

BUKU AJAR MINERALOGI



**Tri Winarno
Jenian Marin**

2020

BUKU AJAR
MINERALOGI

Tri Winarno

Jenian Marin



**LEMBAGA PENGEMBANGAN DAN PENJAMINAN
MUTU PENDIDIKAN
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG**

2020

BUKU AJAR
MINERALOGI

Disusun Oleh

Tri Winarno
Jenian Marin

Mata Kuliah	:	Mineralogi
SKS	:	3 SKS
Semester	:	1
Program Studi	:	Teknik Geologi
Fakultas	:	Teknik



165 hal + XV

ISBN 978-979-097-727-3



Revisi 0, Tahun 2020

Dicetak Oleh:
Tri Winarno
Jenian Marin

Isi di luar tanggung jawab percetakan
Diizinkan menyitir dan menggandakan isi buku ini dengan memberikan apresiasi sebagaimana kaidah yang berlaku

KATA PENGANTAR

Buku ini merupakan naskah lengkap dari materi pengajaran matakuliah Mineralogi untuk mahasiswa S1-Departemen Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Diponegoro. Salah satu tujuan pembelajaran di departemen ini adalah untuk menghasilkan lulusan yang profesional. Mineralogi termasuk salah satu dasar ilmu paling penting dalam mempelajari ilmu kebumian secara menyeluruh. Tidak hanya ahli mineralogi, ahli geologi secara umum akan memerlukan pemahaman tertentu mengenai mineralogi.

Menjawab tantangan kebutuhan ekonomi dan pembangunan di Indonesia yang makin meningkat, tentunya diperlukan sumber daya manusia yang memahami ilmu dasar ini untuk dapat berkontribusi di bidang pemanfaatan sumber daya geologi, terutama pertambangan mineral dan batuan.

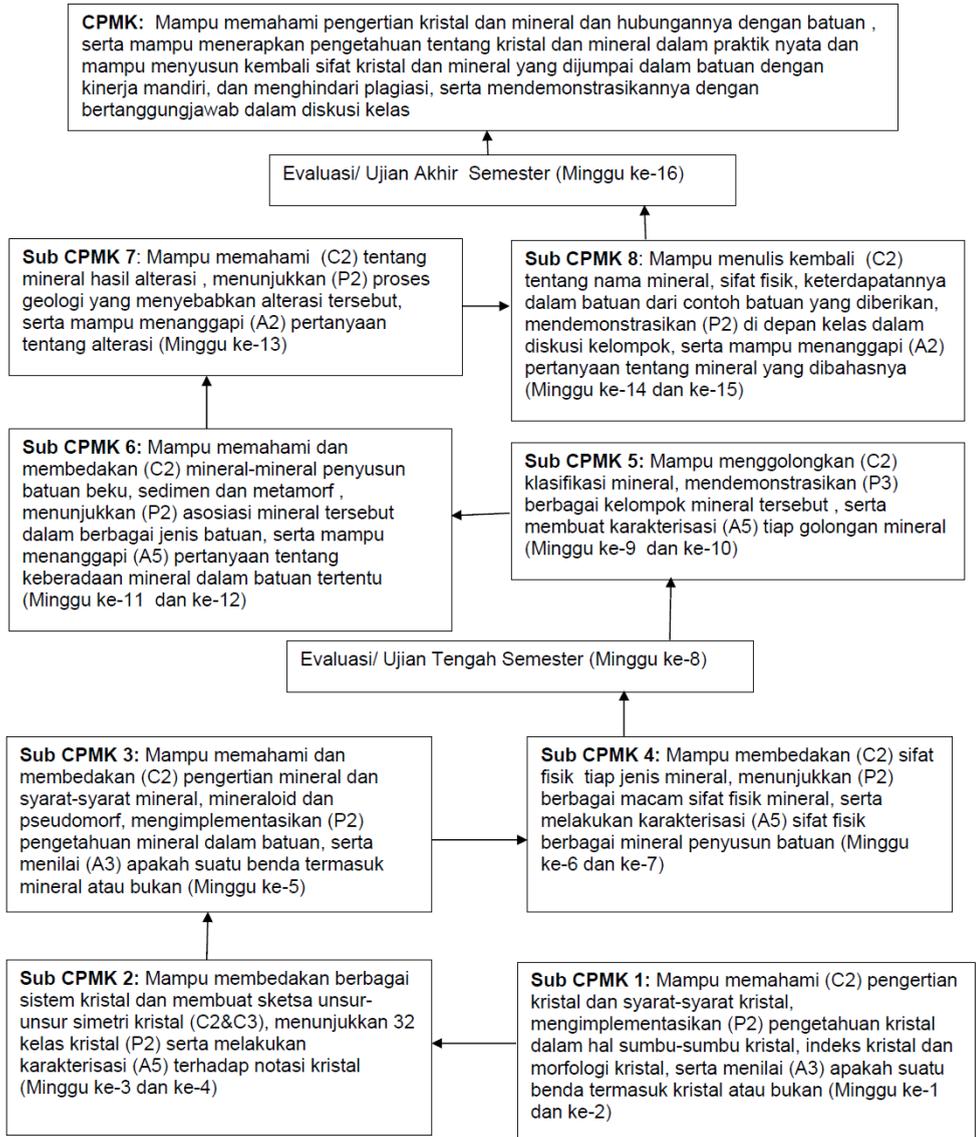
Buku ini disusun dengan runut dan komprehensif berdasarkan capaian pembelajaran matakuliah yang diinginkan. Secara garis besar, buku ini menjelaskan tentang konsep kristalografi dan simetri, sifat fisik mineral, kelompok mineral, mineral silikat, serta mineral dalam berbagai jenis batuan. Dengan materi tersebut, diharapkan buku ini dapat menjadi pustaka dasar bagi mahasiswa geologi tahun pertama yang mempelajari mineralogi, serta mendukung cabang ilmu geologi yang berkaitan. Masukan dari pembaca diharapkan untuk meningkatkan kualitas dan isi materi buku ini selanjutnya.

Semarang, Oktober 2020

Tri Winarno

Jenian Marin

ANALISIS PEMBELAJARAN



DAFTAR ISI

HALAMAN SAMBUL	i
HALAMAN JUDUL	ii
KATA PENGANTAR.....	iv
ANALISIS PEMBELAJARAN	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL	xiii
TINJAUAN MATA KULIAH	xiv
POKOK BAHASAN 1: KONSEP DASAR MINERALOGI.....	1
1.1 Pendahuluan	1
1.2 Penyajian	1
1.3 Penutup.....	8
DAFTAR PUSTAKA.....	9
SENARAI.....	10
POKOK BAHASAN 2: KRISTALOGRAFI	11
1.1 Pendahuluan	11
1.2 Penyajian	11
1.3 Penutup.....	19
DAFTAR PUSTAKA.....	20
SENARAI.....	21
POKOK BAHASAN 3: UNSUR SIMETRI KRISTAL.....	22
1.1 Pendahuluan	22
1.2 Penyajian	22
1.3 Penutup.....	28
DAFTAR PUSTAKA.....	29
SENARAI.....	30
POKOK BAHASAN 4: SISTEM DAN KELAS KRISTAL	31
1.1 Pendahuluan	31
1.2 Penyajian	31
1.3 Penutup.....	39
DAFTAR PUSTAKA.....	40
SENARAI.....	42
POKOK BAHASAN 5: SIFAT FISIK MINERAL.....	43
1.1 Pendahuluan	43
1.2 Penyajian	43
1.3 Penutup.....	59

DAFTAR PUSTAKA.....	60
SENARAI.....	61
POKOK BAHASAN 6: KELOMPOK MINERAL.....	62
1.1 Pendahuluan	62
1.2 Penyajian	62
1.3 Penutup.....	73
DAFTAR PUSTAKA.....	74
SENARAI.....	75
POKOK BAHASAN 7: MINERAL SILIKAT	76
1.1 Pendahuluan	76
1.2 Penyajian	76
1.3 Penutup.....	86
DAFTAR PUSTAKA.....	87
SENARAI.....	88
POKOK BAHASAN 8: MINERAL PENYUSUN BATUAN BEKU	89
1.1 Pendahuluan	89
1.2 Penyajian	89
1.3 Penutup.....	104
DAFTAR PUSTAKA.....	105
SENARAI.....	105
POKOK BAHASAN 9: MINERAL PENYUSUN BATUAN SEDIMEN KLASTIK	107
1.1 Pendahuluan	107
1.2 Penyajian	107
1.3 Penutup.....	113
DAFTAR PUSTAKA.....	114
SENARAI.....	115
POKOK BAHASAN 10: MINERAL PENYUSUN BATUAN SEDIMEN NON KLASTIK	116
1.1 Pendahuluan	116
1.2 Penyajian	116
1.3 Penutup.....	124
DAFTAR PUSTAKA.....	125
SENARAI.....	125
POKOK BAHASAN 11: MINERAL PENYUSUN BATUAN KARBONAT.....	126
1.1 Pendahuluan	126
1.2 Penyajian	126

1.3 Penutup.....	135
DAFTAR PUSTAKA.....	136
SENARAI.....	137
POKOK BAHASAN 12: MINERAL PENYUSUN BATUAN	
METAMORF	138
1.1 Pendahuluan	138
1.2 Penyajian	138
1.3 Penutup.....	150
DAFTAR PUSTAKA.....	151
SENARAI.....	152
POKOK BAHASAN 13: MINERAL SEKUNDER.....	153
1.1 Pendahuluan	153
1.2 Penyajian	153
1.3 Penutup.....	162
DAFTAR PUSTAKA.....	163
SENARAI.....	163
BIOGRAFI TIM PENULIS	165

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Mineral dolomit beserta susunan atomnya yang teratur dengan pengotor di dalamnya (Mindat, 2020; Petrash dkk., 2017).....	2
Gambar 1.2. Diagram yang menggambarkan hubungan bidang ilmu mineralogi (Klein, 2001)	4
Gambar 1.3. Sketsa kristal kuarsa dan hematit yang menunjukkan ketetapan sudut muka kristal oleh Steno (Schafkranovski, 1971 dalam Klein, 2001)	5
Gambar 1.4. Electron Probe Micro-Analyzer (EPMA), mampu mendeterminasi kimia mineral secara akurat dengan visualisasi beresolusi tinggi (Goodge, 2020)	6
Gambar 2.1. Perbedaan susunan molekul NaCl pada fase padat/kristal dan cair (kiri), dan ilustrasi susunan teratur dan berulang dari ikatan molekul kristal halit (NaCl) (kanan) (Blaber, 1996).....	12
Gambar 2.2 Perbandingan susunan molekul SiO ₂ pada kristal kuarsa dan gelas/amorf (Physics Open Lab, 2018)	13
Gambar 2.3. Ketetapan sudut antarmuka pada suatu kristal meski ukuran dan bentuk kristal berbeda (Nelson, 2013).....	14
Gambar 2.4. Titik A, B, C, D adalah titik kisi yang masing-masing memiliki kenampakan sekitar identik. Bidang ABCD merupakan kisi berbentuk paralelogram yang menyusun bidang mineral (Sands, 1975).....	15
Gambar 2.5. Titik kisi berjarak teratur dalam tampilan tiga dimensi (Lumen Learning, 2020)	15
Gambar 2.6. Satu sel unit kristal dengan dimensi (a, b, c) dan sudut tertentu (α , β , dan γ) (Blaber, 1996)	16
Gambar 2.7. Susunan berulang dari sejumlah sel-sel yang identik (Blaber, 1996).....	16
Gambar 2.8. Contoh penyebutan Indeks Miller pada beberapa bidang pada kubik (Sengupta, 2015)	17
Gambar 2.9. Contoh penentuan indeks Miller pada suatu bidang kristal	18
Gambar 3.1. Contoh simetri pada benda	23
Gambar 3.2. Struktur molekul yang memiliki pusat simetri (modifikasi Sands, 1975).....	24
Gambar 3.3. Contoh penggambaran kristal yang memiliki (1 dan 2) dan yang tidak memiliki (3) pusat simetri (Studyblue, 2018).....	24
Gambar 3.4. Simbol sumbu simetri digambarkan pada bidang 2-D (Nelson, 2013)	25

Gambar 3.5. Tigabelas sumbu simetri pada kubik (Klein, 2001).....	25
Gambar 3.6. Contoh bidang simetri pada kristal kubik (Lokesh, 2020)..	26
Gambar 3.7. Prosedur operasi pusat simetri dan sumbu rotoinversi,	27
Gambar 3.8. Sumbu rotoinversi 360° atau pusat simetri (kiri) dan sumbu rotoinversi lipat tiga yang diputar 120° (kanan) dengan simbol penulisannya (Klein dan Philpotts, 2017).....	28
Gambar 4.1. Ilustrasi sumbu, contoh bentuk kristal, dan mineral sistem kubik (Webmineral, 2020; Geology Page, 2014)	32
Gambar 4.2. Ilustrasi sumbu, contoh bentuk kristal, dan mineral sistem tetragonal (Webmineral, 2020; King, 2020; Minerals.net, 2020).....	32
Gambar 4.3. Ilustrasi sumbu, contoh bentuk kristal, dan mineral sistem heksagonal dan trigonal/ rombohedral (Webmineral, 2020; Minerals.net, 2020).....	33
Gambar 4.4. Ilustrasi sumbu, contoh bentuk kristal, dan mineral sistem ortorombik (Webmineral, 2020; Minerals.net, 2020).....	34
Gambar 4.5. Ilustrasi sumbu, contoh bentuk kristal, dan mineral sistem monoklin (Webmineral, 2020; Minerals.net, 2020)	34
Gambar 4.6. Ilustrasi sumbu, contoh bentuk kristal, dan mineral sistem triklin (Webmineral, 2020; Minerals.net, 2020).....	35
Gambar 5.1. Contoh perawakan mineral.	44
Gambar 5.2. Bentuk agregat mineral.....	45
Gambar 5.3. Variasi warna pada beril: aquamarine (Fe ²⁺ , biru), heliodor (Fe ³⁺ , kuning), morganit (Mn ²⁺ , pink), dan emerald (Cr ³⁺ , hijau) (GeologyIn, 2020).....	48
Gambar 5.4. Sifat kilap pada mineral (Minsocam, 2020).....	49
Gambar 5.5. Ketembusan cahaya pada mineral (Mineral Gallery, 2020)	50
Gambar 5.6. Cerat pada berbagai contoh mineral	51
Gambar 5.7. Perbandingan kekerasan relatif dan kekerasan mutlak mineral (Klein dan Philpotts, 2017).....	53
Gambar 5.8. Belahan pada mineral (Leveson dan Seidemann, 2020).....	54
Gambar 5.9. Perbedaan sudut belahan dua arah pada piroksen dan hornblende (Klein dan Philpotts, 2017)	55
Gambar 5.10. Pecahan pada mineral	56
Gambar 6.1. Perbandingan kenampakan dan struktur intan dan grafit (Murphy, 2014)	65
Gambar 6.2 Native element yang terdiri dari unsur tunggal (Panchuk, 2018).....	65
Gambar 6.3 Mineral sulfida dengan kilap logam, sebagian adalah mineral bijih (Panchuk, 2018)	67
Gambar 6.4 Beberapa mineral oksida dan hidroksida penting	

dan kegunaannya (Panchuk, 2018).....	68
Gambar 6.4 Mineral karbonat (Panchuk, 2018)	69
Gambar 6.5. Mineral sulfat (Panchuk, 2018)	70
Gambar 6.6 Struktur gipsum yang dipisahkan molekul air, garis vertikal merupakan bidang lemah yang berpotensi sebagai bidang belahan (Klein, 2001)	70
Gambar 6.7. Mineral fosfat (Panchuk, 2018)	71
Gambar 6.8. Mineral halida (Panchuk, 2018)	72
Gambar 7.1. Perkiraan persentase kelimpahan kelompok mineral silikat dibandingkan nonsilikat di kerak bumi (Yonov dan Yaroshevsky, 1969 dalam Klein dan Philpotts, 2017)	77
Gambar 7.2. Penggambaran molekul silika tetrahedra, a = perbandingan ukuran atom sebenarnya, b = model stick- and-ball, c = anion oksigen pada ujung tetrahedron (Nesse, 2000)	78
Gambar 7.3. Representasi struktur mineral epidot pada salah satu bidang kristalnya. Molekul silikat dapat berikatan ganda dengan silikat lain atau oktahedron Molekul lain (Klein, 2001).....	80
Gambar 7.4. Jenis unit lembaran mineral filosilikat (Marchuk, 2016)....	82
Gambar 7.5. Perbedaan susunan kerangka pada tektosilikat: zeolit (kiri) memiliki struktur lebih terbuka dan renggang dibandingkan albit (kanan) (Hwang dkk., 2013; Li dan Knowles, 2013))	84
Gambar 8.1. Deret Bowen Reaction Series	92
Gambar 8.2. Mineral olivin berwarna hijau terang pada peridotit (batuan beku ultrabasa) berasosiasi dengan piroksen berwarna hijau gelap.....	95
Gambar 8.3. Mineral piroksen berwarna hitam pada gabbro (batuan beku basa), berasosiasi dengan plagioklas berwarna putih	96
Gambar 8.4. Mineral hornblende pada andesit porfir (batuan beku intermediet).....	97
Gambar 8.5. Mineral biotit berwarna hitam pada granit (batuan beku asam) bersama muskovit dan kuarsa. Contoh penentuan indeks Miller pada suatu bidang kristal.....	98
Gambar 8.6. Mineral muskovit berwarna abu-abu keperakan pada granit (batuan beku asam).....	99
Gambar 8.7. Mineral ortoklas berwarna pink salmon pada granit (batuan beku asam) bersama kuarsa, biotit, dan plagioklas	100
Gambar 8.8 Mineral plagioklas berwarna putih keabuan pada diorit	

(batuan beku intermediet), bersama piroksen dan hornblende	101
Gambar 8.9. Mineral kuarsa berwarna abu-abu transparan pada granit (batuan beku intermediet), bersama plagioklas dan biotit	102
Gambar 9.1. Skema pembentukan batuan sedimen	108
Gambar 9.2. Proses pembentukan batuan sedimen klastik	109
Gambar 9.3. (a) breksi (b) konglomerat	111
Gambar 9.4. (a) quartz sandstone (b) feldspathic sandstone (c) lithic sandstone	112
Gambar 10.1. a. aragonit, b. Kalsit, c. Dolomit).....	118
Gambar 10.2. Gypsum.....	119
Gambar 10.3. Anhidrit.....	120
Gambar 10.4. Halit	121
Gambar 10.5. Rijang.....	122
Gambar 10.6. (a). Lignit (b). Antrasit.....	123
Gambar 11.1. Aragonit	129
Gambar 11.2. Kalsit.....	130
Gambar 11.3. Dolomit.....	131
Gambar 11.4. Magnesit	132
Gambar 11.5. Ankerit.....	133
Gambar 11.6. Siderit.....	134
Gambar 11.7. Rhodokrosit	135
Gambar 12.1. Andalusit.....	141
Gambar 12.2. Silimanit.....	142
Gambar 12.3. Kyanit	143
Gambar 12.4. Staurolit	144
Gambar 12.5. Glaukofan	145
Gambar 12.6. Garnet	146
Gambar 12.7. Prehinit.....	147
Gambar 12.8. Pumpellyit.....	147
Gambar 12.9. Tremolit.	148
Gambar 12.10. Aktinolit.....	149
Gambar 13.1. Klorit.....	156
Gambar 13.2. Kaolinit	157
Gambar 13.3. Limonit	158
Gambar 13.4. Monmorilonit.....	159
Gambar 13.5 Serpentin.....	160
Gambar 13.6. Epidot.....	160
Gambar 13.7. Ilit.....	161

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1. Contoh mineral atau unsur dan penggunaannya dalam kehidupan (Casper, 2007).....	7
Tabel 3.1. Unsur simetri pada kristal (Klein dan Philpotts, 2017)	23
Tabel 3.2. Jenis sumbu simetri/ sumbu rotasi (Klein dan Philpotts, 2017).....	25
Tabel 3.3. Jenis sumbu rotoinversi (Klein dan Philpotts, 2017).....	28
Tabel 4.1. Contoh polimorfisme pada mineral (Klein dan Philpotts, 2017).....	36
Tabel 4.2. Klasifikasi sistem kristal dan unsur simetri serta simbolisasinya (Webmineral, 2020).....	38
Tabel 5.1. Bentuk dan perawakan pada mineral (modifikasi Klein dan Philpotts, 2017).....	45
Tabel 5.2. Tingkat kekerasan mineral dalam Skala Mohs (Klein dan Philpotts, 2017).....	52
Tabel 5.3. Beberapa nilai berat jenis mineral (Klein dan Philpotts, 2017).....	57
Tabel 6.1. Kelompok mineral penting berdasarkan komposisi kimianya (Haldar dan Tisljar, 2014).....	63
Tabel 6.2. Mineral sulfida umum (Nesse, 2000)	66
Tabel 6.3. Mineral oksida dan hidroksida utama (Haldar dan Tisljar, 2014).....	67
Tabel 6.3. Kelompok utama mineral karbonat (Nesse, 2000)	69
Tabel 7.1. Klasifikasi kelompok mineral silikat (modifikasi Nesse, 2000).....	79
Tabel 7.2. Bentuk ikatan dan contoh mineral silikat (modifikasi Nesse, 2000)	84
Tabel 9.1. Urutan kestabilan mineral (Tucker, 1991).....	110
Tabel 9.2. Klasifikasi ukuran butir berdasarkan skala Wentworth (1922)	111
Tabel 11.1. Mineral penyusun batuan karbonat	128
Tabel 13.1. Mineral primer dan ubahannya.....	155

TINJAUAN MATA KULIAH

I. DESKRIPSI SINGKAT

Mineralogi merupakan matakuliah yang mempelajari tentang kristalografi mencakup definisi kristal, unsur simetri, dan sistem kristal serta mineral penyusun batuan mencakup sifat fisik mineral, kelompok mineral, serta asosiasi mineral dalam batuan. Suatu material dapat dikatakan sebagai mineral jika memenuhi syarat tertentu. Pengetahuan mengenai kristalografi sangat mendukung di dalam ilmu mineralogi secara umum, sehingga didapatkan pemahaman bagaimana hubungan unsur kristal dengan sifat fisik mineral. Selain itu, diberikan penjelasan mengenai pembentukan mineral dan asosiasinya yang selalu terkait dengan tatanan geologi tertentu.

II. RELEVANSI

Pembelajaran matakuliah Mineralogi menjadi dasar utama, terutama di bidang geologi ekonomi dan endapan mineral. Pengetahuan mengenai karakteristik dan asosiasi mineral dalam batuan dapat diterapkan dalam kegiatan eksplorasi sumber daya mineral dan batuan pada sektor pertambangan.

III. KOMPETENSI

1. STANDAR KOMPETENSI

Mahasiswa mampu memahami pengertian kristal dan mineral serta hubungannya dalam batuan, mampu menerapkan pengetahuan tersebut dalam praktik identifikasi sifat kristal dan mineral yang dijumpai dalam batuan.

2. KOMPETENSI DASAR

Setelah mengikuti perkuliahan ini, mahasiswa mampu:

- a. Menjelaskan pengertian kristal dan syarat-syarat kristal
- b. Membedakan berbagai sistem kristal dan melakukan penggambaran unsur simetri kristal
- c. Menjelaskan pengertian dan syarat-syarat mineral, mineraloid, dan pseudomorf
- d. Membedakan sifat fisik mineral dan mengkarakterisasikannya pada berbagai jenis mineral

- e. Menyebutkan klasifikasi mineral berdasarkan komposisi kimia
- f. Menjelaskan perbedaan struktur mineral silikat
- g. Membedakan dan mengkarakterisasi mineral penyusun batuan beku, batuan sedimen, dan batuan metamorf serta asosiasinya
- h. Menjelaskan tentang mineral ubahan dan proses geologi yang membentuknya

IV. PETUNJUK BELAJAR

Mahasiswa dapat melakukan pembelajaran terprogram maupun mandiri. Buku ajar ini memuat materi dan tes formatif yang mendukung setiap kompetensi. Sumber pustaka yang lebih mendalam mengenai tiap materi disebutkan dan dapat dibaca lebih lanjut. Studi kasus yang relevan dapat dipelajari melalui artikel penelitian terpublikasi yang berkaitan dengan mineralogi.

POKOK BAHASAN 1: KONSEP DASAR MINERALOGI

1.1. Pendahuluan

1.1.1. Deskripsi Singkat

Pokok bahasan ini menjelaskan tentang pengertian mineralogi, lingkup dan sejarah ilmu mineralogi, serta pentingnya mempelajari mineralogi sebagai kemampuan dasar ahli geologi.

1.1.2. Relevansi

Ilmu mineralogi merupakan dasar pengetahuan geologi yang mana membahas mengenai unsur penyusun batuan yang lebih kecil. Dengan memahami mineral, maka dapat diketahui proses geologi pembentuknya. Sumber daya mineral dan batuan yang melatarbelakangi kegiatan penambangan memerlukan pengetahuan mineralogi sebagai dasar dalam eksplorasi dan eksploitasi.

1.1.3. Kompetensi

Setelah mempelajari konsep dasar mineralogi, mahasiswa mampu:

1. Menjelaskan pengertian mineral dan syarat-syaratnya
2. Menjelaskan lingkup bidang ilmu mineralogi
3. Menyebutkan sejarah perkembangan ilmu mineralogi
4. Menyebutkan aspek ekonomi mineral dan peran ahli geologi dalam pemanfaatannya

1.2. Penyajian

1.2.1. Uraian Materi

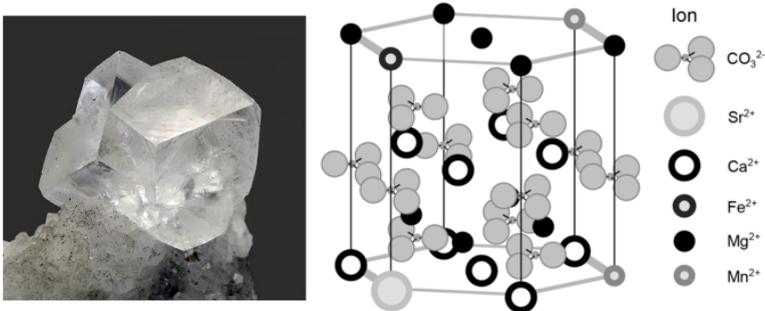
A. Definisi Mineral dan Mineraloid

Mineral adalah komponen dasar yang menyusun planet bumi dan studi mengenai mineral adalah salah satu inti dari ilmu geosains. Menurut Klein (2001), mineral adalah padatan yang terbentuk di alam dalam suatu susunan atom yang teratur dan komposisi kimia tertentu. Mineral umumnya terbentuk dari proses anorganik.

Kualifikasi terbentuk di alam ini membedakan mineral dengan material yang disintesis di laboratorium, sebagaimana saat ini telah terdapat teknologi untuk memproduksi intan dan batumulia sintesis lainnya. Mineral harus berbentuk padatan, sehingga air yang berbentuk kristal es dapat dikatakan sebagai mineral tetapi air itu sendiri bukan mineral. Susunan atom mengindikasikan adanya kerangka struktur

pemysusun mineral dalam pola geometri yang teratur. Sifat ini dinamakan sifat kristalin, sehingga material yang susunan atomnya tidak teratur dibedakan sebagai amorf atau gelas. Suatu material yang terbentuk di alam dengan kenampakan eksternal mirip dengan mineral, namun tidak memiliki struktur internal kristalin sering disebut sebagai **mineraloid**. Contoh mineraloid adalah gelas vulkanik seperti obsidian, amber, opal, bitumen, dan mutiara.

Setiap mineral memiliki komposisi kimia tertentu, namun tidak selalu pasti. Maksud dari definisi ini adalah bahwa tiap mineral dapat berkomposisi murni maupun memiliki pengotor di dalamnya. Komposisi kimia dalam mineral terkadang dikontrol pula oleh proporsi dua unsur yang saling berikatan. Sebagai contoh, dolomit $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$, seringkali memiliki pengotor atau *impurities* berupa Fe dan Mn yang menggantikan Mg. Dolomit murni maupun dolomit dengan pengotor dapat terbentuk secara alami (Gambar 1.1.), namun tetap harus memiliki proporsi unsur yang tertentu.



Gambar 1.1. Mineral dolomit beserta susunan atomnya yang teratur dengan pengotor di dalamnya (Mindat, 2020; Petrash dkk., 2017)

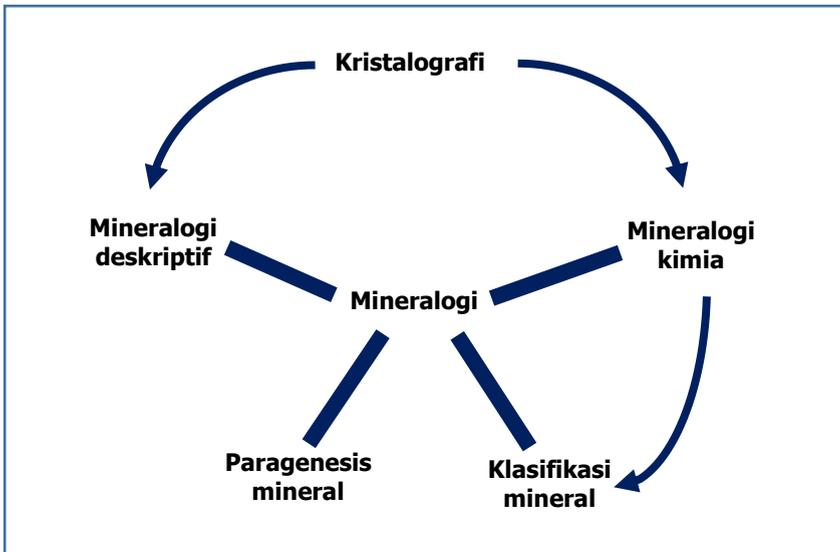
Proses anorganik merupakan proses umum pembentuk mineral. Meski demikian, terdapat proses yang dipicu aktivitas organisme dalam pembentukan mineral seperti pada kalsit, aragonit, apatit, dan lain-lain. Namun demikian, batubara dan material petroleum bukan merupakan mineral karena meski terbentuk alami tetapi tidak memiliki komposisi kimia yang tertentu maupun susunan atom teratur. Pengecualian adalah grafit yang terbentuk ketika batubara terpapar suhu tinggi sehingga merekristalisasi dan menyusun ulang unsur karbonnya.

Sebagian mineral seperti kuarsa, kalsit, dan mika sangat melimpah dan sering dijumpai. Mineral lainnya seperti intan, safir, emas, perak cukup jarang dijumpai sehingga keberadaannya dapat dikatakan berharga. Dalam konteks geologi, keterdapatannya menunjukkan kondisi fisik dan kimia bumi tempat mineral tersebut terbentuk.

B. Lingkup Mineralogi

Mineralogi adalah cabang ilmu geologi yang membahas kimia, struktur kristal, dan karakteristik fisik maupun optik mineral yang bertujuan untuk mengetahui proses pembentukan, keterdapatannya, dan pemanfaatannya. Studi mineralogi secara sistematis mencakup beberapa pokok bahasan sebagai berikut (Klein, 2001):

1. Kristalografi, mempelajari bentuk mineral sebagai kristal, hubungan dan susunan atom dalam kerangka kristal. Kristalografi modern menggunakan berbagai instrumen untuk mengenali struktur kristal yang memberikan informasi lebih lanjut mengenai posisi dan ikatan atom serta simetrinya.
2. Mineralogi deskriptif, studi mengenai karakteristik fisik mineral mencakup beberapa komponen seperti kekerasan, belahan, properti optik, kemagnetan, radioaktivitas, dan seterusnya
3. Mineralogi kimia, studi komposisi kimia yang menyusun mineral dan properti kimianya, reaksi pertukaran unsur dalam mineral, tipe ikatan, serta kaitan kimia mineral dengan struktur kristalnya.
4. Keterdapatannya geologi atau paragenesis, mempelajari kondisi pembentukan mineral, perilaku unsur di alam, serta asosiasi keterdapatannya.
5. Klasifikasi, terdapat lebih dari 3800 spesies mineral yang memiliki nama masing-masing, sehingga perlu pengelompokan dalam membahas mengenai mineral berdasarkan komposisi kimia dan struktur atomnya.
6. Alur pemahaman dan keterkaitan cabang ilmu mineralogi dapat dilihat pada Gambar 1.2.



