (+) dari batere. Satu lapisan tipis logam tembaga murni ditempatkan sebagai sel katoda. Terminal (-) dihubungkan ke katoda. Arus listrik dalam jumlah rendah dialirkan melalui sel. Atom-atom Cu dari anoda memasuki elektrolit. Tembaga dari anoda berubah menjadi tembaga sulfida. Sejumlah atom Cu yang sama dari larutan terdeposit pada katoda. Hal Ini akan menjaga konsentrasi larutan elektrolit tetap. Pengotor dari batangan anoda tertinggal di larutan atau terkumpul di bawah anoda. Pengotor tidak larut dalam elektrolit dan dinamakan lumpur anoda. Tembaga murni dipisahkan dari katoda. Anoda menjadi tipis sebagai hasil proses elektrolisis.



Gambar-12 Elektrolisis Pemurnian Logam Cu

### Sifat Fisik Tembaga

Cu logam yang berwarna coklat kemerahan. Permukaannya nampak pudar karena terbentuknya suatu lapisan oksida. Kerapatannya adalah 8.94 gm/cc. Titik leleh 1083°C. Cu mudah dibentuk dan sebagai penghantar panas dan listrik.

### *Pengolahan Non Logam*

Unsur nonlogam pada kulit bumi pada umumnya bersenyawa dengan unsur-unsur logam dalam bentuk oksida. Unsur nonlogam yang terbanyak adalah silikon. Fosfor dan sulfur juga ditemukan dalam jumlah yang besar dalam permukaan bumi. Silikon digunakan dalam pembuatan komponen elektronika seperti transistor, rangkaian terintegrasi (IC) dan lain-lain. Fosfor digunakan sebagai pupuk, dan lain-lain. Sulfur banyak digunakan dalam industri karet dan obat-obatan.

### *Silikon*

Silikon sebagian besar dipisahkan dari pasir atau  $\text{SiO}_2$  dengan metode oksidasi. Silikon yang diperoleh kemudian dimurnikan dengan metode *zone refining*. Silikon memiliki karakteristik sebagai semikonduktor dengan penambahan Boron atau Fosfor dalam jumlah yang kecil, banyak digunakan dalam industri elektronika.

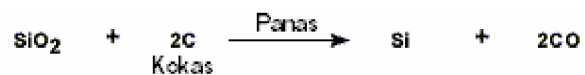
Silikon tidak ditemukan dalam keadaan bebas di alam, pada umumnya ditemukan sebagai pasir atau  $\text{SiO}_2$  atau logam silikat. Silikon ditemukan dalam berbagai jenis



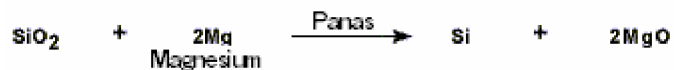
pasir atau logam silikat berikut yaitu : pasir, kuarsa, batu api, batu perhiasan, mika, dan feldspar ( $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ ).

### Ekstraksi silikon dari silikon dioksida

Silikon dioksida or  $\text{SiO}_2$  direduksi untuk memperoleh silikon murni dengan pereduksinya kokas. Bubuk  $\text{SiO}_2$  dicampur dengan kokas dan dipanaskan dalam tanur listrik. Reaksinya ditunjukkan sebagai berikut :



Bubuk Mg juga dapat digunakan sebagai pengganti kokas. Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut :



Jika diperlukan pemurnian lebih lanjut maka digunakan metode *zone refining*. Metode ini digunakan untuk memperoleh unsur yang kemurniannya sangat tinggi seperti semikonduktor Si, Ge, dan Ga. Sirkulasi panas dipasang pada batang logam kotor, kemudian digerakan secara lambat. Logam murni akan mengkristal di sebelah samping lelehan logam, dan pengotor tersebar di dalam zone lelehan

Sifat fisik silikon : Si berwarna abu-abu, keras, dan padatan yang berkilau dengan kerapatan rendah yaitu  $\sim 2.0\text{gm/cc}$ . Si memiliki titik leleh sekitar  $1410^\circ\text{C}$ . Si bersifat semikonduktor. Si membentuk ikatan kovalen dengan 4 atom Si lainnya. Strukturnya hampir mirip dengan struktur intan tapi tidak sekeras intan, karena atom Si lebih besar daripada atom karbon. Oleh karenanya jarak antar atom Si lebih lebih besar dari pada intan.

## DAFTAR PUSTAKA

Brady, James E., Holum, John R., 1994, **General of Chemistry, 5<sup>d</sup> Edition**, New York : John Wiley & Son.

Bodner, George M.,Pardue Harry L., 1995, **Chemistry an Experimental Science**, New York : John Wiley & Son second edition

Holtzclaw, Henry F. and Robinson, Holtzclaw. (1988). **College Chemistry with Qualitative Analysis**. Toronto : D.C. Health and Company, eighth edition.

Lee, J.D. (1994). **Concise Inorganic Chemistry**. London : Chapman & Hall

Malone, Leo J, 1994, **Basic Concepts of Chemistry, 4<sup>th</sup> Edition**, New York : John Wiley & Son.

Smith, William F. (1996). **Principles of Materials Science and Engineering**. Toronto : McGraw-Hill, Inc. 3<sup>rd</sup> ed.

Wulfsberg, Gary (1991) **Principles of Descriptive Inorganic Chemistry**. California : University Science Books.