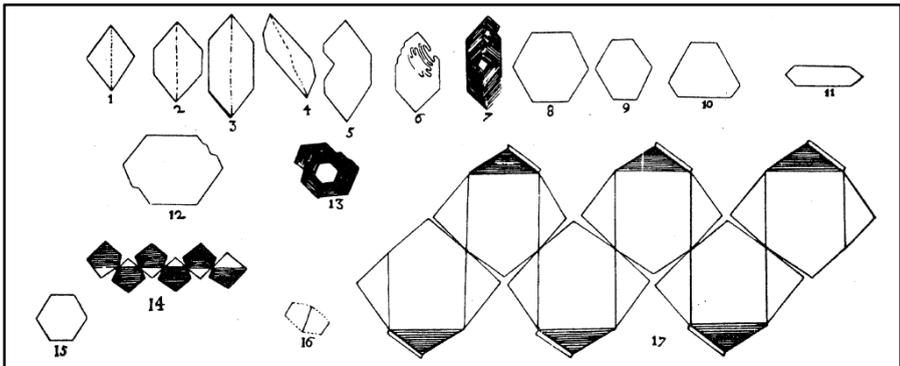
Gambar 1.2 Diagram yang menggambarkan hubungan bidang ilmu mineralogi (Klein, 2001)

C. Sejarah Mineralogi

Sejak Zaman Batu, manusia telah menggunakan mineral dalam peradabannya yang dapat dilihat pada lukisan gua dengan cat merah dari pigmen hematit. Dalam perkembangannya, manusia mulai melebur mineral logam untuk kebutuhan sehari-hari seperti pada artifak makam Mesir Kuno dari Zaman Perunggu. Peradaban Tulisan kuno dari berbagai budaya seperti Yunani, Babilonia, Cina, Sansekerta, dan Islam juga telah menyebutkan mineral terutama batumulia. Pliny The Elder dari Romawi menjelaskan berbagai mineral dan sifatnya dalam buku *Naturalis Historia*. Ilmuwan Persia bernama Al-Biruni menyusun buku mengenai batumulia.

Pada 1556, Georgius Agricola dari Jerman mempelopori mineralogi sebagai ilmu pengetahuan yang menjelaskan fakta-fakta mineral terkait aktivitas pertambangan di masa itu. Studi mengenai struktur mineral dan kristal mendapatkan kontribusi penting dari Nicholas Steno yang mempelajari kristal kuarsa. Steno mengamati adanya perbedaan asal, ukuran, dan bentuk kuarsa tetapi mengenali bahwa setiap bidang muka kristal memiliki sudut yang selalu konstan (Gambar 1.3). Selanjutnya Rene J. Hauy pada 1784 menunjukkan bahwa kristal tersusun dari suatu blok-

blok molekuler yang identik yang konsisten dengan konsep sel unit pada kristalografi modern (Klein, 2001).



Gambar 1.3. Sketsa kristal kuarsa dan hematit yang menunjukkan ketetapan sudut muka kristal oleh Steno (Schafkranovski, 1971 dalam Klein, 2001)

Awal abad ke-19, ilmu mineralogi menjadi lebih terukur dengan adanya instrumen yang mengukur kristal secara lebih tepat yaitu goniometer yang diciptakan Wolaston pada 1809. Sifat optik mineral pertama kali diamati oleh Cordier melalui fragmen mineral di bawah mikroskop, yang selanjutnya berkembang dengan adanya mikroskop polarisator oleh William Nicol pada 1828. Akhir abad tersebut berkembang teori kristalografi yang sangat relevan dengan penelitian menggunakan sinar-X.

Difraksi sinar-X mulai berkembang dan menjadi metode yang sangat kuat dalam kristalografi modern, tidak hanya diterapkan di mineral namun juga material kristalin lainnya. Publikasi struktur kristal dengan sinar-X paling awal adalah Bragg dan Bragg pada 1914, menunjukkan bahwa struktur kristal yang kompleks sekalipun dapat diamati dengan mudah menggunakan metode ini. Perkembangan mikroskop elektron pada 1960an memungkinkan studi kimia mineral dengan akurasi tinggi. Hingga sekarang, perkembangan teknologi ini menyajikan analisis multi unsur diperkuat dengan foto visual resolusi tinggi (Gambar 1.4), serta pemodelan dua dimensi dan tiga dimensi yang mendekati sempurna.



Gambar 1.4. Electron Probe Micro-Analyzer (EPMA), mampu mendeterminasi kimia mineral secara akurat dengan visualisasi beresolusi tinggi (Goodge, 2020)

D. Aspek Ekonomi Mineral dan Peran Ahli Geologi

Terdapat lebih dari 3800 mineral yang telah teridentifikasi dan dinamai, meski hanya beberapa ratus yang umum dijumpai. Untuk suatu penemuan, suatu mineral baru harus dideterminasi dengan tepat struktur kristal, komposisi kimia, sifat fisik serta dipreparasi contoh mineralnya sesuai standar. Suatu mineral dapat dinamai berdasarkan penemu, lokasi ditemukannya, komposisi kimia, atau sifat uniknya (Nesse, 2000).

Sumber daya mineral secara garis besar dibedakan menjadi mineral logam dan mineral nonlogam. Mineral nonlogam seperti talk, sulfur, asbestos dapat digunakan sebagai material secara langsung dari alam. Sedangkan mineral logam berasal dari mineral bijih yang harus terkonsentrasi di batuan untuk dapat diekstrak secara ekonomis, misalnya emas, besi, dan tembaga.

Kenyamanan dan kualitas hidup yang dinikmati manusia modern saat ini tidak lepas dari penggunaan sumber daya mineral. Hampir semua barang yang kita gunakan dibuat dari bahan yang bersumber dari alam. Makanan kita juga berasal dari tumbuhan yang mendapatkan nutrisi unsur dari mineral yang lapuk menjadi tanah. Pertanian, konstruksi, industri, elektronik, transportasi, seni dan budaya merupakan aktivitas yang dalam satu aspek membutuhkan mineral (Tabel 1.1). Mineral sangat penting sebagaimana makanan, air, dan udara bagi manusia.

Tabel 1.1 Contoh mineral atau unsur dan penggunaannya dalam kehidupan (Casper, 2007).

Mineral/Unsur	Kegunaan
Aluminium	Kaleng dan bahan industri yang ringan
Asbes	Insulator tahan api dan suara, material atap, pipa
Batumulia	Perhiasan dan seni
Besi	Konstruksi dan baja
Emas	Elektronik, perhiasan, dan seni
Gypsum	Semen, dinding, dan konstruksi lain
Grafit	Pensil, cat, elektronik
Merkuri	Termostat, lampu, elektronik
Potassium	Pupuk, industri obat dan kimia
Kuarsa	Kaca, keramik, elektronik
Talk	Kertas, plastik, industri kimia, material atap
Titanium	Bahan pesawat dan kapal

Mineral yang tersingkap di permukaan bumi telah banyak digunakan, sedangkan kebutuhan akan mineral terus meningkat tiap tahun. Ahli geologi saat ini berupaya menemukan sumber daya mineral baru serta mengukur jumlahnya untuk dapat memenuhi kebutuhan tersebut. Berbagai alat dan metode digunakan, mencari hingga jauh di bawah permukaan bumi. Metode geologi, geokimia, geofisika digunakan dalam pencarian ini. Setiap sumber daya mineral memerlukan suatu proses khusus agar terkonsentrasi di suatu tempat sehingga dapat ditambang dengan ekonomis, karena unsur atau mineral yang dicari ini terlalu rendah konsentrasinya di kondisi geologi yang umum.

Ahli geologi menggunakan citra/foto udara dan penyelidikan geofisika magnetik atau gravitasi untuk mendeteksi keberadaan mineral di bawah permukaan. Pemetaan secara langsung di lapangan perlu untuk membuktikan dan mendeskripsikan karakteristik mineral serta batuan asalnya, didukung analisis mineralogi lebih lanjut. Studi mengenai pembentukan mineral secara geologi dapat diketahui dari karakteristik mineralogi ini. Pengeboran bawah permukaan diikuti serangkaian uji kimia dan pemodelan dilakukan untuk membuktikan ukuran dan kadar konsentrasi sumber daya mineral. Seluruh rangkaian kegiatan inilah yang disebut sebagai tahap kegiatan eksplorasi yang merupakan salah satu bidang pekerjaan ahli geologi. Akhirnya, jika keseluruhan aspek memenuhi syarat maka mineral dapat ditambang/dieksplotasi untuk memenuhi kebutuhan industri.

Bagaimana menemukan lokasi tambang mineral dan batuan, studi mengenai asal pembentukan, ukuran dan kualitas sumber daya mineral secara spesifik adalah ranah geologi ekonomi atau endapan mineral. Namun, pengetahuan mengenai struktur dan kimia, keberadaan, karakteristik fisik mineral yang terangkum dalam mineralogi merupakan landasan awal dalam mempelajari sumber daya mineral dan pemanfaatannya.

1.2.2. Latihan

1. Apakah syarat suatu material dapat disebut sebagai mineral?
2. Jelaskan kaitan kristalografi dalam ilmu mineralogi!
3. Sebutkan dua contoh mineral yang anda ketahui dan kegunaannya dalam kehidupan sehari-hari!

1.3. Penutup

1.3.1. Rangkuman

Mineral adalah padatan yang terbentuk di alam dalam suatu susunan atom yang teratur dan komposisi kimia tertentu, terbentuk umumnya melalui proses anorganik. Mineralogi adalah cabang ilmu geologi yang membahas kimia, struktur kristal, dan karakteristik fisik maupun optik mineral yang bertujuan untuk mengetahui proses pembentukan, klasifikasi, keterdapatannya, dan pemanfaatannya. Mineralogi merupakan salah satu dasar ilmu kebumihantoran yang telah berkembang sejak ratusan tahun lalu. Dalam perkembangannya, berbagai metode dilakukan untuk mendeterminasi struktur dan komposisi kimia mineral secara akurat. Sumber daya mineral secara garis besar dibedakan menjadi mineral logam dan mineral nonlogam. Mineral nonlogam seperti talk, sulfur, asbestos dapat digunakan sebagai material secara langsung dari alam. Sedangkan mineral logam berasal dari mineral bijih yang harus terkonsentrasi di batuan untuk dapat diekstrak secara ekonomis, misalnya emas, besi, dan tembaga. Pengetahuan mengenai struktur dan kimia, keberadaan, karakteristik fisik mineral yang terangkum dalam mineralogi merupakan dasar bagi ahli geologi untuk dapat memahami karakteristik sumber daya mineral dan pemanfaatannya.

1.3.2. Tes Formatif

Lengkapi kalimat berikut dengan jawaban singkat:

1. Mineral terbentuk dalam suatu susunan unsur yang teratur yang disebut sebagai _____
2. Paragenesis mineral adalah studi mengenai _____
3. Dalam perkembangan ilmu mineralogi, William Nicol menciptakan _____ untuk mengetahui sifat optik mineral.
4. Sumber daya mineral yang perlu diekstrak dari batuan adalah _____
5. Ahli geologi berperan penting dalam kegiatan pertambangan terutama pada tahap _____

1.3.3. Umpan Balik

Mahasiswa dianggap mampu memahami konsep dasar mineralogi apabila mampu menjelaskan tentang pengertian mineral, lingkup mineralogi, sejarah perkembangannya, serta aspek ekonomi dan peran ahli geologi dalam pemanfaatannya paling tidak 80% benar.

1.3.4. Tindak Lanjut

Mahasiswa dapat melanjutkan ke materi selanjutnya jika mampu menjawab tes formatif dan latihan dengan benar minimal 80% dari keseluruhan soal.

1.3.5. Kunci Jawaban Tes Formatif

Jawaban soal uraian singkat:

1. Kristal
2. Pembentukan mineral
3. Mikroskop polarisasi
4. Mineral logam atau mineral bijih
5. Kegiatan eksplorasi

DAFTAR PUSTAKA

Casper, J.K., 2007, *Minerals: Gifts from The Earth*, USA: Chelsea House.

Goodge, J., 2020, *Electron probe micro-analyzer (EPMA)*, https://serc.carleton.edu/research_education/geochemsheets/techniques/EPMA.html, diakses pada 20 Mei 2020.

Klein, C., 2001, *Manual of Mineral Science 22nd Edition*, USA: Wiley.

Mindat, 2020, *Dolomite*, <https://www.mindat.org/min-1304.html>, diakses pada 20 Mei 2020

Nesse, W.D., 2000, *Introduction to Mineralogy*, New York: Oxford University Press.

Petrash, D., Bontognali, T., Bialik, M., Vasconcelos, C., 2017, Microbially catalyzed dolomite formation: From near-surface to burial, *Earth Science Reviews* 171:558-582.

SENARAI

- Eksplorasi mineral** : serangkaian kegiatan dalam pemanfaatan sumber daya mineral, mulai dari prospeksi untuk menemukan keberadaannya hingga evaluasi kelayakan ekonominya untuk dapat ditambang.
- Goniometer** : suatu alat yang digunakan untuk mengukur sudut antara dua bidang dan mengatur supaya suatu objek dapat diputar pada sudut tertentu dengan tepat.
- Impurities*** : unsur yang terdapat dalam mineral dalam jumlah yang minor dan dapat mempengaruhi sifat fisiknya.
- Mineraloid** : material yang bentuk eksternal mirip dengan mineral, namun tidak memiliki struktur kristalin teratur secara internal

POKOK BAHASAN 2: KRISTALOGRAFI

2.1. Pendahuluan

2.1.1. Deskripsi Singkat

Kristalografi membahas tentang pengertian kristal, susunan atom yang membentuk kristal, titik kisi dan sel unit yang menjadi satuan penyusun kristal mineral, dan indeks Miller dalam penggambaran bidang kristal.

2.1.2. Relevansi

Untuk dapat memahami karakteristik mineral, kristalografi menjelaskan bagaimana susunan internal atom atau molekul dalam mineral mempengaruhi sifat fisik dan optik mineral. Keteraturan atom menjadi unit pembangun mineral yang termanifestasi dalam skala pengamatan yang lebih besar.

2.1.3. Kompetensi

Setelah mempelajari pokok bahasan ini, mahasiswa diharapkan mampu:

1. Menjelaskan pengertian kristal, amorf, dan contohnya di alam
2. Menjelaskan titik kisi dan sel unit kristal sebagai dasar penyusun atom pada mineral
3. Menentukan indeks bidang kristal pada sistem koordinat menggunakan indeks Miller

2.2. Penyajian

2.2.1. Uraian Materi

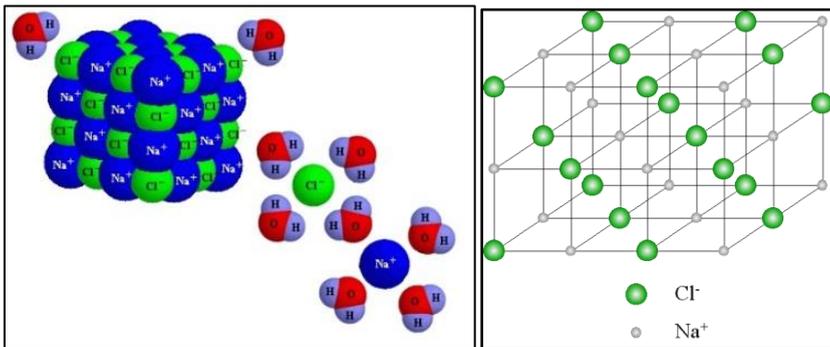
Keteraturan bentuk benda padat seperti bentuk butiran salju, kristal garam, atau mineral adalah sifat alamiah yang menarik perhatian para peneliti di masa lalu. Kristalografi merupakan ilmu yang mempelajari tentang struktur dan karakteristik material kristalin. Bidang ilmu ini erat kaitannya dengan ilmu kimia, sehingga pengetahuan kimia akan memudahkan dalam memahami struktur dan karakteristik kristal mineral.

A. Pengertian Kristal

Kristal adalah suatu material padat yang dibatasi oleh bidang permukaan alami dalam bentuk polihedral, yang merupakan wujud dari susunan teratur dan berulang atom-atom penyusunnya (Sands, 1975). Kristal terbentuk akibat proses kristalisasi, yaitu proses pembentukan

bahan padat dengan penyusunan teratur atom atau molekul penyusunnya. Seringkali kristal ini berukuran sangat kecil untuk dapat dilihat tanpa bantuan mikroskop. Sedangkan bahan padat yang atom-atom atau molekulnya tersusun secara tidak teratur disebut dengan amorf/gelasan/nonkristal.

Suatu mineral tertentu akan memiliki pola susunan tertentu pula, yang dapat berupa satu atom tunggal, sekelompok atom, satu molekul, atau sekelompok molekul. Pola susunan ini bergantung dari jenis ikatan kimia yang membentuknya. Misalkan senyawa benzena yang tersusun oleh enam atom karbon yang membentuk segienam, dengan masing-masing atom karbon mengikat satu atom hidrogen. Pada fase cair, susunan antarmolekul pada benzena tidak teratur. Namun, pada suhu dan tekanan tertentu, molekul akan mengalami orientasi sehingga posisinya teratur satu sama lain. Contoh berikutnya adalah molekul garam NaCl yang pada fase padat memiliki ion klorida yang tersusun dalam rangkaian kubik dan selanjutnya ion sodium yang ukurannya lebih kecil mengisi rongga kubik tersebut (Gambar 2.1).

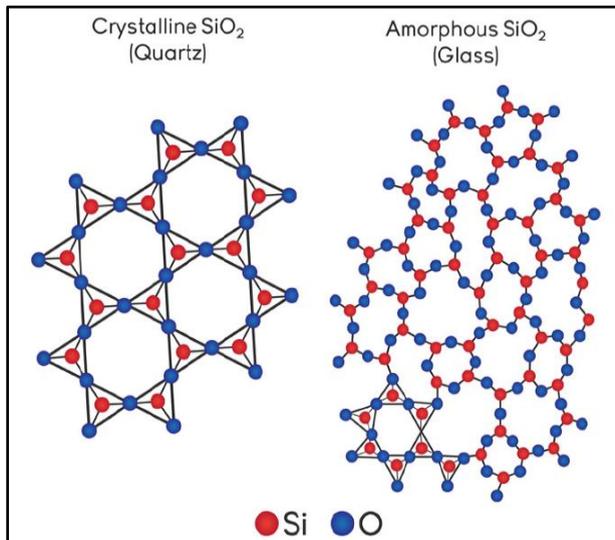


Gambar 2.1. Perbedaan susunan molekul NaCl pada fase padat/kristal dan cair (kiri), dan ilustrasi susunan teratur dan berulang dari ikatan molekul kristal halit (NaCl) (kanan) (Blaber, 1996)

Atom klorida dan sodium berikatan dalam ikatan elektrostatis yang kuat. Setiap ion dikelilingi enam ion dengan muatan berlawanan, dalam sudut oktahedral sehingga energinya minimal dan terbentuk ikatan yang stabil. Dalam mineralogi, kristal garam ini disebut sebagai halit atau batugaram. Garam dalam larutan memiliki gaya tarik antaratom yang cukup kuat, sehingga hanya larutan tertentu seperti air yang mudah

melarutkannya. Dalam larutan ini, atom sodium dan klorida terpecah dan dikelilingi molekul air. Interaksi antaratom pada NaCl padat adalah contoh bagaimana pembentukan padatan secara alami akan membentuk kristal. Terdapat posisi dan orientasi tertentu yang mengatur ikatan antaratom pada fase padat. Jika pembentukan padatan terjadi pada waktu yang cukup lambat, struktur molekul akan tertata dan memenuhi ketentuan disebut sebagai kristal. Pola tertentu ini terjadi berulang-ulang pada jarak teratur dengan orientasi yang sama dalam keseluruhan kristal. Sebagai akibat dari susunan tersebut, kristal akan membentuk suatu struktur yang memiliki simetri.

Material padat dengan susunan antaratom yang tidak teratur tidak dapat dikatakan sebagai mineral, tetapi disebut sebagai **amorf** atau **gelasan**. Sebagai contoh adalah obsidian yang merupakan gelas vulkanik berkomposisi dominan silika. Atom tidak sempat tersusun sebagai kristal karena pembekuan yang relatif cepat. Berbeda dengan mineral kuarsa yang merupakan kristal silika (Gambar 2.2.).



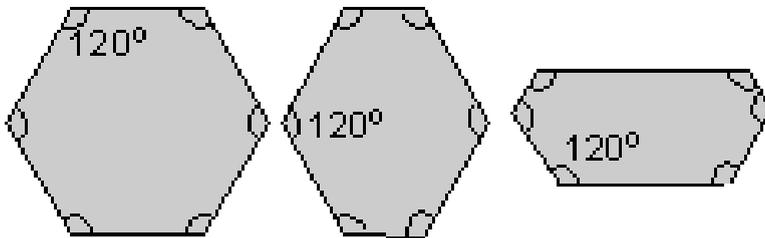
Gambar 2.2 Perbandingan susunan molekul SiO₂ pada kristal kuarsa dan gelas/amorf (Physics Open Lab, 2018)

B. Morfologi Kristal

Morfologi kristal dapat diartikan sebagai bentuk tubuh kristal, yang dibatasi oleh sejumlah bidang muka kristal. Morfologi kristal menjadi

kunci penting dalam penentuan jenis mineral, karena setiap mineral memiliki morfologi yang khas sesuai dengan:

1. Hukum Steno tentang Ketetapan Sudut Antarmuka (*Law of the Constancy of Interfacial Angles*): “Sudut antara dua bidang yang berpotongan pada kristal material padat tertentu akan selalu konstan.” (Gambar 2.3)
2. Tingkat pertumbuhan kristal ketika terjadi kristalisasi, yang berpengaruh pada ukuran dan keteraturan bidang batas kristal. Semakin cepat suatu bahan mengkristal, semakin halus dan tidak beraturan bentuknya. Semakin lambat proses kristalisasi, kristal mineral yang terbentuk semakin besar dan bidang batasnya semakin jelas.



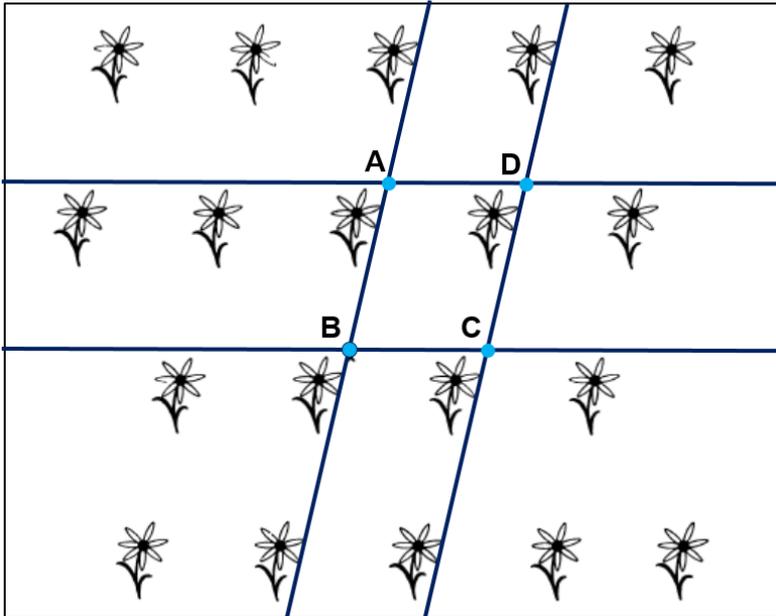
Gambar 2.3. Ketetapan sudut antarmuka pada suatu kristal meski ukuran dan bentuk kristal berbeda (Nelson, 2013)

C. Titik Kisi (*Lattice Point*)

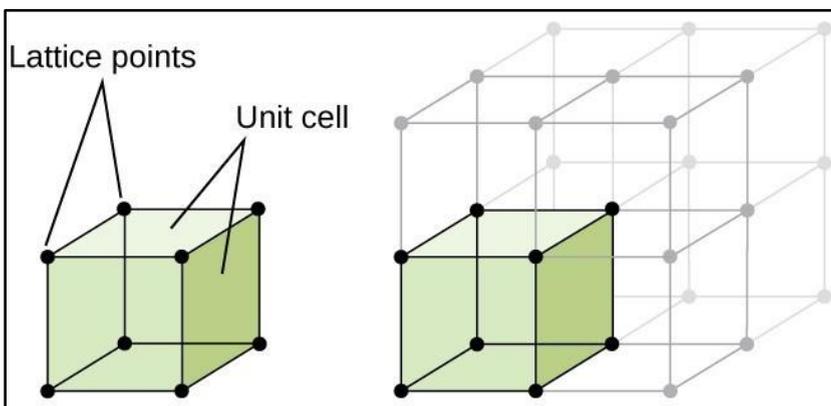
Titik kisi merupakan suatu titik-titik berulang di dalam kristal yang memiliki kenampakan sekitar yang identik satu sama lain dan antara titik satu dengan lainnya memiliki posisi dan jarak konstan satu sama lain. Titik kisi dapat dibayangkan jika kita masuk ke dalam suatu struktur kristal garam dengan komposisi NaCl dan berdiri di samping suatu atom Cl sambil mengamati kenampakan relatif terhadap atom Na dan Cl lain di sekitar kita. Jika kita berjalan lurus dan berhenti tepat di samping atom Cl lainnya, maka kenampakan kedua yang kita amati ini akan sama persis dengan kenampakan sebelumnya (Gambar 2.4).

Karena kristal merupakan pola tiga dimensi yang berulang, titik kisi ini digunakan sebagai representasi untuk mengilustrasikan simetri pada kristal (Gambar 2.5.). Titik kisi ini tidak harus titik posisi atom dalam kristal, namun dapat berupa titik sembarang yang posisinya konstan terhadap atom. Empat titik kisi yang berpotongan selanjutnya disebut

sebagai kisi/*lattice*, yaitu bidang paralelogram yang membangun bidang kristal. Bidang kristal akan berpotongan satu sama lain dengan sudut tertentu membentuk tubuh kristal.



Gambar 2.4. Titik A, B, C, D adalah titik kisi yang masing-masing memiliki kenampakan sekitar identik. Bidang ABCD merupakan kisi berbentuk paralelogram yang menyusun bidang mineral (Sands, 1975)

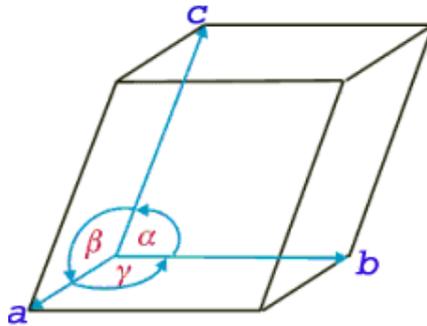


Gambar 2.5. Titik kisi berjarak teratur dalam tampilan tiga dimensi (Lumen Learning, 2020)

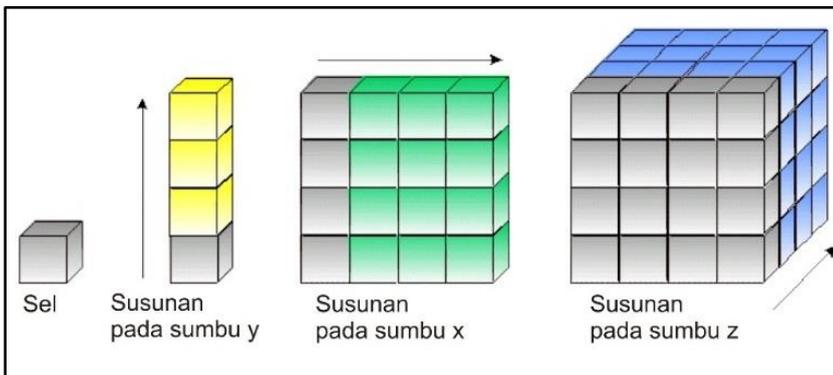
D. Sel Unit

Jika setiap titik kisi dihubungkan oleh garis lurus, maka didapatkan bentukan dua dimensi berbentuk paralelogram, yang kemudian terhubung membentuk ruang tiga dimensi yang disebut sel unit. Unit inilah yang menjadi satuan penyusun kristal secara keseluruhan. Ukuran dan bentuk satu sel unit dinyatakan dalam parameter tiga vektor, yaitu sumbu a , b , dan c yang masing-masing berhubungan pada sudut antarmuka tertentu, yaitu:

1. Sudut antara sumbu b dan $c = \alpha$
2. Sudut antara sumbu a dan $c = \beta$
3. Sudut antara sumbu a dan $b = \gamma$



Gambar 2.6. Satu sel unit kristal dengan dimensi (a , b , c) dan sudut tertentu (α , β , dan γ) (Blaber, 1996)



Gambar 2.7. Susunan berulang dari sejumlah sel-sel yang identik (Blaber, 1996)

E. Indeks Miller

Suatu tubuh kristal dapat memiliki bidang muka, bidang simetri, dan bidang yang tidak berhubungan dengan simetri kristal.. Suatu kristal mineral adalah susunan sel-sel unit dalam jumlah mencapai tak hingga. Karena pada setiap jenis mineral memiliki besaran vektor ($a, b, c; \alpha, \beta, \gamma$) yang tetap, maka setiap bidang pada kristal, seberapapun dimensinya akan memiliki perbandingan unit vektor yang tetap.

Untuk mempermudah penyebutan dan penggambaran, setiap bidang kristal diberikan notasi tiga angka yang disebut Indeks Miller. Penentuan Indeks Miller bidang kristal ini sangat berguna dalam identifikasi mineral secara optik, karena setiap bidang kristal yang berbeda dari suatu mineral dapat menampilkan sifat optik yang berbeda pula pada mikroskop polarisasi.

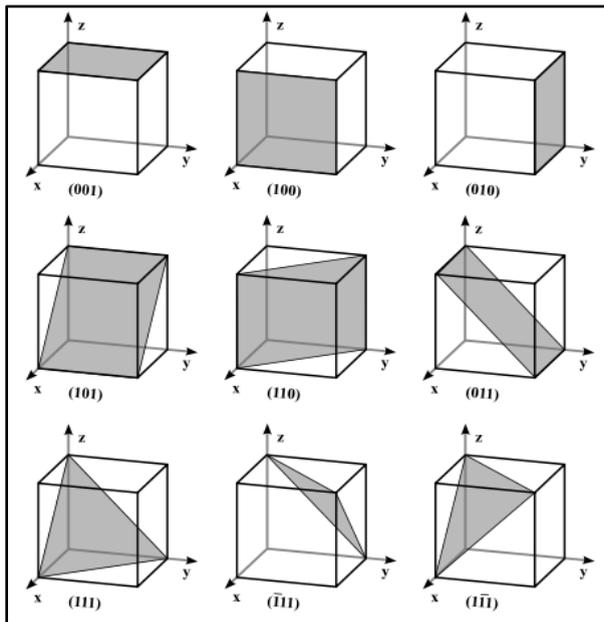
Notasi Indeks Miller dituliskan sebagai berikut:

(hkl)

Yang mana: h = jumlah unit vektor x

k = jumlah unit vektor y

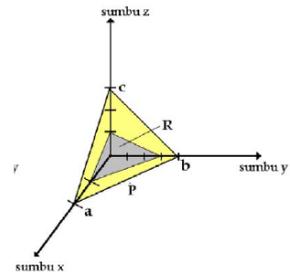
l = jumlah unit vektor z



Gambar 2.8. Contoh penyebutan Indeks Miller pada beberapa bidang pada kubik (Sengupta, 2015)

Indeks Miller selalu berupa bilangan bulat. Apabila nilai perpotongan pada tiap vektor merupakan bilangan pecahan, maka dibalik atau dicari bilangan resiproknya. Hilangkan pecahan dengan mengalikan dengan kelipatan terkecilnya untuk menghasilkan bilangan bulat terkecil dari bilangan resiprok (nilai resiprok). Apabila suatu bidang paralel pada suatu sumbu, maka vektornya tak hingga dan nilai resiproknya adalah nol.

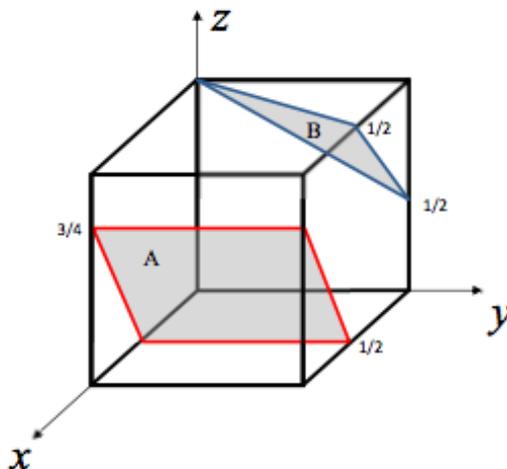
Unsur Bidang R	a	b	c
Intercept (perpotongan vektor seperti Indeks Weiss)	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{3}$
Reciprocal (bilangan yang berbanding terbalik dari intercept)	$\frac{2}{1}$	$\frac{4}{3}$	$\frac{3}{1}$
Reciprocal Value (bilangan bulat terkecil dari bilangan resiprok)	6	4	9
Miller Index (konversi langsung dari nilai resiprok)	6	4	9



Gambar 2.9. Contoh penentuan indeks Miller pada suatu bidang kristal

2.2.2. Latihan

1. Buatlah contoh sketsa susunan atom suatu mineral!
2. Jelaskan perbedaan kristal dan gelas!
3. Tuliskan indeks Miller untuk bidang A dan B pada gambar:



2.3. Penutup

2.3.1. Rangkuman

Kristal adalah suatu material padat yang dibatasi oleh bidang permukaan alami dalam bentuk polihedral, yang merupakan wujud dari susunan teratur dan berulang atom-atom penyusunnya. Sedangkan material padat yang susunan atomnya tidak teratur disebut sebagai gelas/amorf. Kristal dapat berukuran halus maupun kasar bergantung pada kondisi geologi pembentuknya. Keteraturan susunan atom dalam bidang tiga dimensi berupa sel unit pembangun kristal yang identik satu sama lain dalam satu mineral yang sama. Hal ini disebabkan karena jarak dan sudut antaratom yang dipengaruhi ikatan kimianya. Bidang kristal saling berpotongan satu sama lain pada sudut yang sama menurut Hukum Steno, meskipun ukuran kristal mineral dan bentuk luarnya berbeda-beda. Dalam menggambarkan bidang kristal, digunakan sistem koordinat dan notasi yang menunjukkan rasio perpotongan bidang pada tiap sumbu. Notasi yang sering digunakan adalah Indeks Miller yang selalu berupa bilangan bulat untuk memudahkan penulisan.

2.3.2. Tes Formatif

Jawablah soal di bawah:

1. Material padat dengan susunan atom teratur disebut kristal, sedangkan yang tidak teratur disebut:
 - a. Mineral
 - b. Batuan
 - c. Gelasan
 - d. Magma
2. Hukum Steno "Constancy of Interfacial Angle" berarti:
 - a. Setiap mineral memiliki ukuran yang konstan
 - b. Keteraturan susunan atom pada mineral
 - c. Setiap bidang muka kristal suatu mineral berpotongan pada sudut yang sama
 - d. Kristal mineral memiliki bidang yang mencerminkan satu sama lain
3. Ruang tiga dimensi yang menjadi satuan penyusun kristal mineral disebut
 - a. Sel unit
 - b. Titik kisi

- c. Sudut antarmuka
 - d. Paralelogram
4. Penggambaran bidang kristal menggunakan indeks yang hanya berupa bilangan bulat yaitu
- a. Indeks Weiss
 - b. Indeks Miller
 - c. Indeks Mohs
 - d. Indeks Kerr

2.3.3. Umpan Balik

Mahasiswa dianggap mampu memahami kristalografi apabila mampu menjelaskan tentang pengertian kristal dan amorf serta memberikan contohnya, menjelaskan titik kisi dan sel unit sebagai satuan penyusun kristal, hukum Steno, dan menentukan indeks Miller suatu bidang kristal paling tidak 80% benar.

2.3.4. Tindak Lanjut

Mahasiswa dapat melanjutkan ke materi selanjutnya jika mampu menjawab tes formatif dan latihan dengan benar minimal 80% dari keseluruhan soal.

2.3.5. Kunci Jawaban Tes Formatif

1. c
2. c
3. a
4. b

DAFTAR PUSTAKA

Blaber, M., 1996, *Structures of Solids*, <http://www.mikeblaber.org/oldwine/chm1045/notes/Forces/Solids/Forces07.htm>, diakses pada 25 Mei 2020.

Lumen Learning, 2020, *Lattice Structure in Crystalline Solids*, <https://courses.lumenlearning.com/chemistryformajors/chapter/lattice-structures-in-crystalline-solids-2/>, diakses pada 25 Mei 2020

Nelson, S.A., 2013, *Introduction and Symmetry Operations*, <http://www.tulane.edu/~sanelson/eens211/introsymmetry.htm>, diakses pada 25 Mei 2020

Physics Open Lab, 2018, *Crystalline and Amorphous Solids*, <http://physicsopenlab.org/2018/02/13/crystalline-and-amorphous-solids/>, diakses pada 25 Mei 2020

Sands, D.E., 1975, *Introduction to Crystallography*, New York: Dover Publications, Inc.

Sengupta, A., 2015, *Basic Solid-State Physics and Crystallography, Introduction to Nano* pp 27-57.

SENARAI

- Obsidian** : batuan yang terbentuk dari pembekuan magma bersifat asam yang sangat cepat sehingga tidak sempat membentuk kristal, umumnya memiliki kenampakan seperti kaca gelap berwarna hitam atau kehijauan. Mirip mineral sehingga sering disebut mineraloid
- Paralelogram** : bentuk geometri berupa bidang dua dimensi yang mana sisi berlawanan saling sejajar dan memiliki panjang yang sama, sehingga sudut berlawanan memiliki besar yang sama.

POKOK BAHASAN 3: UNSUR SIMETRI KRISTAL

3.1. Pendahuluan

3.1.1. Deskripsi Singkat

Pokok bahasan ini membahas tentang unsur simetri yang ada pada kristal yaitu pusat simetri, sumbu simetri, bidang simetri, dan simetri gabungan. Dalam kristalografi, simetri kristal digunakan untuk mengkarakterisasi kristal.

3.1.2. Relevansi

Unsur simetri merupakan perwujudan dari keteraturan struktur internal kristal. Pengetahuan mengenai unsur simetri sangat penting dalam kristalografi untuk mengelompokkan sistem kristal dan menentukan apakah dua kristal memiliki struktur yang sama.

3.1.3. Kompetensi

Setelah mempelajari pokok bahasan ini, mahasiswa mampu:

1. Menyebutkan unsur simetri kristal: pusat simetri, bidang simetri, sumbu simetri, dan simetri gabungan
2. Menunjukkan unsur simetri kristal pada suatu kristal dan menggambarannya dengan benar

3.2. Penyajian

3.2.1. Uraian Materi

A. Definisi Simetri Kristal

Dalam sejarah perkembangan ilmu kristalografi, pengamatan kristal diawali dengan adanya simetri eksternalnya. Sebagai contoh, kristal es berbentuk heksagonal atau kristal garam berbentuk kubik sempurna. Akhirnya terbukti bahwa bentuk simetris ini adalah manifestasi dari struktur internal susunan molekul di dalamnya. Molekul di dalam suatu mineral tersusun oleh adanya ikatan antaratom yang khas dengan jarak dan sudut tertentu untuk menyeimbangkan energi dan muatannya. Penggunaan unsur simetri sangat relevan dalam studi ilmu kimia, untuk membedakan suatu material dengan material lain. Begitu pula pada mineralogi, untuk mengenali dan mengelompokkan sistem kristal pada mineral.

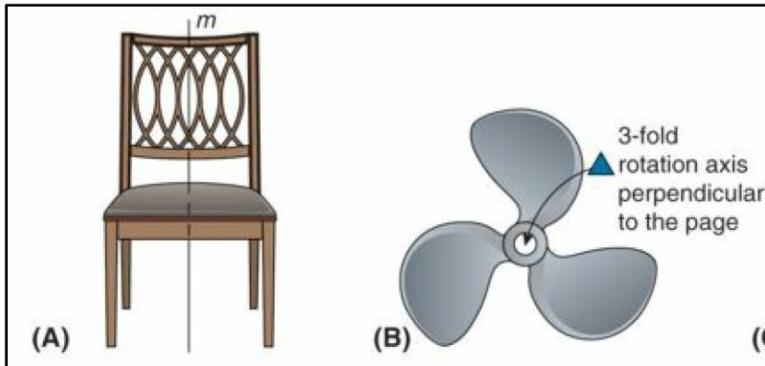
Benda dikatakan memiliki unsur simetri jika suatu operasi atau pergerakan terukur dari benda tersebut menunjukkan posisi dan

kenampakan yang sama dengan sebelumnya (Sands, 1975). Pergerakan ini adalah putaran dan pembalikan, yang terukur pada sudut tertentu. Unsur simetri terdiri dari:

Tabel 3.1. Unsur simetri pada kristal (Klein dan Philpotts, 2017)

Unsur simetri	Prosedur Operasi
Simetri pada titik/ pusat simetri (<i>center of symmetry/inversion = i atau $\bar{1}$</i>)	Menginversi atau melakukan pembalikan terhadap suatu titik
Simetri pada garis/ sumbu simetri (<i>rotation axis = n</i>)	Merotasi/memutar pada suatu sumbu dengan sudut $360^\circ/n$ pada satu putaran penuh, $n = 1, 2, 3, 4,$ atau 6
Simetri pada bidang/ bidang simetri (<i>mirror plane = m</i>)	Mencerminkan terhadap suatu bidang
Simetri gabungan/ sumbu rotoinversi (<i>rotoinversion axis = \bar{n}</i>)	Sumbu rotasi yang sekaligus memiliki pusat simetri

*Keterangan: $\bar{1}$, n , m , dan \bar{n} adalah simbol internasional tiap unsur simetri, lebih lanjut dijelaskan pada pokok bahasan selanjutnya

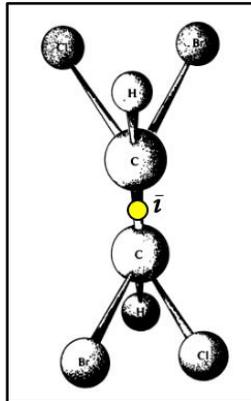


Gambar 3.1. Contoh simetri pada benda, (a) kursi memiliki bidang simetri m yang berlaku seperti cermin dan (b) baling-baling kapal memiliki sumbu simetri lipat 3 atau kenampakan yang sama 3x jika diputar penuh (Klein dan Philpotts, 2017)

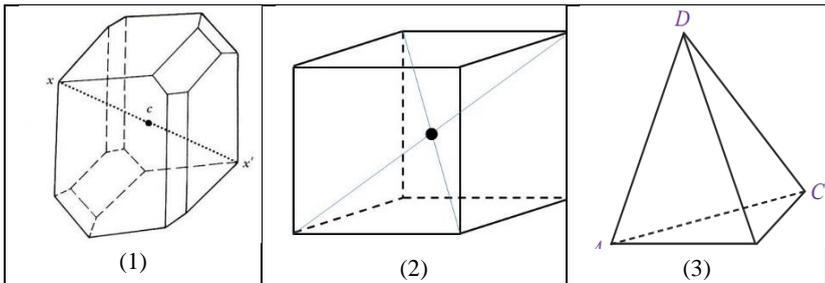
B. Pusat Simetri Kristal ($\bar{1}$)

Suatu kristal disebut memiliki pusat simetri jika tiap titik pada permukaan kristal memiliki satu titik yang identik pada sisi yang berseberangan dan berjarak sama dengan pusat tersebut. Atau dengan kata lain, tiap bidang sisi kristal juga mempunyai pasangan sisi yang berseberangan yang berjarak sama dengan pusat tersebut. Contoh dapat

dilihat pada Gambar 3.2, terdapat dua molekul CHBrCl yang masing-masing atomnya memiliki atom identik pada molekul yang berseberangan dengan jarak dan sudut yang sama dari pusat titik kuning. Dalam penggambaran tiga dimensi, kubik memiliki pusat simetri sedangkan tetrahedron tidak memiliki pusat simetri (Gambar 3.3). Pusat simetri sering disebut sebagai **inversi** yang disimbolkan secara internasional dengan huruf *i* atau \bar{i} , sedangkan penggambaran pada sketsa ditandai dengan titik.



Gambar 3.2. Struktur molekul yang memiliki pusat simetri (modifikasi Sands, 1975)



Gambar 3.3. Contoh penggambaran kristal yang memiliki (1 dan 2) dan yang tidak memiliki (3) pusat simetri (Studyblue, 2018)

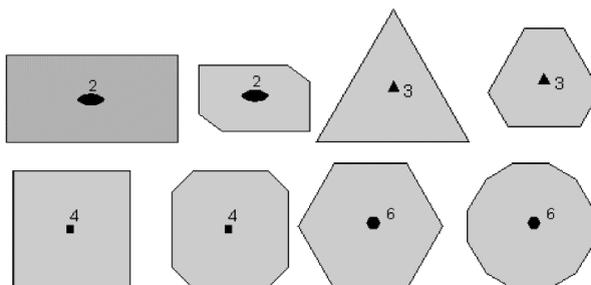
C. Sumbu Simetri Kristal (*n*)

Sumbu simetri kristal adalah suatu garis imajiner yang ketika suatu kristal dirotasi pada poros sumbu tersebut satu putaran penuh (360°), terdapat lebih dari satu kenampakan yang sama/identik. Dalam satu rotasi, sisi identik akan muncul pada besaran sudut tertentu. Jika kenampakan identik muncul setiap putaran 180° , maka disebut sumbu lipat dua (*2, diad*)

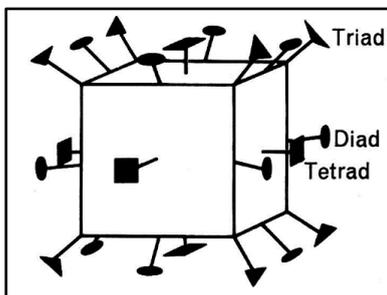
yang artinya muncul dua kenampakan identik pada satu rotasi penuh. Selanjutnya, terdapat sumbu lipat tiga (3, *triad*), sumbu lipat empat (4, *tetrad*), sumbu lipat enam (6, *hexad*), dan seterusnya bergantung berapa jumlah kenampakan identik muncul. Sumbu simetri sering disebut **sumbu putar/ sumbu rotasi** yang secara internasional disimbolkan dengan **n**, yang mana n adalah bilangan sejumlah kenampakan identik dalam satu putaran penuh, $n = 1, 2, 3, 4,$ atau 6. Selain simbol penulisan berupa angka n, terdapat pula simbol penggambaran sebagaimana terangkum dalam Tabel 3.2 dengan ilustrasi pada Gambar 3.4 dan 3.5.

Tabel 3.2 Jenis sumbu simetri/ sumbu rotasi (Klein dan Philpotts, 2017)

Type of rotation axis	Angle of rotation	Symbol or letter
1-fold rotation = 1	360°	none
2-fold rotation = 2	180°	
3-fold rotation = 3	120°	
4-fold rotation = 4	90°	
6-fold rotation = 6	60°	



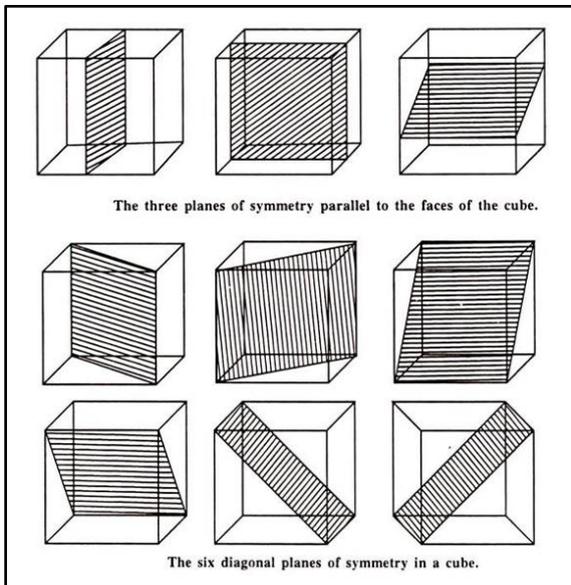
Gambar 3.4. Simbol sumbu simetri digambarkan pada bidang 2-D (Nelson, 2013)



Gambar 3.5. Tigabelas sumbu simetri pada kubik (Klein, 2001)

D. Bidang Simetri Kristal (m)

Bidang simetri adalah suatu bidang imajiner yang memotong kristal menjadi dua bagian yang saling mencerminkan satu sama lain, oleh karenanya sering disebut sebagai cermin kristal. Suatu kristal dapat memiliki beberapa bidang simetri. Misalnya, sebuah bola memiliki bidang simetri yang tak terbatas. Suatu kubik memiliki beberapa bidang simetri sebagaimana gambar di bawah. Bidang simetri disimbolkan secara internasional dengan huruf m yang berasal dari kata *mirror* 'cermin'. Pada penggambarannya dalam sketsa, bidang simetri dapat diarsir berbeda dengan bidang kristal dengan garis batas yang tegas (Gambar 3.6).

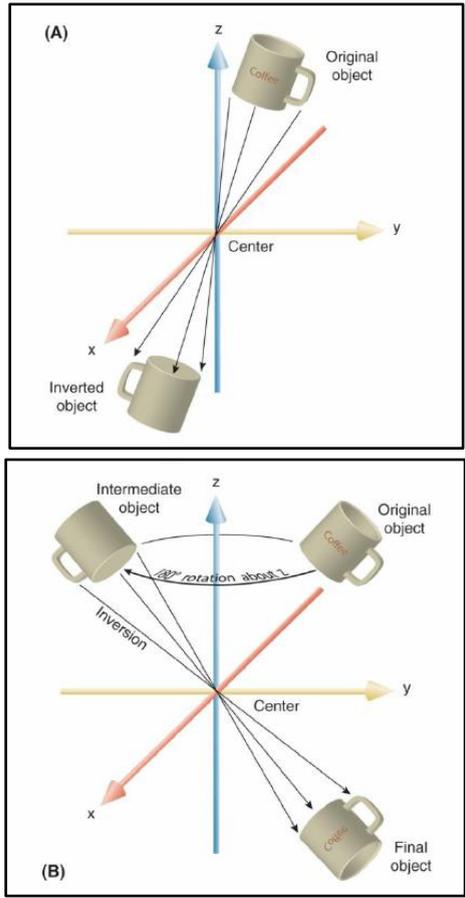


Gambar 3.6. Contoh bidang simetri pada kristal kubik (Lokesh, 2020)

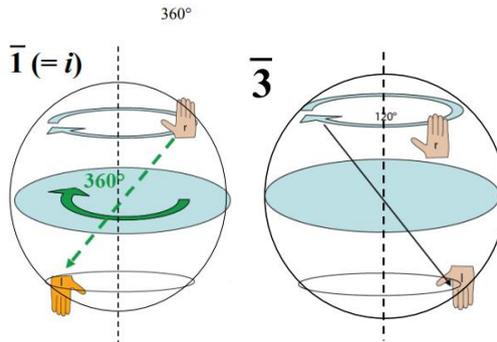
E. Simetri Gabungan/ Sumbu Rotoinversi (\bar{n})

Simetri ini adalah gabungan dari dua unsur simetri sekaligus, dalam hal ini sumbu rotoinversi yang berarti sumbu rotasi sekaligus berlaku sebagai sumbu inversi. Simetri diperoleh dengan merotasi kristal pada sudut tertentu (60° , 90° , 120° , atau 180°), kemudian menginversi atau membalikinya terhadap suatu bidang simetri. Apabila pada prosedur operasi tersebut kenampakan akhir yang dihasilkan identik, maka kristal dikatakan memiliki sumbu rotoinversi (Gambar 3.7). Sumbu rotoinversi

disimbolkan secara internasional sesuai simbol sumbu rotasinya, ditambahkan garis di atas angka sumbu rotasi tersebut. Sebagai contoh, pusat simetri sebenarnya merupakan sumbu rotoinversi yang diputar satu putaran penuh sehingga simbolnya adalah $\bar{1}$ (Gambar 3.8).



Gambar 3.7. Prosedur operasi pusat simetri dan sumbu rotoinversi, (a) objek diinversi melalui suatu pusat simetri, sedangkan (b) objek dirotasi 180° melalui sumbu simetri lipat dua kemudian diinversi menghasilkan sumbu rotoinversi (Klein dan Philpotts, 2017)



Gambar 3.8. Sumbu rotoinversi 360° atau pusat simetri (kiri) dan sumbu rotoinversi lipat tiga yang diputar 120° (kanan) dengan simbol penulisannya (Klein dan Philpotts, 2017)

Tabel 3.3. Jenis sumbu rotoinversi (Klein dan Philpotts, 2017)

Type of rotation axis	Angle of rotation	Symbol or letter
1-fold rotoinversion = $\bar{1}^a$	360°	i^a
2-fold rotoinversion = $\bar{2}^b$	180°	m^b
3-fold rotoinversion = $\bar{3}^c$	120°	
4-fold rotoinversion = $\bar{4}$	90°	
6-fold rotoinversion = $\bar{6}^d$	60°	

Keterangan: ^a i = inversi atau pusat simetri

^b m = sumbu rotoinversi lipat 2 tidak ditulis $\bar{2}$ tetapi cukup m saja

^c $\bar{3}$ setara sumbu simetri lipat 3 dikombinasikan dengan pusat simetri

^d $\bar{6}$ setara dengan sumbu simetri lipat 3 dengan cermin tegaklurus ($3/m$)

3.2.2. Latihan

Kerjakan latihan berikut:

Pada peraga kristal dari kayu yang disediakan, tentukan unsur simetri dari minimal 2 peraga dan gambarkan sketsanya! Tugas ditulis dan digambar rapi kemudian dikumpulkan pada pertemuan berikutnya

3.3. Penutup

3.3.1. Rangkuman

Simetri eksternal suatu kristal merupakan perwujudan dari keteraturan susunan molekul atom internalnya. Benda dikatakan memiliki unsur simetri jika suatu operasi atau pergerakan terukur dari benda tersebut

menunjukkan posisi dan kenampakan yang sama dengan sebelumnya. Terdapat tiga unsur simetri kristal utama yaitu pusat simetri, sumbu simetri, dan bidang simetri. Selain itu terdapat simetri gabungan yaitu sumbu rotoinversi yang merupakan perpaduan pusat simetri dan sumbu simetri. Penentuan unsur simetri penting untuk nantinya mengelompokkan sistem kristal.

3.3.2. Tes Formatif

Jawablah pertanyaan berikut ini:

1. Apa kaitan struktur internal kristal dengan kenampakan eksternalnya?
2. Bagaimana prosedur dalam menentukan sumbu simetri?
3. Sebutkan simbol internasional dari tiga unsur simetri kristal utama!

3.3.3. Umpan Balik

Mahasiswa dianggap mampu memahami konsep dasar mineralogi apabila mampu menyebutkan unsur simetri kristal dan menunjukkannya pada contoh peraga kristal paling tidak 80% benar.

3.3.4. Tindak Lanjut

Mahasiswa dapat melanjutkan ke materi selanjutnya jika mampu menjawab tes formatif dan latihan dengan benar minimal 80% dari keseluruhan soal.

3.3.5. Kunci Jawaban Tes Formatif

1. Struktur internal kristal adalah susunan teratur dari molekul atom yang secara kimia berikatan pada jarak dan sudut tertentu, bergantung energi dan muatan atomnya. Keteraturan tersebut akan mempengaruhi bentuk eksternal dan geometri kristal yang teratur pula, dan dapat dilihat melalui keberadaan unsur simetri.
2. Kristal diputar dalam satu putaran penuh, dan dihitung berapa kali menunjukkan kenampakan yang identik. Jika tiap 120° terdapat kenampakan identik yang menghasilkan 3 kenampakan pada satu putaran penuh, maka dikatakan bahwa kristal memiliki sumbu simetri lipat tiga.
3. Pusat simetri = i , sumbu simetri = n ($n=1, 2, 3$ tergantung jumlah kenampakan identik pada satu putaran penuh), dan bidang simetri = m .

DAFTAR PUSTAKA

Klein, C., 2001, *Manual of Mineral Science*, USA: Wileys.

Klein, C., Philpotts, A.R., 2017, *Earth Material: Introduction to Mineralogy and Petrology*, UK: Cambridge University Press.

Lokesh, N., 2020, Crystal Symmetry in Solids, <https://www.engineeringenotes.com/engineering/crystal-symmetry-in-solids-materials-engineering/33707>, diakses pada 30 Mei 2020

Nelson, S.A., 2013, *Introduction and Symmetry Operations*, <http://www.tulane.edu/~sanelson/eens211/introsymmetry.htm>, diakses pada 25 Mei 2020

Sands, D.E., 1975, *Introduction to Crystallography*, New York: Dover Publications, Inc.

Studyblue, 2018, *Crystal Systems*, <https://www.studyblue.com/notes/note/n/crystal-systems/deck/235441>, diakses pada 25 Mei 2020

SENARAI

- Simetri** : Unsur yang menunjukkan kesamaan geometri pada suatu objek yang dilihat melalui prosedur tertentu seperti pemutaran dan pembalikan
- Pusat simetri** : Suatu titik acuan yang mana tiap titik/bidang pada permukaan kristal memiliki satu titik/bidang identik pada sisi yang berseberangan dengan titik acuan tersebut.
- Sumbu simetri** : Suatu garis yang menjadi acuan jika kristal diputar terhadapnya akan menghasilkan satu atau lebih kenampakan identik .
- Bidang simetri** : Suatu bidang yang membagi kristal menjadi dua bagian sama persis dan saling mencerminkan satu sama lain.
- Sumbu rotoinversi** : Gabungan dari sumbu rotasi yang diikuti inversi pada suatu titik pusat simetri

POKOK BAHASAN 4: SISTEM DAN KELAS KRISTAL

4.1. Pendahuluan

4.1.1. Deskripsi Singkat

Pokok bahasan ini menjelaskan mengenai pengelompokan kristal melalui suatu sistem dan kelas berdasarkan keberadaan unsur simetrinya, polimorf, serta penggambaran dan penulisan simbol/notasi yang menunjukkannya.

4.1.2. Relevansi

Pembelajaran dari materi ini memerlukan pemahaman materi sebelumnya yaitu mengenai unsur simetri kristal. Dengan demikian, mahasiswa dapat mengelompokkan dan membedakan apakah suatu kristal memiliki sistem yang sama dengan kristal lainnya.

4.1.3. Kompetensi

Setelah mempelajari pokok bahasan ini, mahasiswa diharapkan mampu:

1. Menjelaskan tentang sistem kristal dan menyebutkan 6 sistem kristal utama serta menyebutkan contoh kelas kristalnya
2. Menjelaskan perbedaan unsur simetri pada beberapa sistem kristal yang berbeda
3. Menggambar dan menentukan notasi atau simbol sistem kristal berdasarkan unsur simetrinya

4.2. Penyajian

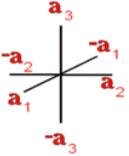
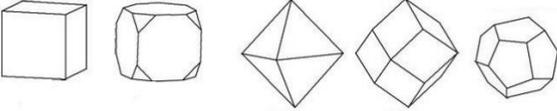
4.2.1. Uraian Materi

A. Sistem Kristal

Sifat internal kristal yang memiliki dimensi dan simetri tertentu sebagaimana dijelaskan sebelumnya merupakan dasar pengelompokan sistem dan kelas kristal. Kristal dengan unsur simetri yang sama umumnya memiliki kenampakan dan sifat optik yang sama. Oleh karena itu, penentuan unsur simetri dalam suatu kristal akan mempermudah klasifikasi dan identifikasi mineral. Terdapat 6 (atau 7 jika heksagonal dan trigonal dipisahkan) sistem kristal utama berdasarkan perbandingan panjang sumbu dan sudut perpotongannya, yang kemudian dapat diturunkan menjadi 32 kelas kristal (Klein dan Philpotts, 2017). Suatu sistem dapat memiliki banyak variasi bentuk eksternal kristal, namun pada prinsipnya memiliki unsur simetri yang sama.

1. Sistem Kubik/Isometrik

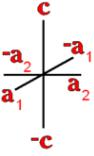
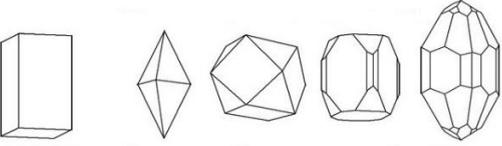
Sistem kristal ini dicirikan oleh tiga sumbu yang sama panjang dan semuanya saling tegaklurus satu sama lain.

	
$a = b = c$	Contoh mineral: halit, pirit, galena, garnet, intan, fluorit, magnetit, spinel, emas
$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	
 <p style="text-align: center;">Halit</p>	 <p style="text-align: center;">Magnetit</p>

Gambar 4.1. Ilustrasi sumbu, contoh bentuk kristal, dan mineral sistem kubik (Webmineral, 2020; Geology Page, 2014)

2. Sistem Tetragonal

Sistem kristal tetragonal dicirikan oleh dua sumbu yang sama panjang dengan satu sumbu lebih pendek atau lebih panjang. Ketiga sumbu membentuk sudut tegaklurus satu sama lain.

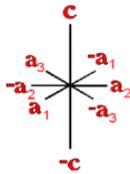
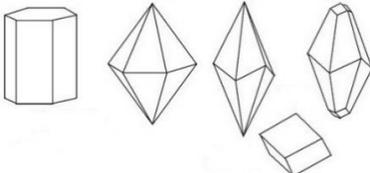
	
$a = b \neq c$	Contoh mineral: rutil, zircon, vesuvianit, kasiterit, kalkopirit, pirolusit
$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	
 <p style="text-align: center;">Zircon</p>	 <p style="text-align: center;">Kalkopirit</p>  <p style="text-align: center;">Rutil</p>

Gambar 4.2. Ilustrasi sumbu, contoh bentuk kristal, dan mineral sistem tetragonal (Webmineral, 2020; King, 2020; Minerals.net, 2020)

3. Sistem Heksagonal dan Trigonal/Rhombohedral

Sistem kristal heksagonal dicirikan oleh tiga sumbu yang terletak horisontal, sama panjang, dan saling membentuk sudut 120° . Terdapat sumbu keempat yang terletak vertikal dan membentuk sudut tegak lurus dengan ketiga sumbu lainnya. Sumbu keempat dapat lebih panjang atau lebih pendek.

Sedangkan sistem kristal trigonal ini seringkali dimasukkan dalam sistem kristal yang sama dengan heksagonal karena memiliki empat sumbu vektor. Perbedaannya adalah sistem ini tidak memiliki sumbu lipat enam, tetapi hanya memiliki sumbu lipat tiga. Hal ini disebabkan karena adanya kisi Bravais tambahan selain heksagonal, yaitu rhombohedral. Sehingga, sistem kristal trigonal ini sering pula disebut sistem rhombohedral.

		
$a = b \neq c$	Contoh mineral	
$\alpha = \beta = 90^\circ, \gamma = 120^\circ$	Heksagonal: beril, kuarsa, apatit, nefelin, vanadinit Trigonal: korundum, kalsit, dolomit, hematit, turmalin	
 <p style="text-align: center;">Kuarsa</p>	 <p style="text-align: center;">Kalsit</p>	 <p style="text-align: center;">Safir (korundum)</p>

Gambar 4.3. Ilustrasi sumbu, contoh bentuk kristal, dan mineral sistem heksagonal dan trigonal/ rombohedral (Webmineral, 2020; Minerals.net, 2020)

4. Sistem Ortorombik

Sistem kristal ortorombik dicirikan oleh tiga sumbu yang tidak sama panjang dan semua sumbu membentuk sudut tegak lurus satu sama lain.

$a \neq b \neq c$	Contoh mineral: aragonit, olivin, stilbit, sulfur,	
$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	ortopiroksen, topaz, barit	
<p>Aragonit</p>	<p>Topaz</p>	<p>Sulfur</p>

Gambar 4.4. Ilustrasi sumbu, contoh bentuk kristal, dan mineral sistem ortorombik (Webmineral, 2020; Minerals.net, 2020)

5. Sistem Monoklin

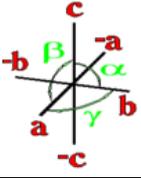
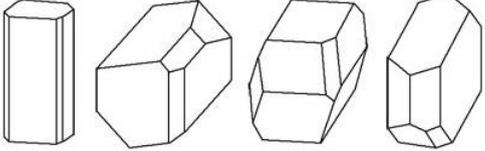
Sistem kristal monoklin dicirikan tiga sumbu yang tidak sama panjang dengan dua sumbu saling tegak lurus dan satu sumbu yang tidak tegak lurus terhadap sumbu lainnya.

$a \neq b \neq c$	Contoh mineral: klinopiroksen (augit, diopsid), epidot,	
$\alpha = \gamma = 90^\circ, \beta \neq 90^\circ$	ortoklas, gipsum, azurite, malachite	
<p>Ortoklas</p>	<p>Augit</p>	<p>Gipsum</p>

Gambar 4.5. Ilustrasi sumbu, contoh bentuk kristal, dan mineral sistem monoklin (Webmineral, 2020; Minerals.net, 2020)

6. Sistem Triklin

Sistem kristal triklin dicirikan oleh tiga sumbu yang tidak sama panjang dan tidak ada yang berpotongan secara tegaklurus. Sistem ini merupakan satu-satunya sistem kristal yang tidak memiliki bidang simetri.

			
$a \neq b \neq c$	Contoh mineral: kyanit, plagioklas, mikroklin,		
$\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$	turquoise, wollastonite, rhodonite		
 <p>Kyanit Foto © Rob Lavinsky</p>	 <p>Albit (plagioklas) Foto © Dan Weinrich</p>	 <p>Mikroklin Foto © John Betts</p>	

Gambar 4.6. Ilustrasi sumbu, contoh bentuk kristal, dan mineral sistem triklin
(Webmineral, 2020; Minerals.net, 2020)

B. Polimorf

Jika membahas mengenai susunan atom yang membentuk struktur kristal, perlu diketahui bahwa mineral dengan komposisi kimia yang sama dapat membentuk struktur kristal yang berbeda. Polimorfisme merupakan suatu senyawa kimia yang dapat membentuk mineral yang berbeda sebagai akibat dari perubahan tekanan, suhu, atau keduanya. Istilah ini berasal dari kata Yunani, *poly* yang berarti ‘banyak’, dan *morpho* yang berarti ‘bentuk’. Struktur kristal yang berbeda dari suatu senyawa kimia disebut sebagai polimorf (Tabel 4.1).

Tabel 4.1. Contoh polimorfisme pada mineral (Klein dan Philpotts, 2017)

Komposisi	Nama mineral	Sistem kristal	Berat jenis
SiO ₂	Kuarsa	Heksagonal	2,5-2,6
	Tridimit	Monoklin	2,27
	Kristobalit	Tetragonal	2,32
Al ₂ SiO ₅	Andalusit	Ortorombik	3,15
	Silimanit	Ortorombik	3,24
	Kyanit	Triklin	3,65
KAlSi ₃ O ₈ (Feldspar)	Mikroklin	Triklin	2,58
	Ortoklas	Monoklin	2,57
	Sanidin	Monoklin	2,57
C	Intan	Kubik	3,52
	Grafit	Heksagonal	2,23
CaCO ₃	Kalsit	Heksagonal (Trigonal)	2,71
	Aragonit	Ortorombik	2,94
FeS ₂	Pirit	Kubik	5,02
	Markasit	Ortorombik	4,89

C. Notasi dan Simbol Sistem Kristal

Pada setiap klasifikasi sistem atau kelas kristal, digunakan simbol internasional atau notasi tertentu untuk memudahkan pembacaan atribut unsur simetri, yaitu notasi Schonflies dan Hermann – Mauguin.

1. Notasi Schoenflies

Dalam notasi ini, simbol yang digunakan untuk tiap unsur simetri adalah:

- i** = pusat simetri
- C** (*Cyclic*) = sumbu rotasi
- S** (*Spiegel*, cermin dalam bahasa Jerman) = bidang simetri/cermin
- n** = mengikuti notasi lainnya, menyatakan orde simetri. Contoh: C_n = C₂ (sumbu lipat 2)
- Notasi khusus untuk kelompok kristal tertentu = **D** (dihedral), **T** (tetrahedral), **O** (octahedral), **I** (Icosahedral)
- h** = bidang simetri horisontal, mengikuti notasi lainnya. Contoh: D_{nh}, T_h

Dalam penentuan kelompok kristal, unsur simetri lebih mudah dan jelas dengan notasi Hermann-Mauguin yang dibahas selanjutnya sehingga notasi Schoenflies lebih jarang digunakan.

2. Notasi Hermann – Mauguin

Dalam pokok bahasan sebelumnya mengenai unsur simetri, telah disebutkan notasi internasional dengan simbol tertentu. Notasi internasional ini diperkenalkan oleh kristalografer Jerman bernama Carl Hermann dan ahli mineralogi Perancis bernama Charles-Victor Mauguin. Selanjutnya, notasi ini disebut sebagai notasi Hermann-Mauguin dan diadopsi di bidang kristalografi secara umum. Notasi ini lebih mudah ditentukan dan dibaca dibandingkan notasi Schoenflies (Sands, 1975).

Notasi Hermann-Mauguin mengkombinasikan simbol untuk unsur simetri sebagai berikut:

- a. Sumbu rotasi atau sumbu simetri, orde disimbolkan oleh angka n --- -- 1, 2, 3, 4, 5, 6 Misal, suatu kristal hanya memiliki sumbu lipat dua, maka simbolnya 2.
- b. Sumbu rotoinversi, disimbolkan dengan \bar{n} ----- $\bar{1}, \bar{2}, \bar{3}, \bar{4}$ Misal, suatu kristal memiliki sumbu lipat tiga dan pusat simetri, maka simbolnya $\bar{3}$.
- c. Pusat simetri merupakan sumbu rotoinversi lipat 1 sehingga dituliskan $\bar{1}$.
- d. Bidang simetri/ cermin, disimbolkan dengan m .
- e. Catatan: Dalam penulisan notasinya, terdapat beberapa aturan penyederhanaan misalnya jika sumbu rotasi n dan bidang simetri m memiliki arah sama, maka dituliskan n/m . Notasi yang ditulis hanya unsur dengan orde tertinggi. Misal $3/m$ harus ditulis $\bar{6}$ karena $\bar{6}$ sudah mengandung unsur m . Beberapa kelas memiliki dua versi notasi yaitu notasi penuh (*full*) dan pendek (*short*).

Tabel 4.2. Klasifikasi sistem kristal dan unsur simetri serta simbolisasinya (Webmineral, 2020)

Sistem Kristal	Kelas	Sumbu simetri				m	i	Schonflies	Hermann- Mauguin	
		Lipat 2	Lipat 3	Lipat 4	Lipat 6				Full	Short
Triklin	Pedial	-	-	-	-	-	-	C ₁	1	-
	Pinacoidal	-	-	-	-	-	ya	C _i	$\bar{1}$	—
Monoklin	Domatic	-	-	-	-	1	-	C _s	m	-
	Sphenoidal	1	-	-	-	-	-	C ₂	2	-
	Prismatic	1	-	-	-	1	ya	C _{2h}	2/m	-
Ortorombik	Pyramidal	1	-	-	-	2	-	C _{2v}	mm2	-
	Disphenoidal	3	-	-	-	-	-	D ₂	222	-
	Dipyramidal	3	-	-	-	3	ya	D _{2h}	2/m 2/m 2/m	mmm
Tetragonal	Disphenoidal	1	-	-	-	-	-	S ₄	4	—
	Pyramidal	-	-	1	-	-	-	C ₄	4	-
	Dipyramidal	-	-	1	-	1	ya	C _{4h}	4/m	-
	Scalenohehdral	3	-	-	-	2	-	D _{2d}	$\bar{4}2m$	$\bar{4}2m$
	Ditetragonal-pyramidal	-	-	-	-	4	-	C _{4v}	4mm	-
	Trapezohedral	4	-	1	-	-	-	D ₄	422	-
Trigonal	Ditetragonal-dipyramidal	4	-	1	-	5	ya	D _{4h}	4/m 2/m 2/m	4/mmm
	Pyramidal	-	1	-	-	-	-	C ₃	3	-
	Rhombohedral	-	1	-	-	-	ya	S ₆ (C _{3i})	$\bar{3}$	—
	Ditrigonal-pyramidal	-	1	-	-	3	-	C _{3v}	3m	-
	Trapezohedral	3	1	-	-	-	-	D ₃	32	-
Heksagonal	Hexagonal-scalenohehdral	3	1	-	-	3	ya	D _{3d}	$\bar{3} 2/m$	$\bar{3}m$
	Pyramidal	-	-	-	1	-	-	C ₆	6	-
	Trigonal-dipyramidal	-	1	-	-	1	-	C _{3h}	$\bar{6}$	—
	Dipyramidal	-	-	-	1	1	ya	C _{6h}	6/m	-
	Trapezohedral	6	-	-	-	1	-	D ₆	622	-
	Dihexagonal-pyramidal	-	-	-	1	6	-	C _{6v}	6mm	-
	Ditrigonal-dipyramidal	3	1	-	-	4	-	D _{3h}	$\bar{6}m2$	—
Kubik/ Isometrik	Dihexagonal-dipyramidal	6	-	-	1	7	ya	D _{6h}	6/m 2/m 2/m	6/mmm
	Tetartoidal	3	4	-	-	-	-	T	23	-
	Diploidal	3	4	-	-	3	ya	T _h	2/m $\bar{3}$	m $\bar{3}$
	Gyroidal	6	4	3	-	-	-	O	432	-
	Hextetrahedral	3	4	-	-	6	-	T _d	$\bar{4}3m$	$\bar{4}3m$
Hexoctahedral	6	4	3	-	9	ya	O _h	4/m 3 2/m	m $\bar{3}m$	

4.2.2. Latihan

Kerjakan secara berkelompok dengan anggota 4-5 orang tugas berikut ini:

Buatlah satu peraga kristal dari material kayu atau kerangka besi sesuai pembagian kelas kristal. Deskripsikan peraga kristal tersebut menurut unsur simetrinya, gambarkan sketsa, dan tentukan notasi Hermann-Mauguinnya. Laporan diketik dan dikumpulkan bersama dengan peraganya pada akhir Ujian Tengah Semester.

4.3. Penutup

4.3.1. Rangkuman

Berdasarkan rasio panjang sumbu dan sudut yang dibentuk pada perpotongannya, kristal terbagi menjadi 6 sistem kristal yaitu triklin, monoklin, ortorombik, tetragonal, heksagonal dan trigonal, serta kubik. Dengan mendeterminasi unsur simetri kristal, dapat dikelompokkan lebih jauh menjadi 32 kelas kristal. Penulisan notasi internasional diperlukan untuk memudahkan penyebutan unsur simetri kristal dengan menggunakan notasi Hermann-Mauguin.

4.3.2. Tes Formatif

Jawablah pertanyaan di bawah ini:

1. Sistem kristal yang ketiga sumbunya saling tegaklurus, namun salah satu sumbu lebih panjang dibandingkan yang lain adalah:
 - a. Ortorombik
 - b. Monoklin
 - c. Kubik
 - d. Tetragonal
2. Perbedaan polimorf CaCO_3 pada sistem kristalnya yaitu:
 - a. Kalsit termasuk dalam sistem monoklin
 - b. Kalsit termasuk dalam sistem ortorombik
 - c. Aragonit termasuk dalam sistem triklin
 - d. Aragonit termasuk dalam sistem ortorombik
3. Sistem kristal triklin memiliki karakteristik:
 - a. Semua sumbu tidak sama panjang dan tidak tegaklurus
 - b. Semua sumbu sama panjang dan saling tegaklurus
 - c. Semua sumbu sama panjang dan saling tegaklurus
 - d. Dua sumbu sama panjang dan tidak tegaklurus

4. Berikut merupakan mineral yang memiliki sistem kristal kubik kecuali:
 - a. Halit
 - b. Apatit
 - c. Intan
 - d. Pirit
5. Simbol yang benar dari notasi Hermann-Mauguin adalah:
 - a. Bidang simetri = m
 - b. Pusat simetri = h
 - c. Sumbu simetri lipat 2 = C_2
 - d. Sumbu rotoinversi lipat 4 = 4

4.3.3. Umpan Balik

Mahasiswa dianggap mampu memahami pokok bahasan ini jika telah dapat menyebutkan perbedaan 6 sistem kristal dan menjelaskan penulisan unsur simetri kristal dengan notasi Hermann-Mauguin paling tidak 80% benar.

4.3.4. Tindak Lanjut

Mahasiswa dapat melanjutkan ke materi selanjutnya jika mampu menjawab tes formatif dengan benar minimal 80% dari keseluruhan soal.

4.3.5. Kunci Jawaban Tes Formatif

1. d
2. d
3. a
4. b
5. a

DAFTAR PUSTAKA

- Geology Page, 2014, *Halite*,
<http://www.geologypage.com/2014/04/halite.html>, diakses pada 30 Mei 2020
-
- , *Magnetite*,
<http://www.geologypage.com/2014/05/magnetite.html>, diakses pada 30 Mei 2020
- King, H.M., 2020, *Chalcopyrite*,
<https://geology.com/minerals/chalcopyrite.shtml>, diakses pada 30 Mei 2020

- _____, *Zircon*, <https://geology.com/minerals/zircon.shtml>, diakses pada 30 Mei 2020
- Minerals.net. 2020, *The Mineral Aragonite*, <https://www.minerals.net/mineral/argonite.aspx>, diakses pada 30 Mei 2020
- _____, *The Mineral Augite*, <https://www.minerals.net/mineral/augite.aspx>, diakses pada 30 Mei 2020
- _____, *The Mineral Calcite*, <https://www.minerals.net/mineral/calcite.aspx>, diakses pada 30 Mei 2020
- _____, *The Mineral Gypsum*, <https://www.minerals.net/mineral/gypsum.aspx>, diakses pada 30 Mei 2020
- _____, *The Mineral Kyanite*, <https://www.minerals.net/mineral/kyanite.aspx>, diakses pada 30 Mei 2020
- _____, *The Mineral Microcline*, <https://www.minerals.net/mineral/microcline.aspx>, diakses pada 30 Mei 2020
- _____, *The Mineral Orthoclase*, <https://www.minerals.net/mineral/orthoclase.aspx>, diakses pada 30 Mei 2020
- _____, *The Mineral Sulfur*, <https://www.minerals.net/mineral/sulfur.aspx>, diakses pada 30 Mei 2020
- _____, *The Mineral Topaz*, <https://www.minerals.net/mineral/topaz.aspx>, diakses pada 30 Mei 2020
- Klein, C., Philpotts, A.R., 2017, *Earth Material: Introduction to Mineralogy and Petrology*, UK: Cambridge University Press.
- Sands, D.E., 1975, *Introduction to Crystallography*, New York: Dover Publications, Inc.
- Webmineral, 2020, *Crystallography and Minerals Arranged by Crystal Form*, <http://webmineral.com/crystall.shtml>, diakses pada 30 Mei 2020
- _____, *Plagioclase Mineral Data*,

<http://webmineral.com/data/Plagioclase.shtml>, diakses pada 30 Mei 2020

SENARAI

- Kelas kristal** : Kelompok titik kristalografi tiga dimensi yang menunjukkan simetri tertentu
- Notasi Hermann-Mauguin** : Serangkaian simbol yang menunjukkan unsur simetri pada kristal
- Rombohedral** : Nama lain dari sistem kristal trigonal, yang mana seringkali disatukan dengan sistem kristal heksagonal
- Sistem kristal** : Kelompok kristal yang diklasifikasikan berdasarkan perbandingan panjang ketiga sumbu dan sudut perpotongannya, serta kesamaan unsur simetrinya

POKOK BAHASAN 5: SIFAT FISIK MINERAL

5.1. Pendahuluan

5.1.1. Deskripsi Singkat

Pokok bahasan ini membahas tentang karakteristik fisik yang dapat diamati dan diukur pada suatu mineral mencakup kilap, warna, cerat, kekerasan, pecahan, belahan, ketembusan cahaya, dan beberapa sifat fisik lainnya.

5.1.2. Relevansi

Setiap mineral memiliki sifat fisik yang berbeda-beda yang dapat merupakan perwujudan dari susunan internal atom di dalamnya maupun komposisi kimianya. Dengan mempelajari materi ini, dapat dikaitkan antara sifat fisik dengan sistem kristal dan komposisi kimia. Pengetahuan mengenai sifat fisik mineral menjadi dasar kemampuan mengidentifikasi mineral yang menjadi syarat pemahaman materi selanjutnya mengenai mineral dalam batuan.

5.1.3. Kompetensi

Setelah mempelajari materi ini, mahasiswa diharapkan mampu:

1. Menjelaskan sifat-sifat fisik mineral secara umum
2. Mendeskripsikan contoh mineral berdasarkan sifat fisiknya
3. Menjelaskan contoh keterkaitan sifat fisik mineral terhadap struktur internal dan komposisi kimia mineral

5.2. Penyajian

5.2.1. Uraian Materi

Identifikasi mineral memerlukan sejumlah sifat fisik yang diketahui dengan pengamatan dan uji sederhana. Setiap sifat fisik harus diamati dengan saksama dan mempertimbangkan sifat apa yang paling membedakan dua jenis mineral yang mirip satu sama lain. Semakin banyak mengetahui sifat fisik suatu mineral, semakin meyakinkan kita dalam identifikasi jenis mineral.

Nesse (2000) mengelompokkan sifat fisik mineral berdasarkan jenisnya sebagai berikut:

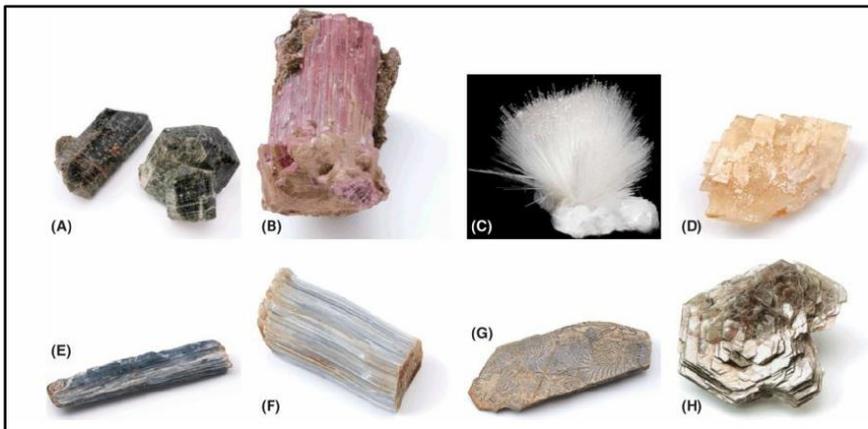
- a. Warna dan kilap: warna, kilap, cerat, ketembusan cahaya
- b. Kohesi mekanik: kekerasan, tenasitas, pecahan, belahan
- c. Sifat terkait massa: densitas dan berat jenis

- d. Magnetisme
- e. Sifat kelistrikan
- f. Kenampakan dan sifat lain

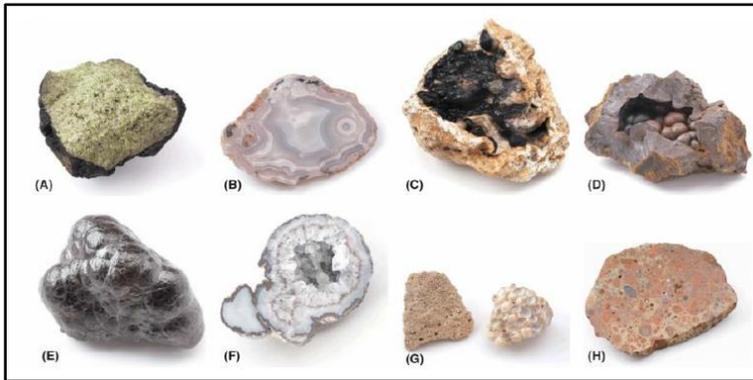
Dalam sampel megaskopis di laboratorium, tidak semua sifat fisik dapat diamati secara langsung atau dengan bantuan alat sederhana. Sifat fisik yang penting untuk mengkarakterisasi mineral dan memungkinkan identifikasi secara langsung adalah perawakan dan bentuk agregat, warna, belahan, kekerasan relatif, dan berat jenis relatif (Klein dan Philpotts, 2017). Alat uji sederhana dapat membantu untuk mengetahui sifat fisik lain seperti cerat, skala kekerasan, kelarutan dalam asam, dan magnetismenya.

A. Perawakan (*Habit*) dan Bentuk Agregat Mineral

Suatu mineral yang mengalami kristalisasi dengan sempurna akan menunjukkan bidang muka kristal yang jelas, yang menjadi perwujudan susunan internalnya. Tentunya kondisi ini tidak selalu terjadi di alam, sehingga perlu diketahui perawakan yang umum terbentuk pada mineral tertentu (Gambar 5.1).



Gambar 5.1. Contoh perawakan mineral. A = prismatik pada diopsid, B = kolumnar pada turmalin, C = menjarum pada zeolit, D = tabular pada barit, E = bilah pada kyanit, F = menyerat pada celestite, G = dendritik pada oksida mangan, H = berlembar pada muskovit (Klein dan Philpotts, 2017)



Gambar 5.2. Bentuk agregat mineral. A= granular pada olivin, B = *banded* pada *agate*, C, D = *botyroidal* pada kalsedon dan goetit, E = *reniform* pada hematit, F = *geode* pada kuarsa dan kalsedon, G = oolitik pada batugamping, H = pisolitik pada bauksit (Klein dan Philpotts, 2017)

Perlu diperhatikan bahwa suatu jenis mineral dapat memiliki perawakan dan kondisi agregat yang berbeda, bergantung pada kondisi pada proses pembentukannya. Tabel 5.1 menjelaskan beberapa perawakan dan bentuk agregat pada mineral.

Tabel 5.1. Bentuk dan perawakan pada mineral (modifikasi Klein dan Philpotts, 2017)

Perawakan dan Bentuk Agregat	Contoh Mineral
Kubik , berbentuk kubus ideal, dimensi sama panjang	halit, pirit
Equant/stubby , kristal pendek dan gemuk, mirip kubik tetapi satu sisi sedikit lebih panjang	olivin, garnet, zirkon
Tabular/blocky , agak lebih panjang dibandingkan <i>equant</i>	feldspar, topaz
Prismatik , memanjang seperti prisma dengan muka kristal yang jelas dan tegak	beril, turmalin
Kolumnar , prisma memanjang menyerupai tiang	gypsum, turmalin
Bilah (bladed/lathlike) , panjang dan agak pipih/tipis seperti bilah kayu	kyanit, aktinolit
Menjarum (acicular) , seperti jarum-jarum kecil, ramping	natrolit, rutil
Menyerat/ fibrous , seperti serat-serat halus	asbestos, serpentin
Filiform/capillary , seperti benang atau rambut halus	millerite, zeolit
Berlembar/ lamellar , bentuk seperti lembaran tipis, melapis dan mudah dibelah-belah	mika (muskovit, biotit)
Pipih/ platy , lempeng-lempeng tipis, lebih tipis dari bilah namun lebih tebal dari lembaran	wulfenit, klorit, kalsit
Dodecahedral , memiliki 12 sisi	garnet

Perawakan dan Bentuk Agregat	Contoh Mineral
Granular , berbentuk butiran terpisah-pisah	olivin, bornit
Botryoidal , membulat-bulat seperti anggur	malasit, prehnit
Reniform , seperti <i>botryoidal</i> , namun bulatannya lebih banyak berpotongan satu sama lain	hematit, pirolusit
Radiate/ divergent , berpola garis-garis radial dari suatu pusat	wavelit, pirit
Masif , tidak memiliki bentuk kristal eksternal yang dapat dikenali	turquoise, limonit
Dendritik/arborescent , menyerupai cabang-cabang pohon	tembaga, magnesit
Banded , menunjukkan alur-alur dengan warna dan tekstur bervariasi	agate, kalsedon, hematit
Mamillary , berbentuk membulat seperti kelenjar susu	goetit, hematit
Geode , rongga dalam batuan yang sebagian terisi mineral yang tumbuh di dalamnya	kuarsa
Oolitik , berbentuk membulat seperti telur ikan	kalsit pada batugamping, hematit
Pisolitik , berbentuk membulat agak lonjong seperti kacang	bauksit

B. Warna (Colour)

Warna mineral merupakan persepsi dari panjang gelombang cahaya yang terpantul pada mineral dan mengenai mata kita. Mineral berwarna merah karena memantulkan sinar merah dan menyerap sinar biru, sedangkan mineral berwarna hitam menyerap seluruh spektrum cahaya. Kenampakan pada permukaan mineral terkadang memiliki warna yang tetap, namun seringkali satu jenis mineral memiliki variasi warna bergantung dari unsur aksesoris atau pengotornya. Pada beberapa mineral, warna merupakan sifat yang sangat diagnostik. Namun demikian, sebagian besar mineral memiliki warna yang bervariasi dan kurang dapat digunakan sebagai sifat fisik penentu.

Nesse (2000) menyatakan hubungan antara struktur atom dan kandungan unsur dalam warna mineral. Warna umumnya disebabkan keberadaan unsur berikatan ionik seperti Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, dan Cu yang mana orbit atom terluarnya memiliki elektron tak berpasangan. Misalnya terbentuknya warna ungu pada ametis akibat penggantian Si oleh Fe. Sedangkan ikatan logam umumnya menyerap sebagian besar gelombang cahaya, menyebabkan mineral logam berwarna gelap dan tak tembus cahaya (*opaque*). Pembauran cahaya di dalam mineral juga

dipengaruhi keberadaan inklusi, misalnya terdapat gelembung air atau mineral lain di dalam suatu mineral. Sebagai contoh, kuarsa susu (*milky quartz*) berwarna demikian karena keberadaan inklusi fluida mikroskopik, biasanya air, pada saat pertumbuhan kristalnya.

Paparan cahaya, panas, dan radioaktivitas dapat mengubah warna mineral. Sebagai contoh, realgar merah berubah menjadi kuning karena terpapar cahaya. Kuarsa *smoky* berwarna abu-abu karena efek radioaktivitas. Sifat ini menjadi dasar metode untuk mempertajam warna pada batumulia seperti topas, beril, dan korundum yang asalnya pucat menjadi berwarna lebih terang (Minerals.net, 2020).

Berdasarkan konsistensinya, terdapat beberapa istilah dalam warna mineral:

1. Idiokromatik

Mineral yang memiliki warna tetap tidak pernah berubah. Warna ini biasanya dimiliki oleh mineral logam. Contohnya adalah malasit (hijau), azurit (biru), sulfur (kuning).

2. Alokromatik

Mineral yang memiliki berbagai jenis warna karena hadirnya pigmen, inklusi, atau pengotor (*impurities*). Beberapa unsur dapat menjadi pigmen pada mineral, misalnya warna gelap dan merah adalah indikasi adanya Fe, warna biru dan hijau dapat menjadi indikasi adanya Cu (Gambar 5.3). Contoh mineral alokromatik adalah:

- a. Kuarsa: dapat berwarna jernih, putih susu (*milky quartz*), ungu (*amethyst*), merah muda (*rose quartz*), coklat keabuan (*smoky quartz*), jingga (*citrine*).
- b. Beril: dapat berwarna hijau (*emerald*), biru (*aquamarine*)
- c. Korundum: dapat berwarna biru (*sapphire*), merah (*ruby*)

3. Pseudokromatik

Warna ini bukanlah warna mineral yang sebenarnya, namun muncul akibat ilusi optik pada permukaannya. Warna yang muncul akibat efek cahaya yang mengenai permukaan mineral pada sudut yang berbeda. Contoh efek warna ini adalah *iridescent* pada bornit, *labradorescent* pada labradorit, dan *opalescent* pada opal.



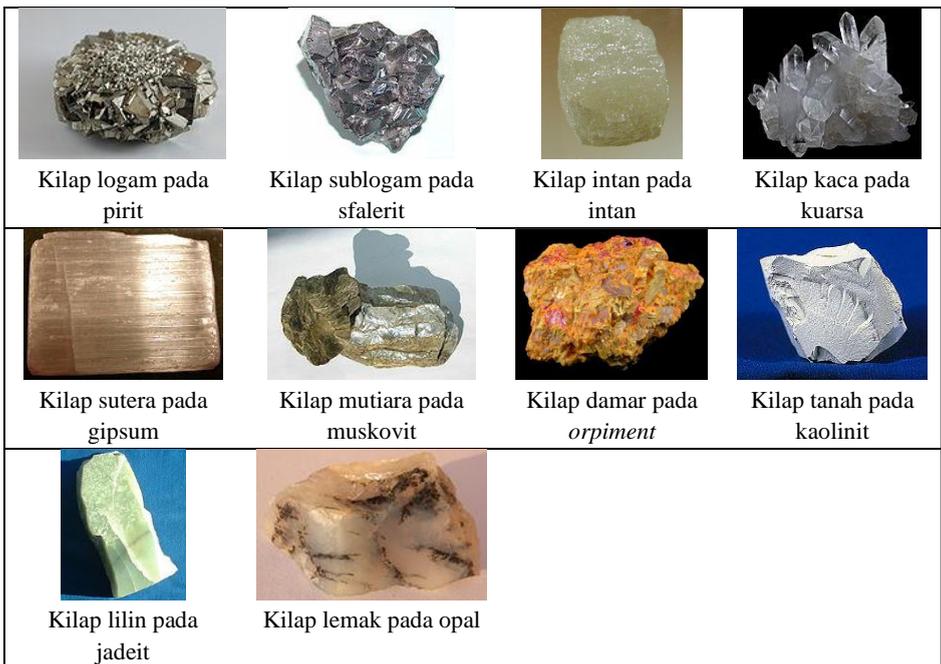
Gambar 5.3. Variasi warna pada beril: *aquamarine* (Fe^{2+} , biru), *heliodor* (Fe^{3+} , kuning), *morganit* (Mn^{2+} , pink), dan *emerald* (Cr^{3+} , hijau) (GeologyIn, 2020)

C. Kilap (*Luster*)

Ketika cahaya mengenai mineral, cahaya dapat terbau, terpantul, terbiaskan, atau terserap. Kenampakan berdasarkan perilaku cahaya ini terwujud dalam kilap. Apabila seluruh cahaya terpantul atau terbau, mineral akan memiliki kilap logam seperti tampak pada permukaan emas, perak, dan tembaga. Sedangkan ketika sebagian besar cahaya melewati mineral, maka mineral akan memiliki kilap nonlogam (Klein dan Philpotts, 2017). Kilap suatu mineral dapat berbeda, bergantung bidang dan belahan yang teramati. Beberapa kilap yang sering digunakan adalah sebagai berikut (Gambar 5.4):

1. Kilap Logam (*metallic luster*), kilap yang dihasilkan dari mineral-mineral logam, seperti *galena*, *grafit*, *hematit*, *kalkopirit*, *magnetit*, *pirit*. Mineral kelompok logam, sulfida, dan oksida umumnya memiliki kilap ini.
2. Kilap sublogam (*submetallic luster*), kilap logam yang tidak sempurna dengan kenampakan mendekati kilap logam. Umumnya mineral secara keseluruhan bersifat opak, namun dapat tembus cahaya pada pecahannya.
3. Kilap Nonlogam (*nonmetallic luster*),
 - a. Kilap Intan (*adamantine luster*), kilap sangat cemerlang; seperti *intan*. Kilap ini akibat indeks bias tinggi pada mineral yang bening atau tembus cahaya.
 - b. Kilap Kaca (*vitreous luster*), kilap seperti pada pecahan kaca; seperti *fluorit*, *kalsit*, dan *kuarsa*. Mineral silikat, karbonat, sulfat, halida, dan hidroksida umumnya memiliki kilap kaca.

- c. Kilap Sutera (*silky luster*), kilap seperti sutera, biasanya terlihat pada mineral-mineral yang memiliki bentuk/ struktur serat (*fibrous*); seperti *aktinolit, asbes, gipsum*. Mineral dengan kilap sutera memiliki sifat optik mirip dengan kain sutera.
- d. Kilap Damar (*resinous luster*), kilap seperti damar; seperti *sulfur, opal, zincblende*. Umumnya pada mineral dengan indeks bias tinggi (seperti madu) berwarna kuning, oranye, dan coklat.
- e. Kilap Mutiara (*pearly luster*), kilap seperti mutiara atau seperti pecahan cangkang, biasanya terlihat pada bidang-bidang belah dasar mineral, seperti *talc, stilbit, heulandit, muscovite mica*.
- f. Kilap Tanah (*earthy luster*) atau buram (*dull*), biasanya terlihat pada mineral-mineral yang menggumpal; seperti *lempung, bauksit, kaolin, limonit, dan tanah diatom*.
- g. Kilap Lilin (*waxy luster*), terlihat seperti lilin; seperti *kalsedon, opal*.
- h. Kilap Lemak (*greasy luster*), kilap seperti lemak atau seakan-akan terlapis oleh lemak; seperti *nefelin*.

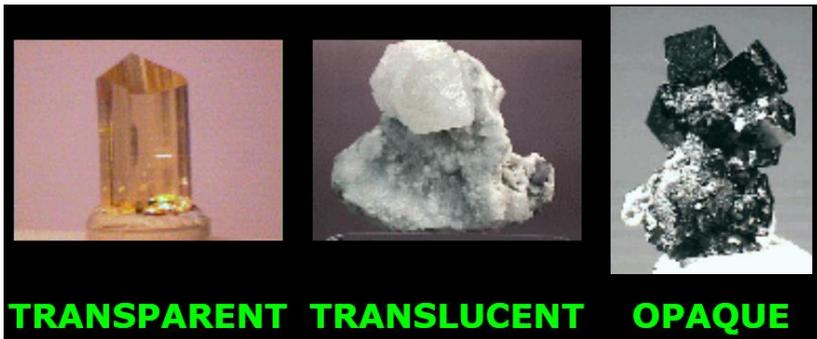


Gambar 5.4. Sifat kilap pada mineral (Minsocam, 2020)

D. Ketembusan Cahaya (*Transparency*)

Sifat transparan dari suatu mineral tergantung kepada kemampuan mineral tersebut meneruskan cahaya. Sifat ketembusan cahaya pada suatu mineral dapat bervariasi. Misal kuarsa dapat bersifat transparan hingga opak. Seringkali sifat ini hanya dapat terlihat pada sayatan tipis mineral atau apabila cahaya cukup kuat, mineral yang awalnya terlihat tidak tembus cahaya menjadi tembus cahaya di bagian tepinya. Keberadaan pengotor dan inklusi dapat menurunkan sifat transparan mineral (Mineral Gallery, 2020). Sifat ini sering disebut juga sebagai *diaphaneity*. Berdasarkan ketembusan cahayanya, sifat mineral dapat dibedakan menjadi:

1. Tembus cahaya (*transparent*), meneruskan seluruh cahaya tanpa gangguan.
2. Agak tembus cahaya (*translucent*), meneruskan sebagian cahaya dengan distorsi.
3. Tidak tembus cahaya (*opaque*), tidak meneruskan seluruh cahaya. Seluruh mineral dengan kilap logam memiliki sifat ini.

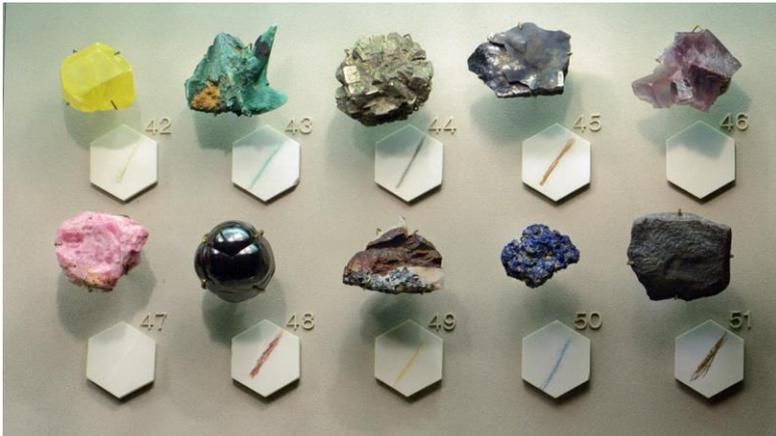


Gambar 5.5. Ketembusan cahaya pada mineral (Mineral Gallery, 2020)

E. Cerat (*Streak*)

Cerat merupakan warna mineral dalam bentuk hancuran/ serbuk. Warna cerat dapat sama atau berbeda dengan warna awal mineral. Meskipun suatu mineral memiliki variasi warna, namun warna ceratnya akan selalu satu warna. Cerat menjadi sifat identifikasi penting terutama pada mineral logam. Mineral nonlogam umumnya memiliki cerat yang putih sehingga tidak terlalu membedakan antara mineral satu dengan yang lain (Klein, 2001). Cerat dapat diperoleh dengan menggosokkan mineral

pada lempeng cerat, atau dengan menumbuk mineral hingga menjadi serbuk (Gambar 5.6). Lempeng cerat umumnya memiliki kekerasan 7 sehingga mineral yang lebih keras akan sulit tergores.



Gambar 5.6. Cerat pada berbagai contoh mineral, dari 42-51: sulfur-kuning, malasit-hijau, pirit-hitam, goetit-coklat, fluorit-putih, rodokrosit-putih, hematit-merah, *zincite*-jingga, azurit;biru, sinabar-merah (American Museum of Natural History, 2020)

F. Kekerasan (*Hardness*)

Kekerasan merupakan ketahanan mineral terhadap suatu goresan. Kekerasan relatif dari suatu mineral tertentu dengan suatu urutan mineral yang dipakai sebagai standar kekerasan. Mineral yang mempunyai kekerasan lebih kecil akan dapat tergores mineral dengan tingkat kekerasan di atasnya. Untuk menguji kekerasan, mineral dapat digores permukaannya dengan alat bantu. Dalam identifikasi, terdapat beberapa alat uji standar kekerasan. Jika suatu mineral dapat digores dengan alat uji ini, maka kekerasannya kurang dari kekerasan alat tersebut. Contohnya sebagai berikut:

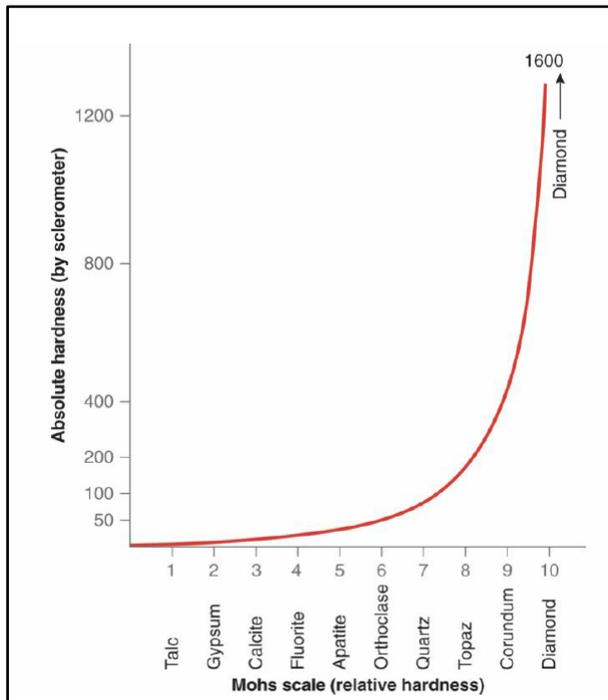
1. Kuku jari tangan 2,5
2. Kawat tembaga 3
3. Pecahan kaca 5,5 - 6
4. Kikir baja/ jarum baja 6,6 – 7

Pada 1824, Friedrich Mohs memilih sepuluh mineral umum sebagai skala penentu kekerasan relatif (Klein dan Philpotts, 2017) yang kini dikenal sebagai **Skala Mohs** (Tabel 5.2).

Tabel 5.2. Tingkat kekerasan mineral dalam Skala Mohs (Klein dan Philpotts, 2017)

Skala Kekerasan	Mineral	Rumus Kimia	Catatan
1	Talk	$H_2Mg_3(SiO_3)_4$	Lunak, licin, mudah terurai dalam bentuk remah kasar
2	Gypsum	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$	Mudah digores kuku
3	Kalsit	$CaCO_3$	Mudah digores pisau dan koin logam
4	Fluorit	CaF_2	Sedikit lebih sulit digores pisau dibanding kalsit
5	Apatit	$CaF_2Ca_3(PO_4)_2$	Agak sulit digores pisau
6	Ortoklas	$KAlSi_3O_8$	Tidak dapat digores pisau, dapat digores dengan pecahan kaca
7	Kuarsa	SiO_2	Dapat menggores kaca dengan mudah
8	Topaz	$Al_2SiO_5O_8$	Dapat menggores kaca dengan sangat mudah
9	Korundum	Al_2O_3	Dapat memotong kaca
10	Intan	C	Paling keras, digunakan sebagai pemotong kaca

Kekerasan sebenarnya atau kekerasan mutlak suatu bahan dapat diketahui dengan sklerometer. Meski secara relatif intan dan korundum hanya berbeda satu skala kekerasan, kenyataannya secara mutlak intan 4 kali lebih keras (Gambar 5.7). Sifat kekerasan ini menjadi hal penting dalam pemanfaatan mineral sebagai bahan abrasif, yaitu bahan yang digunakan untuk menghaluskan, menggiling, mengabrasi, dan membersihkan material lain. Mineral yang keras seperti intan industri, korundum, garnet, dan kuarsa sering digunakan sebagai bahan abrasif. Kekerasan juga memengaruhi proses pelapukan mineral. Mineral dengan kekerasan di atas 7 umumnya mampu bertahan dari proses kimia dan fisika, contohnya kuarsa yang mudah ditemukan pada batuan sedimen. Selain itu, mineral dengan kekerasan tinggi sering digunakan sebagai batumulia.



Gambar 5.7. Perbandingan kekerasan relatif dan kekerasan mutlak mineral (Klein dan Philpotts, 2017)

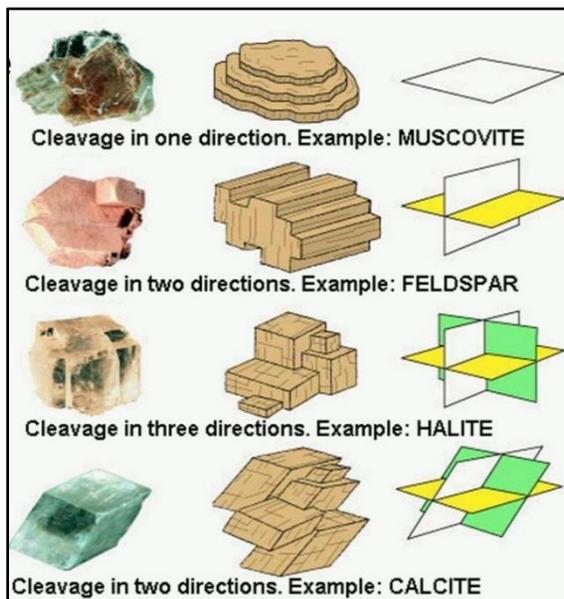
G. Belahan (*Cleavage*)

Belahan merupakan kecenderungan mineral untuk membelah pada bidang-bidang dengan sudut dan arah tertentu yang dikontrol oleh struktur atom. Pada susunan atom internal, seringkali terdapat ikatan yang lemah pada suatu bidang yang secara eksternal tampak sebagai bidang belahan. Berdasarkan baik atau tidaknya permukaan bidang belahannya, belahan dapat dibagi menjadi:

1. Sempurna (*Perfect*), mineral mudah terbelah melalui arah belahannya yang rata dan sukar pecah selain melalui bidang belahannya. Contoh: kalsit, muskovit, galena, halit
2. Baik (*Good*), mineral mudah terbelah melalui bidang belahannya yang rata, tetapi dapat juga pecah tanpa mengikuti bidang belahan. Contoh: apatit, kasiterit
3. Jelas (*Distinct*)
4. Tidak Jelas (*Indistinct*)

Berdasarkan jumlah bidang dan kenampakannya, belahan dapat dibagi menjadi beberapa jenis. Tiap belahan umumnya merupakan representasi dari sistem kristal dan sumbu kristalografinya, sebagai berikut (Klein dan Philpotts, 2017):

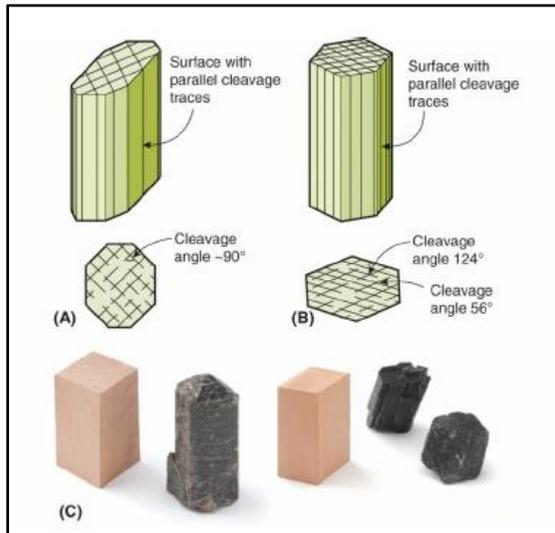
1. Belahan planar (1 arah), contohnya muskovit
2. Belahan prismatik (2 arah saling tegaklurus), contohnya feldspar
3. Belahan nonprismatik (2 arah saling menyudut), contohnya hornblende
4. Belahan kubik (3 arah saling tegaklurus), pada sistem kristal kubik seperti halit dan galena
5. Belahan rombohedral (3 arah saling menyudut $60^\circ/120^\circ$), contohnya kalsit
6. Belahan oktahedral (4 arah dengan sudut tertentu), contohnya fluorit



Gambar 5.8. Belahan pada mineral (Leveson dan Seidemann, 2020)

Belahan menjadi salah satu sifat diagnostik penting. Sebagai contoh untuk membedakan mineral piroksen dan hornblende yang sifat fisik lainnya hampir sama, dan keduanya memiliki belahan dua arah. Perbedaan sangat nyata pada sudut bidang belahan, dimana piroksen memiliki sudut belahan 87° yang nampak mendekati tegaklurus sedangkan

hornblende memiliki sudut belahan 56° dan 124° (Gambar 5.9). Dengan lup atau kaca pembesar, tentunya belahan lebih mudah diamati pada batuan yang ukuran kristal mineralnya kecil.



Gambar 5.9. Perbedaan sudut belahan dua arah pada piroksen dan hornblende (Klein dan Philpotts, 2017)

H. Pecahan (*Fracture*)

Merupakan kecenderungan mineral untuk terpisah dalam arah yang tidak teratur karena kontrol struktur atom yang lemah. Apabila suatu mineral mendapatkan tekanan yang melampaui batas plastisitas dan elastisitasnya, maka mineral tersebut akan pecah. Contoh pecahan paling ideal adalah pada kuarsa, yang mana hampir tidak pernah menunjukkan permukaan datar pada saat pecah. Hal ini disebabkan oleh tidak adanya bidang lemah pada struktur kristal (Klein dan Philpotts, 2017). Berdasarkan bentuknya, pecahan dapat dibagi menjadi (Minerals.net, 2020):

1. *Conchoidal*, pecahan yang memperlihatkan gelombang yang melengkung tidak teratur di permukaannya, seperti kenampakan pada botol pecah. Contoh: kuarsa.
2. *Hackly*, pecahan yang permukaannya tidak teratur dengan ujung-ujung yang runcing. Contoh: *Native Metals* (Cu, Ag)

3. *Even*, pecahan mineral dengan permukaan bidang pecah kecil-kecil dengan ujung pecahan masih mendekati bidang datar. Contoh: limonit, muskovit, talk, biotit, mineral lempung.
4. *Uneven*, pecahan yang kasar dengan permukaan yang tidak teratur dengan ujung-ujung yang kasar. Contoh: garnet, hematite, kalkopirit, magnetit.
5. *Splintery*, pecahan mineral yang hancur menjadi kecil-kecil dan tajam menyerupai benang atau berserabut. Contoh: krisotil, augit, hipersten, anhydrite, serpentine.
6. *Earthy*, pecahan mineral yang hancur seperti tanah. Contoh: kaolinit, lempung.



Gambar 5.10. Pecahan pada mineral

I. Berat Jenis (*Specific Gravity*)

Berat jenis adalah angka perbandingan antara berat suatu mineral dibandingkan dengan berat air pada volume yang sama. Cara yang umum untuk menentukan berat jenis yaitu dengan menimbang mineral tersebut terlebih dahulu, misal beratnya x gram. Kemudian mineral ditimbang lagi dalam keadaan di dalam air, misal beratnya y gram. Berat terhitung dalam keadaan di dalam air adalah berat mineral dikurangi dengan berat air yang volumenya sama dengan volume butir mineral tersebut. Rumus berat jenis:

$$\text{Berat Jenis} = \frac{\text{Berat di Luar Air}}{\text{Berat di Luar Air} - \text{Berat Dalam Air}}$$

Berat jenis merupakan fungsi dari berat atom unsur kimia penyusunnya serta kerapatan ikatan atomnya. Sebagai contoh, ikatan atom karbon pada intan lebih rapat dibandingkan pada grafit. Intan memiliki berat jenis 3,5 sedangkan grafit hanya 2,2. Contoh lain adalah anhidrit CaSO_4 dengan berat jenis 2,9 sangat kontras dibandingkan barit BaSO_4 dengan berat jenis 4,5. Karena berat jenis yang tinggi, barit menjadi bahan pemberat dalam lumpur pengeboran pada sumur bor migas. Mineral logam seperti emas umumnya relatif memiliki berat jenis yang tinggi. Sedangkan mineral seperti halit, gipsum, kalsit, memiliki berat jenis yang rendah. Berikut beberapa nilai berat jenis sebagai perbandingan:

Tabel 5.3. Beberapa nilai berat jenis mineral (Klein dan Philpotts, 2017)

Ringan	Sedang	Berat
Bauksit 2,0-2,5	Mikroklin 2,5	Barit 4,5
Halit 2,1	Plagioklas 2,6-2,8	Pirit 5,0
Serpentin 2,2-2,6	Kalsit 2,7	Magnetit 5,2
Sodalit 2,3	Dolomit 2,85	Galena 7,4-7,6
	Apatit 3,1-3,2	Perak 10,5
		Emas 15,0-19,3

J. Sifat Dalam (*Tenacity*)

Sifat dalam merupakan perilaku mineral ketika terdeformasi atau pecah, misalkan karena dipatahkan, dipotong, dihancurkan, dibengkokkan, atau diiris. Istilah yang digunakan adalah (Nesse, 2000):

1. Rapuh (*brittle*): mudah hancur atau menjadi serbuk, umumnya pada mineral dengan ikatan ionik contohnya kuarsa, ortoklas, dan kalsit
2. Mudah ditempa (*malleable*) : dapat ditempa menjadi lapisan tipis, umumnya pada mineral dengan ikatan logam contohnya perak.
3. Dapat diiris (*sectile*): dapat diiris dengan pisau, hasil irisan rapuh, contoh: gipsum.
4. *Ductile*, dapat dibentuk menjadi kawat panjang, contohnya emas dan mineral logam lain. Mineral *malleable* dapat pula bersifat *ductile*.
5. Elastis: dapat kembali seperti bentuk semula setelah dibengkokkan, contohnya serpentin
6. Fleksibel, dapat dibengkokkan tanpa patah dan sesudah bengkok tidak dapat kembali seperti semula, contohnya tembaga.

K. Sifat Khusus

Sifat khusus ini memerlukan uji cepat dan sederhana yang dapat mengidentifikasi sifat unik dari beberapa mineral sebagai berikut:

1. Kemagnetan (*Magnetism*)

Sebagian mineral merupakan magnet alami. Kemagnetan dihasilkan oleh pergerakan elektron dalam tingkat mekanika kuantum. Perilaku ini bergantung dari ada tidaknya elektron tak berpasangan dalam orbit atom. Kemagnetan dapat diuji dengan alat sederhana berupa magnet atau pulpen magnetik. Sifat ini dapat dibedakan menjadi (Nesse, 2000):

- a. Feromagnetik, terdapat unsur dengan elektron tak berpasangan pada orbit atomnya dan tersusun sejajar satu sama lain. Apabila mineral ini terekspos medan magnetik, akan mengalami magnetisasi dan mudah ditarik oleh magnet. Contohnya adalah magnetit dan pirhotit.
 - b. Paramagnetik, terdapat unsur dengan elektron tak berpasangan pada orbit atomnya, namun tidak tersusun sejajar satu sama lain. Contohnya olivin yang mengandung Fe memiliki momentum magnetik lemah dan tidak dapat ditarik magnet biasa.
 - c. Diamagnetik, semua unsur dalam mineral memiliki elektron berpasangan sehingga tidak menghasilkan medan magnet. Contohnya kuarsa.
2. Reaksi terhadap asam, mineral karbonat akan bereaksi mengeluarkan buih jika terkena larutan asam seperti HCl. Kalsit dan aragonit menunjukkan reaksi yang kuat. Mineral karbonat lain seperti dolomit, magnesit, siderit, dan rodokrosit umumnya hanya berbuih terhadap HCl panas. Identifikasi ini penting pada mineral karbonat yang ukurannya sangat halus dan terkandung dalam batuan terutama batuan sedimen.
 3. Radioaktivitas, mineral uraninit UO_2 memiliki unsur tidak stabil yang meluruh menjadi unsur turunan stabil dengan memancarkan partikel radioaktif. Sifat ini dapat dideteksi dengan alat khusus seperti penghitung Geiger (Klein dan Philpotts, 2017).
 4. Kelistrikan (*Electrical Properties*), sifat listrik mineral bervariasi, bergantung pada ikatan kimianya. Mineral dengan ikatan logam memiliki elektron yang dapat berpindah dengan mudah di dalam

struktur kristal, sehingga dapat menghantarkan listrik. Mineral dengan ikatan kovalen dan ionik memiliki elektron yang terikat rapat di dalamnya, sehingga menghambat arus listrik. Sebagai contoh, grafit, meskipun bukan mineral logam, merupakan penghantar listrik yang baik (Klein dan Philpotts, 2017).

5. Sifat lain-lain (*miscellaneous*) seperti bau (*odour*), misalnya mineral sulfida atau sulfat akan memiliki bau khas sulfur. Beberapa mineral dapat dikenali dari rasanya (*taste*), contohnya halit berasa asin dan silvit berasa asin namun agak pahit. Beberapa mineral dapat dikenali dari tekstur rabaannya, contohnya talk yang jika diraba terasa seperti sabun (Nesse, 2000).

5.2.2. Latihan

Carilah contoh mineral logam dan nonlogam masing-masing satu jenis. Jelaskan dan bandingkan sifat fisik kedua mineral tersebut, kaitkan dengan sifat kimia dan kristalografinya! Tugas diketik dan dikumpulkan pada pertemuan berikutnya.

5.3. Penutup

5.3.1. Rangkuman

Identifikasi mineral memerlukan sejumlah sifat fisik yang diketahui dengan pengamatan dan uji sederhana. Setiap sifat fisik harus diamati dengan seksama dan mempertimbangkan sifat apa yang paling membedakan dua jenis mineral yang mirip satu sama lain. Sifat fisik mineral yang terkait kohesi mekaniknya adalah kekerasan, belahan, dan pecahan. Sifat fisik yang terkait perilaku cahaya adalah warna, kilap, ketembusan cahaya, dan cerat. Sifat fisik lain adalah berat jenis, kemagnetan, kelistrikan, dan seterusnya. Dengan pengamatan di laboratorium dan bantuan alat uji sederhana, dapat ditentukan sifat fisik mineral. Semakin banyak mengetahui sifat fisik suatu mineral, semakin meyakinkan kita dalam identifikasi jenis mineral. Terdapat keterkaitan antara sifat fisik mineral dengan komposisi kimia, struktur internal, dan kristalografi mineral.

5.3.2. Tes Formatif

Jawablah pertanyaan berikut:

1. Sifat fisik yang menunjukkan kenampakan eksternal mineral disebut

2. *Aquamarine, emerald*, dan morganit merupakan variasi berbeda warna dari mineral _____
3. Membedakan mineral piroksen dan hornblende mudah menggunakan sifat fisik berupa _____
4. Kuarsa memiliki pecahan berbentuk _____
5. Bahan yang penting di lapangan untuk mengetahui keberadaan mineral karbonat pada batuan adalah _____

5.3.3. Umpan Balik

Mahasiswa dianggap mampu memahami pokok bahasan ini jika telah dapat menyebutkan sifat fisik mineral dan contoh keterkaitannya dengan komposisi kimia serta kristalografi mineral paling tidak 80% benar.

5.3.4. Tindak Lanjut

Mahasiswa dapat melanjutkan ke materi selanjutnya jika mampu menjawab tes formatif dengan benar minimal 80% dari keseluruhan soal.

5.3.5. Kunci Jawaban Tes Formatif

1. Perawakan/ *habit*
2. Beril
3. Perbedaan sudut belahan dua arah
4. Konkoidal
5. Larutan HCl

DAFTAR PUSTAKA

American Museum of Natural History, 2020, *Streak (#42-51)*, <https://www.amnh.org/exhibitions/permanent/minerals/properties/optical-properties-of-minerals/streak-42-51>, diakses pada 5 Juni 2020

GeologyIn, 2020, *Color of Minerals*, <http://www.geologyin.com/2016/05/color-of-minerals.html>, diakses pada 5 Juni 2020

Klein, C., 2001, *Manual of Mineral Science 22nd Edition*, USA: Wiley.

Klein, C., Philpotts, A.R., 2017, *Earth Material: Introduction to Mineralogy and Petrology*, UK: Cambridge University Press.

Leveson, D., Seideman, R., 2020, *Cleavage and Fracture*, <http://academic.brooklyn.cuny.edu/geology/grocha/mineral/cleavage.html>, diakses pada 5 Juni 2020

Mineral Gallery, 2020, *What is Transparency?*, <http://www.galleries.com/minerals/property/transpar.htm>, diakses pada 5 Juni 2020

Minerals.net, 2020, *Mineral Properties: Cleavage*, https://www.minerals.net/resource/property/cleavage_fracture_parting.aspx#Fracture, diakses pada 5 Juni 2020

Minerals.net, 2020, *Mineral Properties: Color*, <https://www.minerals.net/resource/property/color.aspx>, diakses pada 5 Juni 2020

Minsocam, 2020, *Mineral Properties*, http://www.minsocam.org/msa/collectors_corner/id/mineral_id_keyi3.htm, diakses pada 5 Juni 2020

Nesse, W.D., 2000, *Introduction to Mineralogy*, New York: Oxford University Press

SENARAI

- Agregat mineral** : Bentuk mineral yang terdapat di alam pada batuan, yang merupakan kumpulan dari sejumlah mineral yang terbentuk bersama
- Inklusi** : Material yang terdapat di dalam mineral, umumnya tumbuh atau terperangkap bersamaan dengan kristalisasi mineral, dapat berupa fluida maupun mineral lain
- Lempeng cerat** : Alat berupa kepingan porselen tak berlapis, yang jika suatu mineral digoreskan di atasnya akan meninggalkan jejak yang menunjukkan warna cerat mineral tersebut
- Sklerometer** : alat yang digunakan ahli mineralogi dan metalurgi untuk mengukur kekerasan mineral dengan cara mengukur secara mikroskopis lebar goresan yang disebabkan oleh mineral di bawah tekanan tertentu

POKOK BAHASAN 6: KELOMPOK MINERAL

6.1. Pendahuluan

6.1.1. Deskripsi Singkat

Pokok bahasan ini menjelaskan keragaman mineral yang dikelompokkan berdasarkan komposisi kimia dan struktur internal kristalnya. Terdapat kelompok mineral silikat, *native element*, sulfida, oksida, halida, sulfat, karbonat, fosfat, dan beberapa kelompok minor lainnya. Setiap kelompok umumnya memiliki beberapa karakteristik khas yang berbeda dengan kelompok lain.

6.1.2. Relevansi

Mineral merupakan unit yang lebih kecil dari batuan, yang asosiasinya berbeda pada tiap jenis batuan. Tidak hanya berasosiasi satu sama lain, suatu asosiasi mineral umumnya terdapat pada batuan dan proses geologi tertentu. Materi yang lebih lanjut pada Mineralogi membahas mengenai keterdapatannya mineral dalam batuan yang memerlukan wawasan mengenai keragaman mineral berdasarkan komposisi kimia dan struktur internal kristalnya.

6.1.3. Kompetensi

Dengan mempelajari pokok bahasan ini, mahasiswa diharapkan mampu:

1. Menjelaskan pembagian kelompok mineral berdasarkan struktur internal kristal dan komposisi kimianya.
2. Menyebutkan contoh mineral pada tiap kelompok
3. Menjelaskan aspek ekonomi kelompok mineral

6.2. Penyajian

6.2.1. Uraian Materi

Mineral diklasifikasikan menurut komposisi kimia dan struktur internalnya. Suatu mineral dapat terbentuk hanya dari satu jenis unsur yang pada kondisi geologi tertentu dapat mengkristal menjadi mineral, yang disebut *native elements*. Namun kebanyakan mineral tersusun dari senyawa kimia berupa oksida, hidroksida, sulfida, sulfat, halida, karbonat, fosfat, dan silikat. Pada tahun 2001, Strunz dan Nickel mengelompokkan mineral kembali secara sistematis. Menurut klasifikasi mineral Nickel-Strunz (Mills dkk., 2009), saat ini mineral diklasifikasikan menjadi

sepuluh kelas, yang kemudian memiliki divisi, keluarga, dan kelompok masing-masing. Kesepuluh kelas tersebut adalah:

1. *Native elements*
2. Sulfida dan *sulfosalt*
3. Halida
4. Oksida, hidroksida, arsenit
5. Karbonat dan nitrat
6. Borat
7. Sulfat, kromat, molibdat, tungstat
8. Fosfat, arsenat, vanadat
9. Silikat
10. Senyawa organik

Dalam pokok bahasan ini, akan dibahas beberapa kelas penting dan umum dijumpai yaitu kelompok mineral pada Tabel 6.1

Tabel 6.1. Kelompok mineral penting berdasarkan komposisi kimianya (Haldar dan Tisjar, 2014)

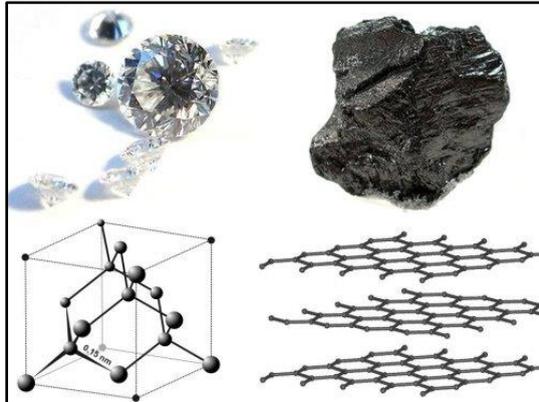
Kelompok	Contoh mineral
<i>Native elements</i>	Grafit, intan, emas, Sulfur
Sulfida	Pirit, kalkopirit, pirhotit
Oksida dan hidroksida	Korundum, magnetit, hematit, rutil, spinel, diaspor
Karbonat	Aragonit, kalsit, dolomit, siderit
Halida	Halit, silvit
Sulfat	Gypsum, anhidrit, barit
Fosfat	Apatit, fosforit
Silikat	Nesosilikat, sorosilikat, siklosilikat, inosilikat, filosilikat, tektosilikat

A. *Native Element*

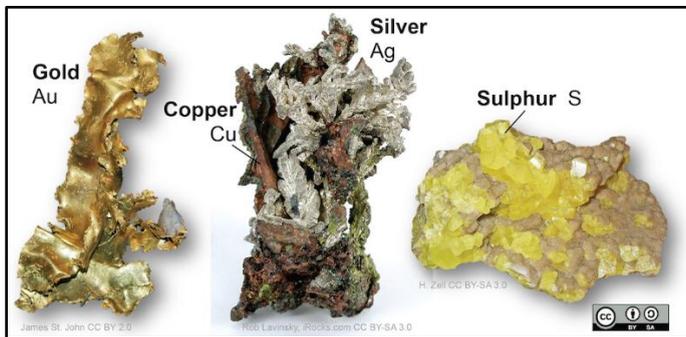
Mineral yang termasuk ke dalam kelompok ini merupakan mineral yang hanya tersusun dari satu jenis unsur saja. Kelompok ini diklasifikasikan menjadi dua jenis, yaitu logam seperti emas, perak, platina, tembaga, krom maupun nonlogam seperti sulfur, grafit dan intan.

Native element yang paling populer dan bernilai ekonomi adalah intan, grafit, emas, dan sulfur (Haldar dan Tisljar, 2014).

1. **Grafit (C)** adalah salah satu polimorf karbon yang stabil dalam bentuk lapis susunan karbon dengan sistem kristal heksagonal (Gambar 6.1). Sifat fisiknya adalah lunak, berwarna hitam, dan meninggalkan bekas hitam pada jari. Grafit dapat ditemukan pada pegmatit dan granit, serta merupakan mineral yang dijumpai pada batuan metamorf terutama sekis grafit. Mineral ini sangat penting karena konduktivitas listrik yang tinggi, sehingga dibutuhkan sebagai bahan baku berbagai industri.
2. **Intan (C)** adalah polimorf karbon lain yang susunannya berbentuk oktahedral dalam sistem kristal kubik. Intan memiliki kekerasan 10, berat jenis 3,52, transparan, tidak berwarna atau berwarna putih, abu-abu, kekuningan, kebiruan akibat pengotor. Intan dengan pengotor yang tinggi digunakan untuk kepentingan industri seperti abrasif, material pemotong, atau mata bor. Intan yang jernih dan murni merupakan batumulia dengan nilai jual sangat tinggi. Sebagian besar intan terbentuk dari kristalisasi batuan beku ultrabasa (kimberlit) yang berada jauh di bawah permukaan mendekati mantel. Karena resisten terhadap pelapukan dan penggerusan, seringkali intan dijumpai sebagai butiran pada sedimen sungai.
3. **Emas (Au)** ditemukan sebagai *native element* pada urat hidrotermal dengan warna yang khas, kilap logam, dan densitas yang tinggi mencapai 19.
4. **Sulfur (S)** merupakan mineral dengan sistem kristal ortorombik, umumnya berwarna kuning, perawakan bervariasi seperti granular, berserat, atau menyerupai ginjal dengan bau yang khas (Gambar 6.2). Sulfur sering terbentuk pada daerah sekitar kawah gunung api dan mataair panas akibat dari adanya sublimasi gas yang mengandung sulfur. Sebagai contoh, tambang sulfur di Kawah Ijen, Jawa Timur. Selain itu, sulfur dapat terbentuk karena adanya aktivitas bakteri yang pada lingkungan yang bersifat reduktif. Sulfur banyak dipakai di dunia industri farmasi, pupuk, bahan peledak, karet, dan lain-lain.



Gambar 6.1. Perbandingan kenampakan dan struktur intan dan grafit (Murphy, 2014)



Gambar 6.2 Native element yang terdiri dari unsur tunggal (Panchuk, 2018)

B. Mineral Sulfida

Mineral sulfida merupakan kelompok mineral dengan komposisi kimia umumnya mengandung sulfida (S^{2-}) sebagai anion utama yang berikatan dengan kation logam atau semilogam seperti Fe, Zn, Cu, Pb, Sb, atau As (Nesse, 2000). Mineral ini umumnya berciri metalik, warna gelap, dan terbentuk dari pembekuan magma pada batuan beku. Mineral ini sangat penting secara ekonomis, karena beberapa jenisnya merupakan sumber bijih (*ore*) mineral logam utama seperti tembaga, seng, timbal, antimon, molibdenum, kobalt, nikel, dan perak (Tabel 6.1). Sebagian mineral sulfida bukan merupakan mineral bijih penting, namun kehadirannya menjadi penanda atau berasosiasi dengan mineral ekonomis lain.

Tabel 6.2. Mineral sulfida umum (Nesse, 2000)

Nama mineral	Rumus kimia	Penggunaan
Galena	PbS	Bijih timbal
Sfalerit	ZnS	Bijih seng
Sinabar	HgS	Bijih merkuri
Kovelit	CuS	
Realgar	AsS	Bijih arsen
Orpimen	As ₂ S ₃	Bijih arsen
Stibnit	Sb ₂ S ₃	Bijih antimon
Pirit	FeS ₂	
Molibdenit	MoS ₂	Bijih molibdenum
Kalkopirit	CuFeS ₂	Bijih tembaga
Bornit	Cu ₃ FeS ₄	Bijih tembaga

Dengan beberapa perkecualian, sebagian besar mineral sulfida bersifat opak, berat jenis tinggi, kilap logam, kekerasan lunak hingga sedang, dan bercerat hitam. Mineral sulfida yang terang dan tembus cahaya adalah realgar, sinabar, dan orpiment. Pirit adalah mineral sulfida yang kenampakannya mirip dengan emas, memiliki bentuk kubik dan warna kuning keemasan namun lebih pucat dibanding emas sebenarnya. Karena kenampakan ini, pirit dikenal sebagai '*fool's gold*'. Pirit sebenarnya hanya merupakan mineral penanda, yang bahkan bukan merupakan bijih besi ekonomis karena kandungan sulfida sangat tinggi. Sebagian besar mineral sulfida terbentuk pada lingkungan batuan beku melalui pembekuan magma dan proses hidrotermal.



Gambar 6.3 Mineral sulfida dengan kilap logam, sebagian adalah mineral bijih (Panchuk, 2018)

C. Mineral Oksida dan Hidroksida

Merupakan kelompok mineral yang komposisi kimianya terdiri dari anion oksida (O^{2-}) atau $(OH)^-$ yang berikatan dengan satu atau beberapa kation logam. Banyak jenis mineral dalam kelompok ini dikenal sebagai batumulia (korundum, spinel) maupun sebagai bijih logam (hematit, bauksit). Sebagian besar mineral oksida memiliki simetri yang tinggi, menunjukkan struktur anion oksigen sistematis di dalamnya yang umumnya kubik atau heksagonal. Meskipun oksigen merupakan unsur terbanyak di kerak bumi, mineral oksida dan hidroksida ini hanya terdapat sebagai mineral aksesori. Hal ini disebabkan oleh sebagian besar oksigen telah terikat dalam mineral silikat (Nesse, 2000).

Tabel 6.3. Mineral oksida dan hidroksida utama (Haldar dan Tislar, 2014)

Unsur utama	Mineral oksida	Mineral hidroksida
Aluminium	Korundum Al_2O_3 Variasi merah = rubi Variasi biru = safir	Bauksit Gibbsit $Al(OH)_3$ Boehmit $\gamma-AlOOH$ Diaspor $\alpha-AlOOH$
Besi	Hematit Fe_2O_3 Magnetit Fe_3O_4	Goetit $FeOOH$ Limonit $Fe_2O_3 \cdot 3H_2O$
Besi dan krom	Kromit $FeCr_2O_4$	
Besi dan titanium	Ilmenit $FeTiO_3$	
Titanium	Rutil TiO_2	
Mangan	Pirolusit MnO_2	Psilomelan $MnO_2 \cdot H_2O$
Magnesium dan aluminium	Spinel $MgAl_2O_4$	
Magnesium		Brusit $(Mg(OH)_2)$

Kelompok mineral ini memiliki sifat fisik yang sangat beragam, mulai dari mineral yang sangat keras seperti korundum sampai yang lunak seperti psilomelan. Terdapat mineral berwarna gelap dan kilap logam seperti hematit, hingga mineral transparan dan berwarna-warni seperti korundum dan spinel (Gambar 6.4). Pembentukan mineral oksida dapat karena pembekuan magma, proses ubahan seperti hidrotermal, dan pelapukan.



Gambar 6.4 Beberapa mineral oksida dan hidroksida penting dan kegunaannya (Panchuk, 2018)

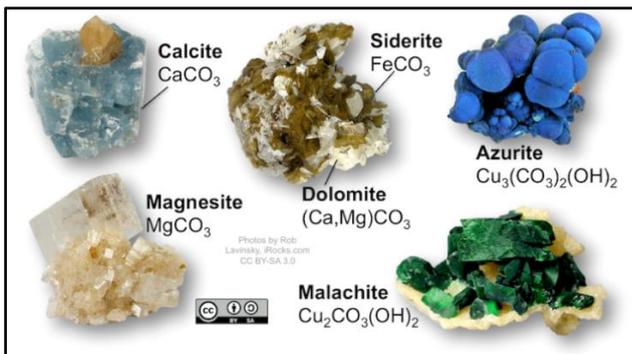
D. Mineral Karbonat

Mineral karbonat merupakan mineral dengan komposisi kimia mengandung ion karbonat (CO₃²⁻) yang berikatan dengan kation unsur lain, seperti Ca, Mg, Fe, Cu, Na, Pb, Zn, dan lain-lain. Kristal mineral kelompok ini umumnya memiliki morfologi kristal yang jelas, ringan, dan berwarna cerah atau transparan (Gambar 6.5). Mineral umumnya terbentuk pada lingkungan sedimen seperti kalsit dan dolomit. Terdapat pula mineral karbonat yang terbentuk dari proses hidrotermal seperti azurit dan malasit. Terdapat lebih dari 80 jenis mineral yang dikelompokkan berdasar komposisi kimia dan sistem kristal seperti Tabel 6.4 berikut:

Tabel 6.4. Kelompok utama mineral karbonat (Nesse, 2000)

Kelompok	Nama Mineral	Rumus Kimia
Kalsit (trigonal)	Kalsit	CaCO_3
	Magnesit	MgCO_3
	Siderit	FeCO_3
	Rodokrosit	MnCO_3
Aragonit (ortorombik)	Aragonit	CaCO_3
	<i>Strontianite</i>	SrCO_3
	<i>Cerussite</i>	PbCO_3
Dolomit (trigonal)	Dolomit	$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$
	Ankerit	$\text{CaFe}(\text{CO}_3)_2$
OH-Bearing	Azurit	$\text{Cu}(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$
	Malasit	$\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$

Salah satu sifat khas pada mineral karbonat adalah dapat larut dengan pelarut asam seperti HCl, terutama pada mineral kalsit dan aragonit. Mineral karbonat sangat penting dalam batuan sedimen baik dalam bentuk kristal mineral maupun semen (dibahas lebih lanjut pada pokok bahasan berikutnya).



Gambar 6.4 Mineral karbonat (Panchuk, 2018)

E. Mineral Sulfat

Apabila pada mineral sulfida, sulfur menjadi anion, maka pada mineral sulfat, sulfur menjadi kation yang berikatan dengan oksigen. Mineral sulfat adalah kelompok mineral dengan komposisi kimia yang mengandung ion sulfat (SO_4^{2-}). Mineral ini umumnya terbentuk pada lingkungan evaporasi, oksidasi, metamorfik, dan proses hidrotermal. Mineral sulfat umumnya memiliki ciri tembus cahaya, densitas sedang

hingga tinggi, kekerasan lunak hingga sedang (Gambar 6.5). Beberapa mineral bersifat larut dalam air seperti garam.

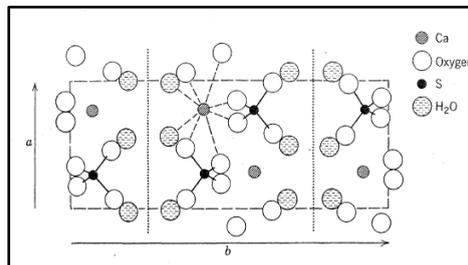
Beberapa contoh umum mineral yang termasuk ke dalam kelompok ini adalah:

1. Anhidrit (CaSO_4)
2. Gypsum ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)
3. Barit (BaSO_4)



Gambar 6.5. Mineral sulfat (Panchuk, 2018)

Gypsum dengan sistem kristal monoklin merupakan bentuk terhidrasi dari anhidrit. Struktur gypsum berbentuk lembaran yang tiap lembarnya dipisahkan oleh molekul air. Zona lemah ini menyebabkan lembaran mudah terbelah dalam belahan yang sempurna (Gambar 6.6). Hilangnya air menyebabkan struktur berubah dan menjadi polimorfnya yaitu anhidrit. Anhidrit adalah kalsium sulfat tak terhidrasi dengan sistem kristal ortorombik, terbentuk umumnya melalui kristalisasi air laut pada daerah yang evaporasinya sangat kuat. Anhidrit hasil evaporasi ini sering berasosiasi dengan dolomit. Anhidrit hasil dehidrasi gypsum umumnya bersifat metastabil. Gypsum adalah mineral penting sebagai bahan konstruksi, pupuk, industri kimia dan makanan.



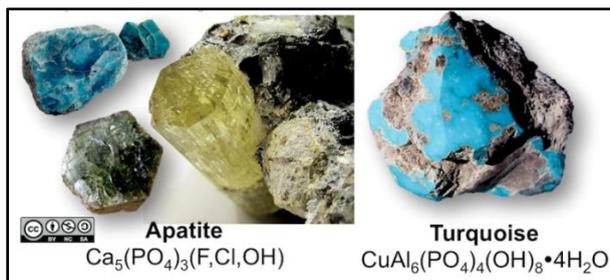
Gambar 6.6 Struktur gypsum yang dipisahkan molekul air, garis vertikal merupakan bidang lemah yang berpotensi sebagai bidang belahan (Klein, 2001)

F. Mineral Fosfat

Menurut klasifikasi Nickel-Strunz, mineral fosfat termasuk dalam kelas yang sama dengan arsenat dan vanadat dengan hampir 700 spesies mineral teridentifikasi (Klein, 2001). Mineral fosfat memiliki komposisi kimia yang mengandung anion fosfat (PO_4^{3-}) atau penggantinya yaitu arsenat (AsO_4^{3-}) atau vanadat (VO_4^{3-}) yang tersusun tetrahedral. Beberapa spesies mineral yang termasuk ke dalam kelompok ini adalah:

1. Kelompok Apatit ($\text{Ca}_5\text{F, Cl, OH})(\text{PO}_4)_3$)
2. *Turquoise* $\text{CuAl}_6(\text{PO}_4)_4(\text{OH})_8 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
3. Vanadinite $\text{Pb}_5(\text{VO}_4)_3\text{Cl}$
4. Monazit (Ce, La, Y, Th) PO_4

Mineral fosfat bersifat mulai dari tembus cahaya hingga buram, biasanya berwarna kuat, densitas dan kekerasan menengah. Berbagai mineral digunakan sebagai batumulia dan ornamen (Gambar 6.7) seperti apatit dan *turquoise* (batu pirus). Apatit ($\text{Ca}_5(\text{F,Cl,OH})(\text{PO}_4)_3$) merupakan mineral fosfat paling penting yang terdiri dari tiga **isomorf hidroksiapatit, fluorapatit, dan klorapatit** bergantung dari ion yang konsentrasinya tertinggi antara OH, F, dan Cl (Haldar dan Tisljar, 2014). Mineral fosfat yang jarang dan banyak dicari adalah monazit. Nilai ekonomi yang tinggi dari monazit berasal dari komposisi unsur tanah jarang atau *rare earth element* (REE) di dalamnya. REE banyak digunakan dalam industri sebagai material elektronik dan bahan katalis.



Gambar 6.7. Mineral fosfat (Panchuk, 2018)

G. Mineral Halida

Mineral ini memiliki komposisi kimia yang mengandung anion halida atau dari unsur halogen (F⁻, Cl⁻, Br⁻, dan I⁻). Halogen memiliki sifat

khas yaitu satu muatan negatif dan ukuran anionnya lebih besar dari oksigen. Ketika berikatan kimia, akan membentuk ikatan dengan afinitas tinggi. Karena komposisi dan struktur kimianya sederhana, umumnya terbentuk kristal mineral yang tingkat simetrinya tinggi (Nesse, 2000). Contoh mineral yang termasuk ke dalam kelompok ini adalah:

1. Halit (NaCl)
2. Silvit (KCl)
3. Fluorit (CaF₂)

Ciri mineral halida umumnya berwarna cerah, mungkin transparan, ringan, lunak, dan belahan baik (Gamabr 6.8). Pembentukan mineral ini umumnya pada lingkungan evaporasi seperti pada halit dan silvit, sehingga sering disebut endapan evaporit. Selain itu, halida memungkinkan terbentuk dari kristalisasi magma dan proses hidrotermal seperti pada fluorit.



Gambar 6.8. Mineral halida (Panchuk, 2018)

H. Mineral Silikat

Mineral silikat adalah kelompok mineral yang memiliki komposisi kimia utama silikon (Si) dan oksigen (O), dua unsur yang termasuk salah satu unsur paling melimpah di kerak bumi, dalam rasio dan komposisi kimia tertentu. Kelompok ini seringkali disebut *Rock Forming Material* (RFM) karena menyusun sekitar 90% kerak bumi. Mineral ini terbentuk terutama karena kristalisasi magma menjadi mineral penyusun batuan beku. Lebih rinci mengenai mineral silikat akan dijelaskan pada pokok bahasan 7.

6.2.2. Latihan

Berdasarkan pembagian kelompok terlampir, buatlah poster mengenai kelompok mineral sesuai pembagian. Isi memuat: struktur dan komposisi kimia, keterdapatan, proses pembentukan, contoh mineral dan karakteristiknya, serta aspek ekonomi. Poster dibuat dengan ukuran A2,

boleh ditulis dan gambar manual maupun cetak digital, dikumpulkan pada pertemuan berikutnya!

6.3. Penutup

6.3.1. Rangkuman

Terdapat ribuan jenis mineral di kerak bumi dengan berbagai sifat fisik dan komposisi kimia yang berbeda. Suatu mineral dapat terbentuk hanya dari satu jenis unsur yang pada kondisi geologi tertentu dapat mengkristal menjadi mineral, yang disebut *native mineral*. Namun kebanyakan mineral tersusun dari senyawa kimia berupa oksida, hidroksida, sulfida, sulfat, halida, karbonat, fosfat, dan silikat. Tiap kelompok mineral memiliki kekhasan, proses pembentukan dan aspek ekonomi yang penting.

6.3.2. Tes Formatif

Jawablah pertanyaan berikut:

1. Mineral dikelompokkan berdasarkan:
 - a. Sifat kemagnetan
 - b. Perawakan
 - c. Komposisi kimia
 - d. Warna dan belahan
2. *Native element* yang dapat terbentuk dari sublimasi gas pada daerah vulkanik adalah:
 - a. Tembaga
 - b. Grafit
 - c. Halit
 - d. Sulfur
3. Komposisi kimia mineral sulfida adalah memiliki anion:
 - a. S^{2-}
 - b. SO_4^{4-}
 - c. SO_3^{2-}
 - d. OH^-
4. Mineral halida umumnya terbentuk dari
 - a. Pelapukan batuan
 - b. Presipitasi karbonat
 - c. Proses reduksi
 - d. Proses evaporasi

5. Rubi dan safir merupakan nama batumulia untuk mineral oksida berikut:
 - a. Korundum
 - b. Rutil
 - c. Hematit
 - d. Kasiterit

6.3.3. Umpan Balik

Mahasiswa dianggap mampu memahami pokok bahasan ini jika telah dapat menyebutkan kelompok mineral utama, menjelaskan komposisi kimia dan contoh mineral serta aspek ekonominya paling tidak 80% benar.

6.3.4. Tindak Lanjut

Mahasiswa dapat melanjutkan ke materi selanjutnya jika mampu menjawab tes formatif dengan benar minimal 80% dari keseluruhan soal.

6.3.5. Kunci Jawaban Tes Formatif

1. c
2. d
3. a
4. d
5. a

DAFTAR PUSTAKA

- Haldar, S.K., Tisljar, J., 2014, *Introduction to Mineralogy and Petrology*, USA: Elsevier.
- Klein, C., 2001, *Manual of Mineral Science 22nd Edition*, USA: Wiley.
- Mills, S.J., Hatert, F., Nickel, E.H., Ferraris, G., 2009, The standardisation of mineral groups hierarchies: application to recent nomenclature proposals, *Eur. J. Mineral* 21.
- Murphy, C., 2014, The Atomic Difference Between Diamonds and Graphite, <http://sustainable-nano.com/2014/02/18/the-atomic-difference-between-diamonds-and-graphite/> diakses pada 10 Juni 2020

Nesse, W.D., 2000, *Introduction to Mineralogy*, New York: Oxford University Press

Panchuk, K., 2018, *Physical Geology 1st Edition*, Canada: University of Saskatchewan

SENARAI

- Bijih (*ore*)** : Agregat batuan atau mineral yang memiliki kandungan unsur logam tertentu dan dapat diekstrak secara ekonomis.
- Evaporit** : Jenis mineral atau batuan yang terbentuk dari kristalisasi fluida berkonsentrasi unsur tertentu, akibat tingkat evaporasi yang sangat tinggi, misalnya pada laut atau danau yang terisolir.
- Proses hidrotermal** : Proses pembentukan mineral yang dikontrol adanya air panas yang melewati batuan di bawah permukaan. Air hidrotermal ini dapat mengubah komposisi batuan, melarutkan unsur yang dilewatinya, kemudian mengendapkannya menjadi suatu mineral di tempat lain sepanjang perjalanannya.
- Rare earth element (REE)** : Unsur tanah jarang, merupakan unsur yang termasuk dalam kelompok lantanida dalam tabel periodik ditambah skandium dan ytrium. Unsur ini keterdapatannya minor di kerak bumi, dan jarang terkonsentrasi dalam jumlah signifikan.

POKOK BAHASAN 7: MINERAL SILIKAT

7.1. Pendahuluan

7.1.1. Deskripsi Singkat

Pokok bahasan ini menjabarkan mengenai keberagaman jenis mineral di kerak bumi, yang menunjukkan bahwa mineral silikat merupakan paling melimpah yang terbentuk dari kristalisasi magma. Pembahasan mengenai mineral silikat mencakup pembagian kelompok berdasarkan struktur dan ikatan kimianya, contoh mineral, dan pembentukannya.

7.1.2. Relevansi

Mineral silikat adalah mineral yang paling banyak menyusun kerak bumi, terutama di batuan beku. Terdapat kaitan antara struktur kimia dan sifat fisik dalam mineral silikat, sehingga pokok bahasan terdahulu harus dimengerti. Pemahaman mengenainya merupakan syarat untuk dapat mengikuti pokok bahasan berikutnya yaitu mineral dalam batuan beku.

7.1.3. Kompetensi

Dengan mempelajari pokok bahasan ini, mahasiswa diharapkan mampu:

1. Menjelaskan struktur molekul dan unsur utama pembangun mineral silikat
2. Menyebutkan kelompok mineral silikat berdasarkan konfigurasi struktur ikatannya beserta contoh mineral
3. Menjelaskan kaitan antara konfigurasi struktur mineral silikat dengan sifat fisiknya

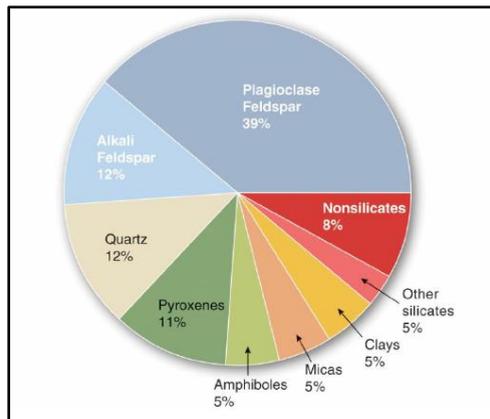
7.2. Penyajian

7.2.1. Uraian Materi

A. Pendahuluan

Terdapat sekitar 13 unsur umum yang paling melimpah dan menyusun 99% dari kerak bumi yaitu O, K, Na, Ca, Mn, Fe, Mg, Ti, Al, Si, P, S, dan C. Dari keseluruhan unsur tersebut, oksigen (62,5% persentase atomik) dan silikon (21,2 persentase atomik) merupakan yang paling umum (Klein, 2001). Berdasarkan angka tersebut, maka masuk akal apabila komposisi kerak bumi umumnya tersusun dari mineral yang memuat kedua unsur tersebut.

Mineral silikat merupakan mineral paling melimpah di kerak bumi, mencapai 90% dari keseluruhan kerak sehingga memerlukan perhatian khusus dalam pembahasannya (Gambar 7.1). Berbagai kumpulan mineral silikat menyusun seluruh jenis batuan: batuan beku, batuan sedimen, batuan metamorf, endapan mineral, bahkan tanah. Lebih lanjut lagi akan dibahas mengenai *rock forming minerals* (RFM) pada pokok bahasan berikutnya. Mineral silikat yang paling dikenal adalah kuarsa, dengan bentuk kristalnya yang menarik tidak hanya bagi ahli geologi namun juga orang awam. Beberapa mineral silikat memiliki keunikan dan keindahan yang layak dijadikan batumulia dengan harga mahal seperti beril, zirkon, dan kuarsa tertentu. Sedangkan sebagian besarnya adalah mineral yang umum dan tidak memiliki harga tersendiri. Kegunaan mineral silikat dalam kehidupan sehari-hari ada pada berbagai bidang seperti industri, konstruksi, hingga pertanian. Bangunan berasal dari batu, pasir, bata, dan kaca berasal dari mineral silikat. Tanah untuk bercocok tanam berasal dari pelapukan mineral silikat yaitu pasir dan lempung (Nesse, 2000). Kelimpahan mineral silikat yang begitu besar didukung pula oleh keragaman jenisnya berdasarkan struktur dan komposisi kimia. Hal inilah yang menjadi fokus pada pokok bahasan ini.

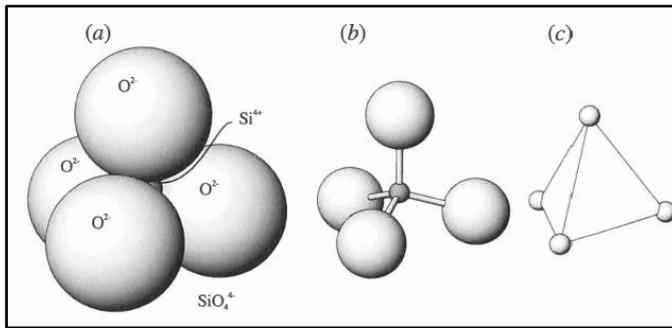


Gambar 7.1. Perkiraan persentase kelimpahan kelompok mineral silikat dibandingkan nonsilikat di kerak bumi (Yonov dan Yaroshevsky, 1969 dalam Klein dan Philpotts, 2017)

B. Silika Tetrahedra

Dasar pembangun seluruh mineral silikat adalah ikatan molekul silikon dan oksigen yang berbentuk tetrahedral. Atom Si^{4+} merupakan

kation yang berukuran relatif kecil dan secara mudah menempati ruang tetrahedral dari atom-atom O^{2-} (Nesse, 2000). Satuan pembangun atau *building block* ini dinamakan **silika tetrahedra**, terdiri dari empat anion O^{2-} yang tersusun menempati sudut bangun tetrahedron dengan kation Si^{4+} di bagian tengahnya sesuai dengan aturan pertama Pauling. Berdasarkan muatannya, satu molekul silika tetrahedra masih memiliki sisa muatan -4. Konsep elektronegativitas memperkirakan sisa muatan berikatan sebagai 50% ikatan ionik dan 50% ikatan kovalen.



Gambar 7.2. Penggambaran molekul silika tetrahedra, a = perbandingan ukuran atom sebenarnya, b = model *stick-and-ball*, c = anion oksigen pada ujung tetrahedron (Nesse, 2000)

Sebagaimana aturan kedua Pauling, keempat O^{2-} membagi muatannya yang mana satu berikatan dengan Si^{4+} di tengah, dan satu muatan lagi bebas untuk nantinya berikatan dengan Si^{4+} dari molekul lain atau unsur lainnya agar struktur lebih stabil. Efeknya, sejumlah silika tetrahedra tak hingga akan terpolimerisasi membentuk senyawa yang lebih kompleks. Pembagian muatan negatif pada oksigen dapat terjadi pada satu, dua, tiga, atau keseluruhan empat atomnya pada silika tetrahedra. Hal ini mengakibatkan diversitas konfigurasi struktur molekul yang akan dijelaskan lebih lanjut pada sub pokok bahasan berikutnya.

C. Struktur Mineral Silikat

Sebagaimana telah disebutkan, silika tetrahedra adalah satuan molekul dalam mineral silikat yang bermuatan negatif 4 dan saling berikatan membentuk polimer. Perilaku dan jumlah oksigen yang mengikat molekul silika tetrahedra lain untuk menetralkan muatannya inilah yang membedakan konfigurasi struktur mineral silikat (Tabel 7.1.).

Tabel 7.1. Klasifikasi kelompok mineral silikat (modifikasi Nesse, 2000)

Kelas	Jumlah O ²⁻ yang dibagi per molekul	Rasio Z:O Z= kation	Konfigurasi struktur
Ortosilikat	0	1:4	Tunggal
Sorosilikat	1	2:7	Ganda
Siklosilikat	2	1:3	Cincin
Inosilikat			
Rantai tunggal	2	1:3	Rantai
Rantai ganda	2 atau 3	4:11	
Filosilikat	3	2:5	Lembaran
Tektosilikat	4	1:2	Kerangka

Terdapat rasio kation dan oksigen yang berpola pada tiap kelas mineral silikat. Semakin kompleks strukturnya, rasionya akan semakin besar. Pola ini dapat dilihat berurutan dari ortosilikat yang paling sederhana hingga tektosilikat yang paling kompleks (Klein, 2001). Kation yang paling ideal dalam ikatan ini adalah Al, yang ukuran atomnya hampir mendekati Si, sehingga mudah masuk ke dalam ikatan. Beberapa unsur umum lain adalah Al, Mg, Fe, Mn, dan Ti yang ukuran atomnya tidak terlalu besar, serta unsur Ca dan Na yang ukurannya lebih besar dibanding kation lainnya. Unsur dengan ukuran atom terbesar yang sering muncul adalah K, Rb, Ba, dan unsur jejak lain yang lebih jarang dijumpai.

1. Ortosilikat/Nesosilikat

Polimerisasi paling sederhana adalah ortosilikat atau nesosilikat (*nesos* = pulau, *orthos* = normal), di mana tidak terdapat muatan oksigen yang berikatan dengan oksigen dari molekul lain, namun menetralkan muatan dengan mengikat kation lain seperti Mg²⁺, Fe²⁺, dan Al³⁺. Ikatan ini disebut juga dengan **silikat tunggal**. Susunan atom dalam ortosilikat umumnya sangat padat, sehingga mineral dengan struktur ini biasanya memiliki berat jenis lebih tinggi dibanding silikat lain. Karena molekul silika tetrahedra tidak berikatan dengan molekul lain dalam suatu susunan seperti rantai atau lembaran, maka perawakan kristal umumnya ekuidimensional dan tidak memiliki belahan yang jelas (Klein, 2001).

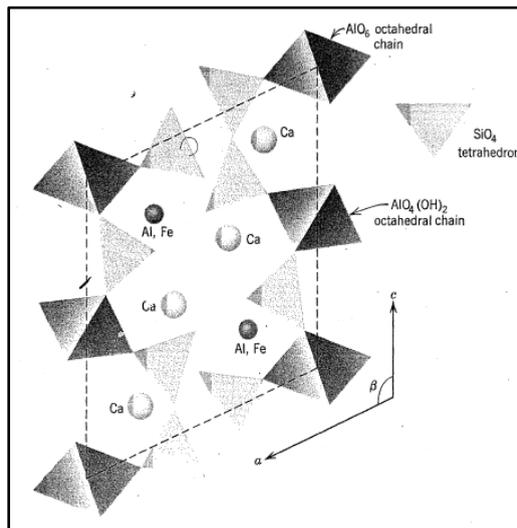
Meski Al³⁺ adalah kation pengganti yang umum dalam silikat, namun jumlahnya cenderung sedikit pada struktur ortosilikat. Contoh mineral dengan ikatan ini adalah kelompok mineral olivin yang mengikat Mg²⁺ dan Fe²⁺, serta sedikit Mn²⁺ dan Cr³⁺. Seri olivin

((Mg,Fe)₂SiO₄) memiliki *endmember* forsterit (Mg₂SiO₄) dan fayalit (Fe₂SiO₄). Forsterit dan fayalit ini merupakan salah satu contoh **isomorfisme**, yang mana komposisi kimia berbeda, namun struktur internal, susunan atom, dan bentuknya sama. Olivin terdapat di alam sebagai campuran antara kedua **isomorf** tersebut, dengan ion Fe dan Mg tercampur dan sulit ditentukan rasio pastinya. Hanya rasio stoikiometrinya yang pasti selalu 2 (Mg+Fe) : 1 Si : 4 O.

Garnet adalah contoh lain mineral ortosilikat yang umumnya hadir pada batuan metamorf. Selain kation seperti pada olivin, Ca dan Al menjadi kation yang umum dijumpai pada garnet.

2. Sorosilikat

Berbagi satu atom O²⁻ antara dua molekul silika tetrahedra akan menghasilkan ikatan sorosilikat atau **silikat ganda**. Hasilnya adalah rasio kation terhadap oksigen 2:7 atau Si₂O₇ yang nantinya berikatan dengan molekul lainnya. Misalnya pada kelompok epidot, silikat ganda yang tersusun ini akan dimasuki oleh unsur Ca, Al, dan Fe serta molekul oktahedron AlO₆ dan AlO₄(OH)₂ (Gambar 7.3.)



Gambar 7.3. Representasi struktur mineral epidot pada salah satu bidang kristalnya. Molekul silikat dapat berikatan ganda dengan silikat lain atau oktahedron molekul lain (Klein, 2001)

3. Siklosilikat

Siklosilikat memiliki konfigurasi **silikat cincin** yang berikatan menjadi satu. Cincin paling sederhana mungkin terbentuk hanya dari tiga molekul silikat. Contoh mineral berstruktur ini adalah beril $\text{Be}_3\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{18}$. Turmalin merupakan salah satu mineral dengan komposisi kimia yang kompleks, tersusun dari cincin silikat yang diisi Na^+ dan $(\text{OH})^-$ serta berikatan dengan lembaran molekul boron oksida.

4. Inosilikat

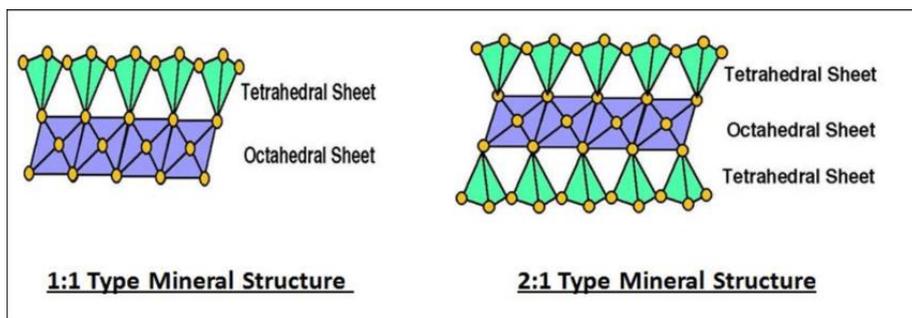
SiO_4 dapat berikatan membentuk **silikat rantai** dengan berbagi oksigen bersusunan memanjang. Molekul silika tetrahedra berbagi dua oksigen memberikan rasio $\text{Si}:\text{O} = 1:3$, menghasilkan rantai tunggal. Sedangkan pada rantai ganda, setengah bagian molekul saling berbagi dua oksigen, setengahnya lagi saling berbagi tiga oksigen (Klein, 2001). Termasuk di dalam inosilikat adalah dua mineral yang sangat penting dalam kelompok mineral RFM yaitu kelompok piroksen (rantai tunggal) dan kelompok amfibol (rantai ganda). Banyak kesamaan sifat fisik, kristalografi, dan komposisi kimia antara dua kelompok mineral tersebut. Keberadaannya yang seringkali berasosiasi pada batuan beku menyebabkan seringnya kesalahan dalam membedakan. Meskipun sebagian besar kedua kelompok mineral tersebut masuk dalam sistem monoklin, terdapat pula anggota mineral bersistem ortorombik.

Komposisi kimia kation yang hadir pada kedua kelompok hampir sama, hanya saja amfibol, termasuk di dalamnya mineral hornblende, dicirikan adanya (OH) . Meski warna, kilap, dan kekerasan hampir sama, keberadaan (OH) menjadikan berat jenis amfibol lebih ringan dibanding piroksen. Perawakan kristalnya juga sedikit berbeda, piroksen umumnya prismatic lebih pendek, sedangkan amfibol berbentuk bilah relatif lebih memanjang. Satu sifat yang menjadi pembeda penting, yang merupakan representasi dari perbedaan struktur rantainya adalah sifat belahan. Keduanya memiliki belahan dua arah yang berasal dari ikatan rantai, yang mana belahan piroksen relatif mendekati tegaklurus, sedangkan amfibol bersudut mendekati 60° dan 120° .

5. Filosilikat

Diturunkan dari kata Yunani *phylon* yang berarti daun, sebagian besar mineral dalam kelas ini memiliki bentuk lebih ke lembaran atau serpihan tipis sehingga disebut sebagai **silikat lembaran**. Mineral dalam kelompok ini umumnya juga bersifat lunak, berat jenis relatif rendah, belahan satu arah sempurna, sebagian menunjukkan sifat fleksibel bahkan elastis. Semua sifat fisik ini merupakan manifestasi dari adanya struktur internal berupa lembaran tak terbatas. Dalam lembaran ini, tiga dari empat oksigen saling berbagi muatan dengan molekul silika tetrahedra lain, menghasilkan rasio Si:O = 2:5. Setiap lembaran yang ideal memiliki simetri lipat enam (Klein, 2001).

Komposisi kimia filosilikat umumnya mengandung (OH). Setiap lembaran dapat tersusun dalam bentuk tetrahedral atau oktahedral. Terdapat dua jenis unit lembaran berdasarkan pola bertumpuknya, yaitu pola T-O dan pola T-O-T (Gambar 7.4). Unit inilah yang nantinya secara berulang menyusun keseluruhan mineral. Contoh mineral paling umum pada filosilikat adalah kelompok mineral lempung dan mika. Kelompok mineral ini diklasifikasikan menurut jenis unit lembarannya menjadi kelompok 1:1 (pola T-O) contohnya kaolinit dan krisotil, serta kelompok 2:1 (pola T-O-T) contohnya talk, klorit, muskovit, biotit.



Gambar 7.4. Jenis unit lembaran mineral filosilikat (Marchuk, 2016)

6. Tektosilikat

Hampir 64% kerak bumi terbangun dari mineral tektosilikat, atau mineral silikat yang memiliki struktur konfigurasi **kerangka**.

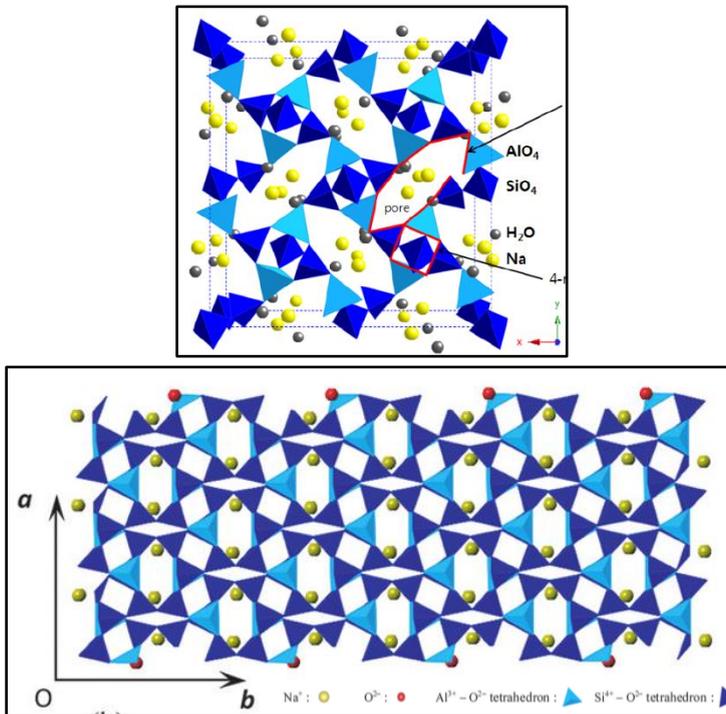
Feldspar dan kuarsa menyumbang proporsi sangat besar keberadaannya dalam batuan. Struktur kerangka terbentuk ketika seluruh empat oksigen saling berbagi muatan dengan molekul silika tetrahedra lain yang berdekatan. Implikasi dari kondisi ini adalah struktur ikatan yang sangat kuat dan stabil dengan rasio Si:O = 1:2. Karena hampir tidak ada bagian struktur yang lemah seperti pada inosilikat dan filosilikat, mineral tektosilikat umumnya tidak memiliki belahan atau memiliki belahan yang buruk, dengan kekerasan relatif tinggi.

Mineral tektosilikat yang paling populer yaitu kuarsa, SiO₂, yang tidak mengandung unit struktur lain sebagaimana mineral silikat pada umumnya. Kuarsa memungkinkan terbentuk dan tersusun dalam beberapa cara, menghasilkan banyak polimorf seperti tridimit, kristobalit, dan koesit. Feldspar merupakan kelompok mineral paling melimpah dan banyak anggotanya. Struktur feldspar mirip kuarsa, dengan tambahan kation umumnya Na, K, Ca, dan Al. Terdapat tiga *endmember* utama feldspar yaitu:

- a. Plagioklas Ca atau anortit, Ca(Al₂Si₂O₈)
- b. Plagioklas Na atau albit, Na(Al₂Si₃O₈)
- c. K-Feldspar atau ortoklas, KAlSi₃O₈

Mineral feldspar lain di luar *endmember* umumnya memiliki beberapa kation tambahan sekaligus dalam proporsi yang bervariasi. Plagioklas Na dan K-feldspar keduanya sering pula disebut sebagai alkali feldspar karena mengandung Na dan K.

Sebelumnya telah dinyatakan bahwa mineral tektosilikat bersifat keras (skala 5-7), stabil, dan resisten. Perkecualian adalah zeolit yang kekerasannya hanya 3,5-5,5. Meskipun zeolit memiliki struktur kerangka, ruang antarmolekul silikatnya sangat besar dan terbuka yang memungkinkannya mudah terpecah dalam bentuk menyerat (Gambar 7.5). Ruang antarmolekul yang besar ini juga terisi molekul air yang melemahkan ikatannya. Jika zeolit terpapar panas selama pertumbuhan mineralnya, lama kelamaan air akan menghilang dan ikatannya akan lebih kuat.

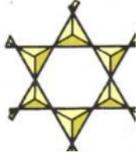
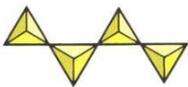
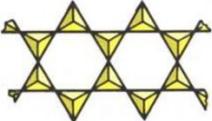
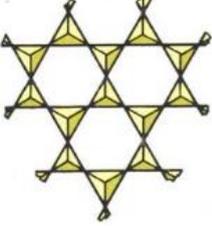
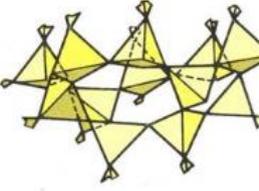


Gambar 7.5. Perbedaan susunan kerangka pada tektosilikat: zeolit (kiri) memiliki struktur lebih terbuka dan renggang dibandingkan albit (kanan) (Hwang dkk., 2013; Li dan Knowles, 2013)

Seluruh kelas mineral silikat yang telah dijelaskan terangkum dalam tabel berikut:

Tabel 7.2. Bentuk ikatan dan contoh mineral silikat (modifikasi Nesse, 2000)

Kelas	Struktur Ikatan dan Konfigurasi	Contoh kelompok mineral
Ortosilikat / Nesosilikat	 Single tetrahedron (tunggal)	<ul style="list-style-type: none"> • Kelompok olivin: forsterit, fayalit • Kelompok garnet: almandine, grossular, andradite, uvarovite • Zirkon • Kelompok Al_2SiO_5: andalusit, kyanit, silimanit, topaz, staurolit
Sorosilikat	 Double tetrahedron (ganda)	<ul style="list-style-type: none"> • Lawsonite • Kelompok epidot: epidot, zoisite, clinozoisite, tanzanite, allanite • Vesuvianite/ idocrase

Kelas	Struktur Ikatan dan Konfigurasi	Contoh kelompok mineral
Siklosilikat	 <p>Ring (cincin)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Beril</i> • <i>Turmalin</i> • <i>Kordierit</i>
Inosilikat	 <p>Single chain (rantai tunggal)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Kelompok piroksen</i>: enstatit, diopsid, augit, hedenbergit, aegirin, jadeite, spodumene • <i>Kelompok piroksenoid</i>: wollastonite, rhodonite, pectolite
	 <p>Double chain (rantai ganda)</p>	
Filosilikat	 <p>Sheet (lembaran)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Kelompok mika</i>: biotit, muskovit, glaukonit, phlogopit • <i>Kelompok mineral lempung</i>: kaolinit, haloisit, ilit, montmorilonit, talk • <i>Kelompok klorit</i> • <i>Kelompok serpentin</i>
Tektosilikat	 <p>Framework (kerangka)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Kelompok kuarsa</i>: kuarsa, tridimit, kristobalit, koesit, stishovit • <i>Kelompok alkali feldspar</i>: mikroklin, ortoklas, anortoklas, sanidin • <i>Kelompok plagioklas</i>: albit, oligoklas, andesin, labradorit, bitownit, anortit • <i>Kelompok feldspathoid</i>: leusit, nefelin, sodalit, lazurit • <i>Kelompok zeolit</i>

7.2.2. Latihan

Buatlah makalah mengenai salah satu kelas mineral silikat (pembagian terlampir). Makalah diketik dengan isi mencakup konfigurasi struktur dan gambarnya, komposisi kimia, contoh mineral, dan sifat fisik

yang berhubungan dengan struktur silikatnya. Cantumkan referensi dan harus memuat buku teks serta artikel ilmiah, dikumpulkan pada pertemuan berikutnya!

7.3. Penutup

7.3.1. Rangkuman

Mineral silikat adalah mineral yang tersusun oleh unit molekul terkecil berupa silika tetrahedra. Silika tetrahedra terdiri dari satu kation Si dikelilingi empat anion O dalam bentuk tetrahedron dan memiliki muatan negatif 4. Untuk menetralkan muatan tersebut, atom O berikatan dengan molekul silikat atau unsur lain sehingga terbentuk konfigurasi struktur yang beragam. Berdasarkan struktur tersebut, mineral silikat terbagi menjadi ortosilikat, sorosilikat, siklosilikat, inosilikat, filosilikat, dan tektosilikat. Sebagian besar mineral yang menyusun kerak bumi adalah mineral silikat, dengan kelimpahan lebih dari 90%. Oleh karena itu, sangat penting mempelajari mineral silikat secara khusus.

7.3.2. Tes Formatif

Jawablah pertanyaan berikut ini:

1. Unit molekul yang menjadi penyusun utama mineral silikat adalah:
 - a. Silika tetrahedra
 - b. Silika amorf
 - c. Kuarsa
 - d. SiO_2
2. Kelompok mineral silikat yang paling melimpah di kerak bumi adalah:
 - a. Mika
 - b. Olivin
 - c. Feldspar
 - d. Piroksen
3. Konfigurasi struktur mineral silikat yang benar adalah:
 - a. Rantai tunggal = sorosilikat
 - b. Ganda = nesosilikat
 - c. Rantai ganda = inosilikat
 - d. Lembaran = tektosilikat

4. Struktur yang menyebabkan mineral mika memiliki belahan satu arah yang sempurna adalah
 - a. Silikat tunggal
 - b. Silikat lembaran
 - c. Silikat cincin
 - d. Silikat rantai
5. Berikut termasuk mineral tektosilikat adalah sebagai berikut kecuali:
 - a. Amfibol
 - b. Zeolit
 - c. Ortoklas
 - d. Albit

7.3.3. Umpan Balik

Mahasiswa dianggap memahami pokok bahasan ini jika telah dapat menyebutkan pengertian mineral silikat, silika tetrahedra, serta klasifikasi mineral silikat berdasarkan konfigurasi strukturnya paling sedikit 80% benar

7.3.4. Tindak Lanjut

Mahasiswa dapat melanjutkan ke materi selanjutnya jika mampu menjawab tes formatif dengan benar minimal 80% dari keseluruhan soal.

7.3.5. Kunci Jawaban Tes Formatif

1. a
2. c
3. c
4. b
5. a

DAFTAR PUSTAKA

Hwang, C.H., Jang, Y.N., Liu, Z.X., Lee, Y.J., 2013, *Pressure Effects on the Dehydration Behavior of Natrolite*, DOI: 10.9727/jmsk.2013.26.3.175.

Klein, C., 2001, *Manual of Mineral Science 22nd Edition*, USA: Wiley.

Klein, C., Philpotts, A.R., 2017, *Earth Material: Introduction to Mineralogy and Petrology*, UK: Cambridge University Press.

Li, B., Knowles, K.M., 2013, Molecular dynamics simulation of albite twinning and pericline twinning low albite, *Modelling and Simulation in Materials Science and Engineering* 21(5).

Marchuk, S., 2016, *The Dynamics of Potassium in some Australian Soils*, Thesis for Doctor of Philosophy, University of Southern Queensland, Australia.

Nesse, W.D., 2000, *Introduction to Mineralogy*, New York: Oxford University Press

SENARAI

- Endmember*** : Anggota suatu kelompok mineral dengan komposisi paling murni tanpa ada pengotor atau proporsi unsur lain di luar rumus kimianya
- Isomorf*** : Mineral-mineral dengan komposisi kimia berbeda, namun memiliki struktur dan sistem kristal yang sama
- Polimerisasi*** : Proses kimia yang menggabungkan beberapa molekul menjadi satu dan membentuk deret ikatan baru hingga rangkaian yang kompleks
- Rock Forming Minerals (RFM)*** : Sekelompok mineral yang umum dijumpai menyusun batuan, dengan kelimpahan yang besar di kerak bumi

POKOK BAHASAN 8: MINERAL PENYUSUN BATUAN BEKU

8.1. Pendahuluan

8.1.1. Deskripsi singkat

Mineral penyusun batuan beku terbentuk melalui proses pembekuan magma. Mineral-mineral tersebut termasuk ke dalam jenis mineral primer. Dengan mempelajari mineral penyusun batuan beku, maka mahasiswa akan dapat mempelajari mineral-mineral penyusun batuan lain karena sebagian besar mineral penyusun batuan lain (sedimen dan metamorf) berasal dari mineral primer tersebut.

8.1.2. Relevansi

Pada pokok bahasan ini akan dipelajari mineral-mineral penyusun batuan beku, klasifikasinya, jenis-jenisnya, genesisnya, dan keterdapatannya dalam berbagai jenis batuan beku. Materi ini sangat penting untuk bisa memahami materi pada pokok bahasan selanjutnya. Pemahaman tersebut terutama menyangkut mineral yang bisa juga dijumpai pada batuan sedimen dan metamorf.

8.1.3. Kompetensi

1. Standar Kompetensi

Pada akhir pokok bahasan ini mahasiswa diharapkan akan mampu menjelaskan kembali tentang mineral-mineral penyusun batuan beku, genesis pembentukannya sesuai deret Bowen's Reaction Series, kesesuaian jenis mineral dengan jenis batuan beku.

2. Kompetensi Dasar

Setelah mempelajari materi pada pokok bahasan ini, diharapkan mahasiswa akan mampu:

- a. Menjelaskan kembali pengertian magma.
- b. Menjelaskan kembali tentang mekanisme pembentukan mineral dari proses pembekuan magma.
- c. Menjelaskan kembali tentang jenis/ klasifikasi mineral berdasarkan sifat keasamannya.
- d. Menjelaskan kembali tentang mineral utama, mineral asesori khas dan mineral asesori minor.

8.2. Penyajian

8.2.1. Materi

A. Pengertian Magma

Magma berasal dari Bahasa Yunani Kuno, yang berarti sesuatu yang kental dan tebal. Menurut Merriam-Webster Dictionary, magma diartikan sebagai bahan alam cair atau semi cair dimana batuan beku terbentuk. Menurut Williams (1962), magma adalah cairan atau larutan silikat pijar yang terbentuk secara alamiah, bersuhu antara 900° - 1100° C dan berasal dari kerak bumi bagian bawah atau selubung bumi bagian atas.

Magma sebagai larutan silikat alam mengandung semua ion-ion yang akan membentuk semua mineral-mineral pembentuk batuan, namun mineral tersebut tidak terbentuk bersamaan karena tergantung pada fase silikat dengan kondisi tertentu. Dalam arti, mineral tertentu akan mengkristal pada temperatur dan kondisi tertentu.

Komposisi kimia magma sangat kompleks. Magma tersusun oleh 10 unsur kimia dominan, yaitu Silika (Si), Titanium (Ti), Aluminium (Al), Besi (Fe), Magnesium (Mg), Kalsium (Ca), Natrium (Na), Kalium (K), Hidrogen (H), dan Oksigen (O). Unsur-unsur kimia tersebut tidak berdiri sendiri-sendiri melainkan berupa oksida yaitu SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , FeO , MgO , CaO , Na_2O , K_2O dan H_2O .

Secara umum, SiO_2 adalah yang paling dominan, menyusun lebih dari 50 % berat magma. Kemudian, Al_2O_3 , FeO , MgO , CaO menyusun 44 % berat magma, dan sisanya Na_2O , K_2O , TiO_2 dan H_2O menyusun 6 % berat magma. Namun demikian perlu disadari bahwa kelimpahan unsur-unsur tersebut sangat bervariasi. Beda tempat, beda benua, beda gunung, rasio unsur-unsur penyusun magma pun berbeda-beda tergantung pada karakter komposisi magma.

Komponen penyusun magma dapat berupa campuran dari beberapa material. Campuran ini biasanya tersusun dari empat material, yaitu:

1. Tubuh magma yang berbentuk cairan super panas, disebut juga melt (lelehan/leburan).
2. Mineral-mineral yang terkristalisasi oleh lelehan magma
3. Batuan padat yang ikut masuk ke dalam cairan magma yang berasal dari dinding kamar magma, serta
4. Zat-zat berwujud gas yang terlarut ke dalam magma

B. Pembentukan Mineral dari Pembekuan Magma

Magma membeku pada suhu tertentu seiring dengan perjalanannya menerobos ke permukaan bumi. Pada saat masih di tempat yang sangat dalam magma akan membeku dengan lambat karena proses pendinginannya juga lambat. Semakin dekat ke permukaan bumi pembekuan magma akan berlangsung semakin cepat, ketika di permukaan bumi maka tentunya pembekuan berlangsung sangat cepat. Cepat lambatnya pembekuan magma berpengaruh pada tekstur batuan beku yang terbentuk. Magma yang membeku dengan sangat lambat akan membentuk batuan dengan ukuran kristal yang kasar. Sebaliknya jika magma membeku dengan cepat maka kristal yang terbentuk akan berukuran halus dan sangat halus sampai tidak berbentuk kristal (amorf) jika pembekuannya sangat cepat.

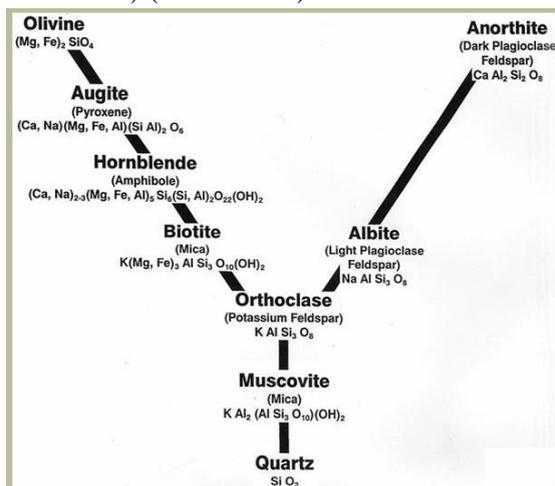
Proses pembentukan kristal-kristal atau mineral seiring pembekuan magma membentuk batuan beku menyebabkan komposisi magma berubah seiring penurunan suhu dan pembentukan mineral-mineral tersebut. Perubahan komposisi magma inilah yang disebut dengan **diferensiasi magma**. Perubahan komposisi magma tentunya menyebabkan variasi batuan beku yang terbentuk. Dengan kata lain **diferensiasi magma** ialah semua proses yang mengubah magma homogen berskala besar menjadi batuan beku dengan komposisi yang bervariasi (Huang, 1962).

Dalam Diferensiasi Magma itu sendiri terjadi beberapa proses :

1. **Fraksinasi** : ialah pemisahan kristal dari larutan magma pada waktu terjadi pendinginan magma. Kristal-kristal saat pendinginan magma tidak dapat mengikuti perkembangan komposisi larutan magma yang baru, dia telah utuh sebagai kristal dan berhenti bereaksi mengikat unsure lain untuk membentuk mineral lain. Proses **fraksinasi** ini merupakan proses **diferensiasi** yang paling utama.
2. **Gravitational settling** : pemilahan kristal-kristal oleh gaya gravitasinya, sehingga mineral yang berat akan memperkaya bagian dasar (waduk magma) dan posisinya berada di bawah mineral yang lebih ringan.
3. **Liquid immisibility** : ialah larutan magma yang mempunyai suhu dan tekanan yang tinggi, pada suhu rendah akan pecah mengalami fraksinasi larutan yang masing-masing membeku membentuk batuan yang heterogen.

4. **Vesiculation** : ialah suatu proses di mana magma yang mengandung CO_2 , SO_2 , H_2O , sewaktu naik ke permukaan membentuk gelembung-gelembung gas yang membawa serta komponen volatile seperti sodium dan potassium.
5. **Assimilasi** Evolusi magma dapat juga dipengaruhi oleh reaksi-reaksi dengan batuan sekitarnya wall rock. Karena magma yang menerobos kepermukaan temperaturnya lebih tinggi dari pada temperatur batuan yang diterobos maka batuan samping akan mempengaruhi komposisi magma tersebut. Hal ini sering terjadi terutama pada magma plutonik karena letaknya yang jauh dari permukaan bumi dan suhunya masih sangat tinggi mampu melelehkan batuan samping.

Magma tersusun oleh unsur yang beraneka ragam sehingga magma membeku membentuk kristal yang beraneka macam warna dan bentuk. Pembekuan magma membentuk kristal-kristal melalui reaksi kimia yang memiliki pola tertentu terkait dengan sifat kimiawi masing-masing unsur penyusunnya. Tiap-tiap unsur memiliki kecenderungan membeku pada suhu dan tekanan tertentu dan bereaksi mengikat unsur tertentu. Kecenderungan-kecenderungan tersebut telah dipelajari dan dirangkum menjadi sebuah pola sederhana yang dikenal dengan Deret Reaksi Bowen (*Bowen Reaction Series*) (Gambar 8.1).



Gambar 8.1. Deret Bowen Reaction Series

(http://faculty.collin.edu/bburkett/science_trivia.html)

Pada skema di atas terdapat dua seri pembentukan mineral. Olivin, piroksen, hornblenda dan biotit terdapat pada seri *discontinue*. Ini adalah seri mineral kaya Fe dan Mg (*Ferromagnesian*). Pada seri ini unsur Fe dan Mg bersama unsur-unsur yang lain dalam magma pada suhu tinggi akan cenderung membentuk olivin, selanjutnya seiring dengan penurunan suhu akan terbentuk mineral-mineral *ferromagnesian* yang lain. Adapun pada sisi kanan Deret Reaksi Bowen terdapat rangkaian pembentukan mineral plagioklas yang disebut dengan seri *continue*. Seri *Continue* artinya magma dari suhu tertinggi hingga suhu terendah akan terus menerus membentuk mineral plagioklas, dan sepanjang pembentukannya akan terus terjadi substitusi antara unsur **Ca** dan **Na**. Pada suhu yang tinggi cenderung dominan terbentuk **Ca Plagioklas**, sebaliknya pada suhu yang semakin lebih rendah akan semakin dominan **Na Plagioklas**. Adapun SiO₂ pada suhu tinggi masih belum banyak berpartisipasi membentuk mineral, sehingga semakin rendah suhunya larutan magma akan semakin didominasi oleh SiO₂. Magma setelah membentuk mineral-mineral olivin, piroksen akan semakin didominasi SiO₂ dan semakin bersifat asam.

C. Sifat Mineral Penyusun batuan Beku

Pada batuan beku, mineral sering dijumpai dapat dibedakan menjadi dua kelompok yaitu :

1. Mineral felsik ; tersusun atas silika dan alumina, umumnya berwarna cerah. Mineral tersebut antara lain : kuarsa, plagioklas, ortoklas, muskovit.
2. Mineral mafik ; tersusun atas unsur – unsur besi magnesium kalsium, umumnya mineral - mineral ini berwarna gelap. Mineral tersebut antara lain : olivin, piroksen, hornblenda, biotit.

Mineral felsik dan mineral mafik tersebut akan cenderung menyusun jenis batuan beku yang berbeda sifatnya. Mineral felsik akan cenderung menyusun batuan beku asam, sedangkan mineral mafik akan cenderung menyusun batuan beku basa. Sifat asam dan basa pada batuan beku ditentukan berdasarkan kandungan SiO₂. Klasifikasinya mengacu pada Hughes (1962).

1. Batuan beku **asam** : kandungan SiO₂ > 66%
2. Batuan beku **intermediet** : kandungan SiO₂ 52% – 66%
3. Batuan beku **basa** : kandungan SiO₂ 45% – 52%
4. Batuan beku **ultrabasa** : kandungan SiO₂ < 45%

D. Kelompok Mineral Penyusun Batuan Beku

Komposisi kimia dan sistem kristal mineral pembentuk batuan beku (RFM) adalah sebagai berikut:

1. Kelompok Olivin (ortorombik)

- a. *Forsterit* Mg_2SiO_4
- b. *Fayalit* Fe_2SiO_4

2. Kelompok Piroksen

- a. *Klinopiroksen* (monoklin)
 - *Augit* $\text{Ca,Mg,Fe,Al}_2(\text{Si,Al})_2\text{O}_6$
 - *Diopsid* $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$
- b. *Ortopiroksen* (ortorombik)
 - *Enstatite* $\text{Mg}_2\text{Si}_2\text{O}_6$
 - *Hyperstene* $\text{Fe}_2\text{Si}_2\text{O}_6$

3. Kelompok Amfibol $\text{Ca}_2(\text{Mg,Fe})_2\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$

- a. *Hornblende* (monoklin)
- b. *Actinolite*
- c. *Tremolite*
- d. *Glaucophane*

4. Kelompok Mika $(\text{H}_2\text{K Al}_3\text{SiO}_4)_3$

- a. *Biotit* (monoklin)
- b. *Muskovit* (monoklin)

5. Kelompok K –Feldspar $(\text{K Al Si}_3\text{O}_8)$

- a. *Ortoklas* (monoklin)
- b. *Sanidine* (monoklin)
- c. *Mikroklin* (triklin)

6. Kelompok Plagioklas $(\text{Ca} - \text{Na})\text{AlSi}_3\text{O}_8$ (monoklin – triklin)

7. Kuarsa (SiO_2) (heksagonal)

Berikut beberapa penjelasan mineral yang umum ditemui dalam batuan beku:

1. Kelompok Olivin

Mineral ini umum dijumpai di batuan beku basa atau ultrabasa (Gambar 8.2).



Gambar 8.2 Mineral olivin berwarna hijau terang pada peridotit (batuan beku ultrabasa) berasosiasi dengan piroksen berwarna hijau gelap (<http://webmineral.com/data/Olivine.shtml>)

Kelompok mineral	Silikat, nesosilikat
Mineral dalam kelompok ini	Fayalit, forsterit
Rumus kimia	$(Mg,Fe)_2SiO_4$
Warna	Hijau muda – gelap, hijau kekuningan, kuning kecoklatan
Cerat	Tidak berwarna
Kekerasan	6,5 – 7
Sistem Kristal	Ortorombik
Bentuk Kristal	Prismatik dan granular
Ketembusan cahaya	Transparan hingga translusen
Berat jenis	3,2 – 3,4
Kilap	Kaca
Belahan	Buruk
Pecahan	Konkoidal
Sifat dalam	Brittle
Keterdapatan	Batuan beku, metamorf, ekstraterrestrial

2. Kelompok Piroksen

Termasuk mineral utama yang umum dijumpai di batuan beku intermediet – basa (Gambar 8.3) berasosiasi dengan plagioklas, atau di batuan beku ultrabasa bersama olivin.



Gambar 8.3. Mineral piroksen berwarna hitam pada gabbro (batuan beku basa), berasosiasi dengan plagioklas berwarna putih
(<http://webmineral.com/data/Augite.shtml>)

Kelompok mineral	Silikat, inosilikat
Mineral dalam kelompok ini	Augit, diopsid, hipersten, enstatit, hedenbergit, spodumen
Rumus kimia	$XY(\text{Si,Al})_2\text{O}_6$ X, Y dapat diwakili Ca, Na, Fe, Mg
Warna	Umumnya hijau gelap hingga hitam, bias hijau terang atau coklat gelap
Cerat	Putih, hijau keabuan – abu-abu
Kekerasan	5 – 6
Sistem Kristal	Ortorombik (ortopiroksen) Monoklinik (klinopiroksen)
Bentuk Kristal	Umumnya prismatic dan equant, dapat pula bladed hingga radiate
Ketembusan cahaya	Transparan hingga opak
Berat jenis	3,2 – 3,5
Kilap	Kaca atau buram
Belahan	Dua arah pada sudut 87° and 93°
Pecahan	Uneven atau splintery
Sifat dalam	Brittle
Keterdapatan	Batuan beku, metamorf

3. Hornblenda (Kelompok Amfibol)

Hornblenda merupakan mineral kelompok amfibol yang paling umum dijumpai di batuan beku (Gambar 8.4). Banyak terdapat pada batuan beku intermediet hingga asam.



Gambar 8.4. Mineral hornblende pada andesit porfir (batuan beku intermediet)
(<http://www.webmineral.com/data/Magnesiohornblende.shtml>)

Kelompok mineral	Silikat, inosilikat
Rumus kimia	$(Ca,Na)_{2-3}(Mg,Fe,Al)_5(Al,Si)_8O_{22}(OH,F)_2$
Warna	Hitam keabuan – kecoklatan
Cerat	Tidak berwarna - abu-abu
Kekerasan	5 – 6
Sistem Kristal	Monoklinik
Bentuk Kristal	Umumnya prismatic, tabular, atau kolumnar
Ketembusan cahaya	Opak
Berat jenis	2,9 – 3,4
Kilap	Kaca atau buram
Belahan	Dua arah pada sudut 56° and 124°
Pecahan	Uneven
Sifat dalam	Brittle
Keterdapatan	Batuan beku, metamorf

4. Biotit (Kelompok Mika)

Termasuk kelompok mineral mika. Keterdapatannya dalam batuan beku sebagai mineral aksesoris umumnya dijumpai pada batuan beku intermediet – asam (Gambar 8.5).



Gambar 8.5. Mineral biotit berwarna hitam pada granit (batuan beku asam) bersama muskovit dan kuarsa (<http://webmineral.com/data/Biotite.shtml>)

Kelompok mineral	Silikat, filosilikat
Rumus kimia	$K(Mg,Fe)_3AlSi_3O_{10}(F,OH)_2$
Warna	Hitam, coklat gelap
Cerat	Putih
Kekerasan	2,5 – 3
Sistem kristal	Monoklinik
Bentuk Kristal	Umumnya berlembar, tabular, atau prismatic
Ketembusan cahaya	Translusen hingga opak
Berat jenis	2,8 – 3,4
Kilap	Mutiara atau kaca
Belahan	Satu arah, sangat baik
Pecahan	Uneven
Sifat dalam	Brittle hingga fleksibel
Keterdapatan	Batuan beku, metamorf

5. Muskovit (Kelompok Mika)

Termasuk kelompok mineral mika (Gambar 8.6). Keterdapatannya dalam batuan beku sebagai mineral aksesoris umumnya dijumpai pada batuan beku asam.



Gambar 8.6. Mineral muskovit berwarna abu-abu keperakan pada granit (batuan beku asam) (<http://webmineral.com/data/Muscovite.shtml>)

Kelompok mineral	Silikat, filosilikat
Rumus kimia	$\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{F,OH})_2$
Warna	Sangat bervariasi dari tidak berwarna, abu-abu keperakan, coklat hingga hitam
Cerat	Tidak berwarna
Kekerasan	2 – 2,5
Sistem Kristal	Monoklinik
Bentuk Kristal	Umumnya tabular atau flaky
Ketembusan cahaya	Transparan hingga translusen
Berat jenis	2,7 – 3,0
Kilap	Mutiara atau kaca
Belahan	Satu arah, sangat baik
Pecahan	Uneven
Sifat dalam	Elastik
Keterdapatan	Batuan beku, metamorf

6. Ortoklas (Kelompok K-Feldspar)

Termasuk kelompok mineral K-Feldspar yang paling umum, bersama mikroklin dan sanidin (Gambar 8.7). Ketiganya sulit dibedakan secara fisik, harus melalui analisis petrografi atau kimia.



Gambar 8.7. Mineral ortoklas berwarna pink salmon pada granit (batuan beku asam) bersama kuarsa, biotit, dan plagioklas
(<http://www.webmineral.com/data/Orthoclase.shtml>)

Kelompok mineral	Silikat, tectosilikat
Rumus kimia	$KAlSi_3O_8$
Warna	Tidak berwarna, putih, hingga pink salmon
Cerat	Putih
Kekerasan	6
Sistem Kristal	Monoklinik
Bentuk Kristal	Prismatik atau tabular
Ketembusan cahaya	Transparan hingga opak
Berat jenis	2,6
Kilap	Mutiara atau kaca
Belahan	Dua arah saling tegaklurus
Pecahan	Uneven atau konkoidal
Sifat dalam	Brittle
Keterdapatan	Batuan beku, sedimen, metamorf

7. Kelompok Plagioklas

Kelompok mineral pada seri menerus, artinya terdapat variasi perubahan Ca - Na sepanjang reaksi Bowen. Plagioklas yang pertama terbentuk mengandung banyak Ca, makin lama berkurang digantikan dengan Na. Merupakan mineral paling umum pada batuan beku, mulai yang asam, intermediet hingga basa (Gambar 8.8). Plagioklas yang mengandung Ca umum pada batuan beku basa, sedang yang mengandung Na umum pada batuan beku asam.



Gambar 8.8 Mineral plagioklas berwarna putih keabuan pada diorit (batuan beku intermediet), bersama piroksen dan hornblende (<http://webmineral.com/data/Plagioclase.shtml>)

Kelompok mineral	Silikat, tectosilikat
Rumus kimia	$\text{NaAlSi}_3\text{O}_8 - \text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$
Mineral dalam kelompok ini	anortit, bitownit, labradorit, andesin, oligoklas, albit (urutan makin berkurangnya Ca menjadi Na)
Warna	Tidak berwarna, putih, abu-abu hingga gelap, terdapat striasi
Cerat	Putih
Kekerasan	6 – 6,5
Sistem Kristal	Triklinik
Bentuk Kristal	Prismatik, bladed, equant, tabular
Ketembusan cahaya	Transparan hingga translusen
Berat jenis	2,6 – 2,8
Kilap	Kaca, mutiara (pada bidang belahan)
Belahan	Dua arah, baik
Pecahan	Uneven atau konkoidal
Sifat dalam	Brittle
Ketersediaan	Batuan beku, sedimen, metamorf

8. Kuarsa

Kuarsa sangat banyak ditemukan tidak hanya di batuan beku, tetapi juga sedimen dan metamorf (Gambar 8.9). Memiliki sifat yang cukup resisten. Kuarsa muncul terakhir di seri reaksi Bowen karena mengkristal pada suhu paling rendah.



Gambar 8.9 Mineral kuarsa berwarna abu-abu transparan pada granit (batuan beku intermediet), bersama plagioklas dan biotit (<http://webmineral.com/data/Quartz.shtml>)

Kelompok mineral	Silikat, tectosilikat
Rumus kimia	SiO ₂
Warna	Tidak berwarna, putih, ungu, kuning, pink, abu-abu hingga hitam
Cerat	Putih
Kekerasan	7
Sistem Kristal	Heksagonal
Bentuk Kristal	Bervariasi mulai prismatic dan equant, hingga globular
Ketembusan cahaya	Transparan hingga opak
Berat jenis	2,6 – 2,7
Kilap	Kaca, intan
Belahan	Sangat buruk – tidak ada
Pecahan	Konkoidal
Sifat dalam	Brittle
Keterdapatan	Batuan beku, sedimen, metamorf

E. Peranan Mineral Pada Penamaan Batuan Beku

Dalam penamaan batuan beku, fungsi atau peranan mineral dapat dibagi menjadi tiga, yaitu:

1. Mineral Utama

Mineral utama merupakan mineral yang berperanan

menentukan nama batuan, karena kehadirannya pada batuan melimpah. Ada atau tidaknya mineral ini dalam batuan serta kelimpahannya akan dapat mengubah nama batuan beku. Contoh mineral utama adalah: ortoklas, kuarsa dan plagioklas dalam batuan granit, plagioklas dan piroksen dalam basalt, piroksen dan olivin dalam peridotit.

2. Mineral asesori khas

Mineral asesori khas adalah mineral yang keberadaannya pada batuan tidak begitu melimpah, tidak mempengaruhi pemberian nama batuan beku, namun jika kehadirannya dalam batuan beku lebih dari 10% dapat ditambahkan di belakang nama batuan yang menjadi nama penciri batuan tersebut. Contoh mineral asesori khas adalah: biotit atau muskovit pada granit biotit atau granit muskovit, hornblenda dan piroksen pada andesit hornblenda atau andesit piroksen.

3. Mineral Asesori Minor

Mineral asesori minor adalah mineral yang keberadaannya dalam batuan beku sangat jarang/ sedikit kelimpahannya, sehingga ada atau tidak adanya mineral tersebut tidak mempengaruhi nama batuan beku. Contoh mineral asesori minor adalah pirit, magnetit, apatit, dan lain-lain.

8.2.2. Latihan

Kerjakan latihan di bawah ini :

1. Setiap mahasiswa mengerjakan tugas individual berikut ini:
 - a. Buatlah deskripsi sifat megaskopis mineral felsik dan mineral mafik, dan berikan contoh batuan beku yang mungkin tersusun oleh mineral-mineral tersebut!
 - b. Tugas diketik dan dikumpulkan pada pertemuan berikutnya.
2. Tugas kelompok:
 - a. Buatlah kelompok, dimana tiap kelompok terdiri dari 3-5 orang.
 - b. Setiap kelompok mencari satu jenis sampel batuan beku di sekitar kampus UNDIP, dan membuat deskripsi komposisi mineralogi dari batuan tersebut.
 - c. Hasil deskripsi dipresentasikan pada pertemuan berikutnya.

8.3. Penutup

8.3.1. Rangkuman

1. Mineral penyusun batuan beku terbentuk karena proses pembekuan magma.
2. Berdasarkan sifatnya, mineral penyusun batuan beku dibagi menjadi mineral felsik dan mineral mafik.
3. Berdasarkan peranannya dalam penamaan batuan beku, mineral penyusun batuan beku dibagi menjadi tiga yaitu mineral utama, mineral asesori khas dan mineral asesori minor.

8.3.2. Tes formatif

Pilihlah jawaban yang paling tepat dari soal – soal di bawah ini :

1. Batuan beku adalah batuan hasil dari proses:
 - a. pengendapan
 - b. pembekuan magma
 - c. deposisi
 - d. metamorfisme
2. Berikut ini adalah contoh mineral felsik, kecuali:
 - a. kuarsa
 - b. ortoklas
 - c. piroksen
 - d. muskovit
3. Berikut ini adalah mineral yang termasuk dalam deret *uncontinues series* dalam *Bowen Reaction Series*, kecuali:
 - a. albit
 - b. olivin
 - c. piroksen
 - d. biotit
4. Yang termasuk batuan beku asam adalah:
 - a. basalt
 - b. peridotit
 - c. andesit
 - d. granit
5. Berikut adalah mineral yang umum dijumpai dalam batuan granit, kecuali:
 - a. piroksen
 - b. ortoklas
 - c. kuarsa
 - d. plagioklas

8.3.3. Umpan balik

Untuk dapat melanjutkan ke materi selanjutnya, mahasiswa harus mampu menjawab tes formatif minimal 80% benar.

8.3.4. Tindak Lanjut

Bagi mahasiswa yang telah menjawab soal dengan benar dan lulus, diperkenankan mengikuti materi selanjutnya. Bagi mahasiswa yang belum lulus, diwajibkan mengerjakan kembali soal tes formatif di atas.

8.3.5. Kunci jawaban tes formatif

1. b

2. c
3. a
4. d
5. a

DAFTAR PUSTAKA

Bonewitz RL, 2005, Rocks and Gems, the definitive guide to rocks, minerals, gems and fossils, DK Publishing, New YorkUSA, 360p.

Chang R., 1998, Chemistry, sixth edisions, WCB McGraw Hill, New York USA, 993p

Jensen ML & Bateman AM, 1981, Economic Mineral Deposits, John Willey and Sons Inc., New York USA, 589p.

Klein C. & Hulburt CS., 1993, Manual of Mineralogy, Jhon Willey and Sons Inc., NewYork USA, 681p.

Klein C., 1989, Minerals and Rocks : Exercises in Crystallography, Mineralogy andHand-Specimen Petrology, John Willey and Sons Inc., New York USA, 402p.

http://faculty.collin.edu/bburrkett/science_trivia.html diakses tanggal 18/04/2020

<http://webmineral.com/data/Olivine.shtml> diakses tanggal 18/04/2020

<http://webmineral.com/data/Augite.shtml> diakses tanggal 18/04/2020

<http://www.webmineral.com/data/Magnesihornblende.shtml> diakses tanggal 18/04/2020

<http://webmineral.com/data/Biotite.shtml> diakses tanggal 18/04/2020

<http://webmineral.com/data/Muscovite.shtml> diakses tanggal 18/04/2020

<http://www.webmineral.com/data/Orthoclase.shtml> diakses tanggal 18/04/2020

<http://webmineral.com/data/Plagioclase.shtml> diakses tanggal 18/04/2020

<http://webmineral.com/data/Quartz.shtml> diakses tanggal 18/04/2020

SENARAI

Magma : batuan cair yang pijar dan panas yang terdapat di dalam dapur magma di bawah permukaan bumi, berkomposisi silikat, mempunyai suhu dan tekanan tinggi dan merupakan sumber dari semua batuan beku.

Mineral felsik: mineral yang berwarna cerah, dengan kandungan silika dan alumina yang tinggi dan biasanya banyak dijumpai pada batuan beku asam.

Mineral mafik: mineral yang berwarna gelap, kaya akan kandungan unsur besi dan magnesium, biasanya banyak dijumpai pada batuan beku basa.

Mineral utama; mineral yang jumlahnya banyak dan memegang peranan dalam penamaan batuan, dimana hadir atau tidaknya mineral ini akan dapat mengubah nama batuan.

Mineral asesori khas: mineral yang tidak berperan dalam penamaan batuan beku, namun jika jumlahnya dalam batuan melimpah (di atas 10%), mineral tersebut dapat menjadi nama tambahan batuan sebagai penciri sifat khas batuan tersebut, dan namanya diletakkan di belakang nama batuan.

Mineral asesori minor: mineral yang jumlahnya sedikit, sehingga tidak berperan sama sekali dalam penamaan batuan beku.

POKOK BAHASAN 9: MINERAL PENYUSUN BATUAN SEDIMEN KLASTIK

9.1. Pendahuluan

9.1.1. Deskripsi singkat

Pada sub pokok bahasan mineral penyusun batuan sedimen klastik ini akan dibahas mengenai mineral-mineral yang menyusun batuan sedimen klastik beserta karakteristik serta proses pembentukannya.

9.1.2. Relevansi

Untuk mempelajari pokok bahasan ini diperlukan pemahaman mengenai mineral primer yang terbentuk pada batuan beku. Materi pada pokok bahasan ini penting untuk mempelajari studi provenance dan tekstur kedewasaan batuan sedimen.

9.1.3. Kompetensi

A. Standar Kompetensi

Pada akhir pokok bahasan ini, diharapkan mahasiswa mampu memahami tentang proses pembentukan batuan sedimen dan mineral-mineral yang mungkin tahan terhadap proses sedimentasi.

B. Kompetensi Dasar

Setelah mempelajari pokok bahasan ini, mahasiswa diharapkan akan mampu untuk :

1. Menjelaskan kembali tentang proses sedimentasi
2. Menjelaskan kembali tentang mineral resisten.
3. Menjelaskan kembali mineral tidak resisten.

9.2. Penyajian

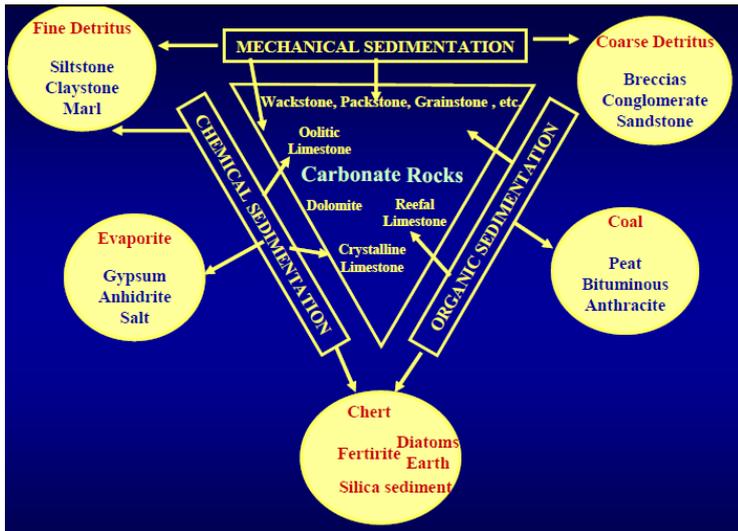
9.2.1. Materi

A. Pengertian Batuan Sedimen Klastik

Batuan sedimen merupakan salah satu dari jenis jenis batuan penyusun lapisan bumi yang mudah di temukan di lapisan tanah bagian atas. Batuan sedimen terbentuk oleh mekanisme pengendapan (sedimentasi). Proses sedimentasi tersebut dapat terjadi karena beberapa mekanisme, yaitu (Gambar 9.1):

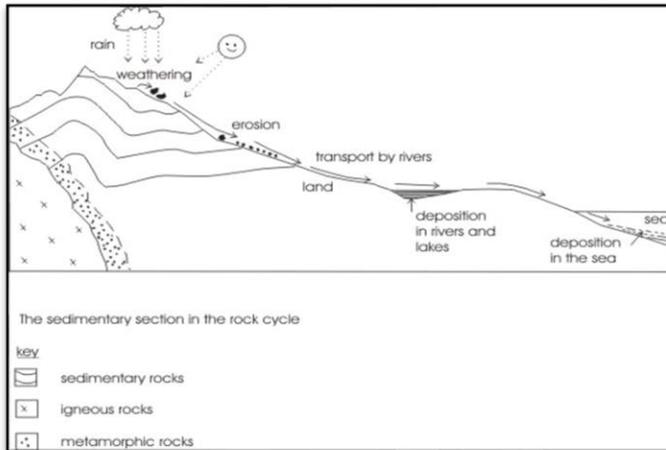
1. Proses fisik => Sedimen silisiklastik, seperti konglomerat, batupasir, batulempung dan lain-lain.

2. Proses biogenik, biokimia, sedimen organik =>batugamping, baturijang, fosfat, batubara dan lain-lain.
3. Proses sedimentasi kimia =>evaporit (halit, gypsum, anhidrit), ironstone



Gambar 9.1. Skema pembentukan batuan sedimen
(<https://geology.com/rocks/sedimentary-rocks.shtml>)

Batuan sedimen klastik adalah batuan sedimen yang terbentuk oleh mekanisme pengendapan fisik (Gambar 9.2). Menurut Pettjohn (1975), batuan sedimen klastik adalah batuan sedimen yang terbentuk dari pengendapan kembali detritus atau pecahan batuan asal yang berupa batuan metamorf, batuan beku, atau batuan sedimen itu sendiri. Pengertian lain dari batuan sedimen klastik adalah jenis batuan sedimen (batuan endapan) yang dihasilkan dari proses sedimentasi batuan beku atau material padat lain yang mengalami pelapukan mekanik.



Gambar 9.2. Proses pembentukan batuan sedimen klastik
<https://www.studyblue.com/notes/note/n/chapter-5-sedimentary-rocks/deck/14200432>

B. Mineral Penyusun batuan Sedimen Klastik

Secara umum, komposisi batuan sedimen klastik dapat berupa :

1. **Klastika/ litik (Clasts)/ Fragmen** (pecahan yang besar, contohnya pasir dan kerikil)=> Bisa berupa mineral atau batuan.
2. **Matrik (Matrix)** (lumpur atau sedimen halus lain yang mengelilingi butiran klastika/ fragmen)
3. **Semen (Cement)** (bahan/ mineral yang memegang atau mengikat klastika dan matriks=>produk diagenesis), contohnya: kalsit (semen karbonat), semen silika, oksida besi

Komponen penyusun batuan tersebut pada umumnya dihasilkan dari proses pelapukan batuan yang telah ada sebelumnya, yang diikuti dengan proses transportasi, pengendapan dan litifikasi. Mineral dari batuan asal tersebut dapat menjadi fragmen atau matriks. Hal ini tergantung sifat asal mineral tersebut, mampu bertahan terhadap proses selama transportasi atau tidak. Mineral yang mempunyai ketahanan tinggi bisa bertahan dari proses penggerusan sehingga bisa menjadi fragmen. Sebaliknya mineral yang tidak mempunyai ketahanan terhadap proses penggerusan akan hancur menjadi matriks.

Secara kimiawi, urutan stabilitas (ketahanan) mineral adalah (Tucker 1991): Kuarsa, zirkon, turmalin – Chert – Muskovit – Mikroklin – Ortoklas – Plagioklas - Horblenda, biotit – Piroksen – Olivin.

Mineral dengan ketahanan yang tinggi seperti kuarsa, dapat tahan oleh proses penggerusan selama transportasi sehingga umum dijumpai dalam batuan sedimen klastik. Kuarsa paling melimpah pada batupasir dan terbanyak kedua pada *mudstone* setelah mineral lempung.

Mineral olivin, piroksen, amfibol dan biotit merupakan mineral dengan tingkat ketahanan yang rendah sehingga tidak umum dijumpai dalam batuan sedimen. Mineral-mineral tersebut akan hancur selama transportasi, berubah menjadi partikel berukuran lempung. Mineral lempung tersebut merupakan mineral yang paling banyak dijumpai dalam batuan sedimen klastik, dalam bentuk *mudstone*. Tercatat bahwa *mudstone* merupakan batuan sedimen klastik dengan jumlah terbesar, sekitar 65%.

Mineral kelompok feldspar mempunyai tingkat ketahanan menengah, sehingga relatif tahan terhadap proses penggerusan. Jika transportasi masih berjarak dekat dengan batuan sumbernya, maka mineral feldspar masih bisa dijumpai. Jika transportasi sudah berjalan jauh dari batuan sumbernya, maka feldspar juga akan hancur menjadi mineral lempung. Feldspar adalah mineral terbanyak ketiga dalam batuan sedimen, setelah mineral lempung dan kuarsa.

Tabel 9.1. Urutan kestabilan mineral (Tucker, 1991)

Stability Under Conditions Present at Surface	Mineral
Unstable	Olivines*
	Pyroxenes*
	Ca-rich Plagioclase*
	Hornblende*
	Andesine - Oligoclase*
Less Unstable	Sphene
	Epidote
	Andalusite
	Staurolite
	Kyanite
	Sillimanite
	Magnetite
	Garnet
Very Stable	Muscovite*
	Albite*
	Orthoclase/Microcline*
	Clay Minerals
	Quartz*
	Tourmaline
Zircon	

C. Klasifikasi Batuan Sedimen Klastik

Batuan sedimen klastik dikelompokkan berdasarkan ukuran butirnya. Klasifikasi yang umum digunakan adalah klasifikasi ukuran butir dari Wentworth, 1922 (Tabel 9.2).

Tabel 9.2 Klasifikasi ukuran butir berdasarkan skala Wentworth (1922)

Ukuran Butir (mm)	Nama Butir	Nama Batuan
> 256	Bongkah	Breksi (fragmen runcing)
64 – 256	Berangkal	
4 – 64	Kerakal	Konglomerat (fragmen membulat)
2 – 4	Kerikil	
1 – 2	Pasir Sangat Kasar	Batupasir
½ - 1	Pasir Kasar	
¼ - ½	Pasir Sedang	
1/8 - ¼	Pasir Halus	
1/16 - 1/8	Pasir Sangat Halus	
1/256 - 1/16	Lanau	Batulanau
< 1/256	Lempung	Batulempung

Berdasarkan ukuran butir sedimennya, batuan sedimen klastik dibagi menjadi tiga kelompok, yaitu RUDIT, ARENIT dan LUTIT.

1. RUDIT merupakan kelompok batuan sedimen yang berukuran lebih kasar dari ukuran pasir. Rudit dikelompokkan berdasarkan bentuk butirnya (breksi jika butirannya berbentuk runcing dan konglomerat jika butirannya berbentuk bulat) (Gambar 9.3.a dan 9.3.b).
Komponennya bisa berupa hancuran batuan (fragmen andesit, basalt, dan lain-lain) atau mineral (kuarsa, chert, dan lain-lain).

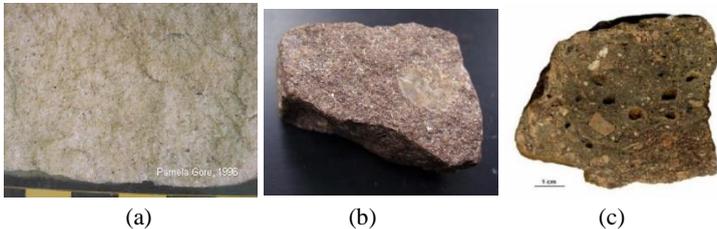


Gambar 9.3. (a) breksi (b) konglomerat

(<https://geology.com/rocks/sedimentary-rocks.shtml>)

2. ARENIT merupakan kelompok batuan sedimen klastik yang berukuran pasir. Pada umumnya klasifikasi batupasir dibagi berdasarkan komposisi mineralnya, yaitu kuarsa, feldspar dan litik (Gambar 9.4).

- a. *Quartz sandstones*/ batupasir kuarsa, mengandung $>90\%$ *quartz grains*.
- b. *Feldspathic sandstones*/ batupasir feldspar mengandung $<90\%$ *quartz grains*, dan kandungan feldspar grains lebih melimpah dibanding *lithic grains*.
- c. *Lithic sandstones*/ batupasir litik mengandung $<90\%$ *quartz grains* dan kandungan litik lebih melimpah dibanding *feldspar grains*.



Gambar 9.4. (a) quartz sandstone (b) feldspathic sandstone (c) lithic sandstone (<https://geology.com/rocks/sedimentary-rocks.shtml>)

3. LUTIT merupakan kelompok batuan sedimen klastik yang berukuran lebih halus dari pasir. Lutit dikelompokkan berdasarkan ukuran butir (batulempung, batulanau). Batuannya terdiri dari batulempung, batulanau dan *shale*/ serpih. Serpih adalah batuan *mudrocks* yang mempunyai *bedding fisility*. Mineral yang umum dijumpai dalam *mudrocks* adalah *clay mineral* (kaolinit, monmorilonit, ilit dan lain-lain), serbuk silika halus, karbonat, oksida besi dan lain-lain.

9.2.2. Latihan

Kerjakan latihan di bawah ini sesuai petunjuk :

1. Buatlah kelompok, dimana tiap kelompok terdiri dari 3-5 orang.

2. Tiap kelompok membuat deskripsi sifat fisik/ megaskopis mineral dalam batuan sedimen klastik, meliputi konglomerat dan breksi, batupasir, dan batulempung/ batulanau.
3. Tugas diketik, dikumpulkan pada pertemuan berikutnya.

9.3. Penutup

9.3.1. Rangkuman

1. Batuan sedimen klastik adalah batuan sedimen yang terbentuk oleh mekanisme pengendapan fisik.
2. Komponen penyusun batuan sedimen klastik terdiri dari fragmen, matriks dan semen.
3. Mineral resisten/ stabil akan tetap bertahan selama proses sedimentasi, sedangkan mineral yang non-resisten/ tidak stabil akan hancur selama transportasi.

9.3.2. Tes Formatif

1. Berikut ini adalah proses yang terjadi dalam pembentukan batuan sedimen klastik, kecuali:
 - a. pelapukan
 - b. transportasi
 - c. pengendapan
 - d. metasomatisme
2. Di antara mineral-mineral berikut, mineral yang paling resisten adalah:
 - a. kuarsa
 - b. muskovit
 - c. olivin
 - d. ortoklas
3. Mineral yang paling jarang dijumpai dalam batuan sedimen klastik adalah:
 - a. kuarsa
 - b. olivin
 - c. plagioklas
 - d. chert
4. Mineral penyusun batupasir felspathik yang paling dominan adalah:
 - a. kuarsa
 - b. olivin
 - c. plagioklas
 - d. chert
5. Mineral yang paling dominan menyusun batuan *mudrocks* adalah:
 - a. kuarsa
 - b. plagioklas
 - c. mineral lempung
 - d. muskovit

9.3.3. Umpan balik

Untuk dapat melanjutkan ke materi selanjutnya, mahasiswa harus mampu menjawab tes formatif minimal 80% benar.

9.3.4. Tindak lanjut

Bagi mahasiswa yang telah menjawab soal dengan benar dan lulus, diperkenankan mengikuti materi selanjutnya. Bagi mahasiswa yang belum lulus, diwajibkan mengerjakan kembali soal tes formatif di atas.

9.3.5. Kunci jawaban tes formatif

1. d
2. a
3. b
4. c
5. c

DAFTAR PUSTAKA

- Bonewitz RL, 2005, *Rocks and Gems, the definitive guide to rocks, minerals, gems and fossils*, DK Publishing, New YorkUSA, 360p.
- Chang R., 1998, *Chemistry, sixth editions*, WCB McGraw Hill, New York USA, 993p
- Jensen ML & Bateman AM, 1981, *Economic Mineral Deposits*, John Willey and Sons Inc., New York USA, 589p.
- Klein C. & Hulburt CS., 1993, *Manual of Mineralogy*, Jhon Willey and Sons Inc., New York USA, 681p.
- Klein C., 1989, *Minerals and Rocks : Exercises in Crystallography, Mineralogy and Hand-Specimen Petrology*, John Willey and Sons Inc., New York USA, 402p.
- Tucker, M.E., 1991, *Sedimentary Petrology. An Introduction to the Origin of Sedimentary Rocks*, 2nd ed. viii. Oxford, London, Edinburgh, Boston, Melbourne, Paris, Berlin, Vienna: Blackwell Scientific, 260 p.
- Wentworth, C. K. (1922). "A Scale of Grade and Class Terms for Clastic Sediments" . *The Journal of Geology*. 30 (5): 377–392.
- <https://www.studyblue.com/notes/n/chapter-5-sedimentary-rocks/deck/14200432> diakses tanggal 10/05/2020
- <https://geology.com/rocks/sedimentary-rocks.shtml> diakses tanggal 10/05/2020

SENARAI

Klastik : pecahan/ hancuran dari batuan sebelumnya.

Fragmen: komponen batuan sedimen klastik yang berukuran lebih kasar, dapat berupa mineral atau litik.

Matriks : komponen batuan sedimen klastik yang berukuran halus dan mengelilingi fragmen.

Semen: komponen batuan sedimen klastik yang mengisi pori-pori batuan, bersifat mengikat, merupakan produk diagenesis.

Mineral resisten: mineral yang tahan terhadap berbagai proses selama sedimentasi, misalnya penggerusan, sehingga tetap mempertahankan dirinya dalam batuan sedimen klastik.

Mineral non resisten; mineral yang tidak tahan terhadap proses penggerusan selama sedimentasi sehingga akan hancur menjadi mineral lempung.

POKOK BAHASAN 10: MINERAL PENYUSUN BATUAN SEDIMEN NON KLASTIK

10.1. Pendahuluan

10.1.1. Deskripsi singkat

Pada sub pokok bahasan mineral penyusun batuan sedimen non klastik ini akan dibahas mengenai mineral-mineral yang menyusun batuan sedimen non klastik beserta karakteristik serta proses pembentukannya.

10.1.2. Relevansi

Untuk mempelajari pokok bahasan ini diperlukan pemahaman mengenai siklus batuan yang telah disampaikan pada pokok bahasan mineral dalam batuan sedimen klastik. Materi pada pokok bahasan ini penting untuk mempelajari lingkungan pembentukan batuan sedimen non klastik.

10.1.3. Kompetensi

A. Standar Kompetensi

Pada akhir pokok bahasan ini, diharapkan mahasiswa mampu memahami tentang proses pembentukan mineral penyusun batuan sedimen non klastik dan macam-macam kelompok mineral dalam batuan sedimen non klastik.

B. Kompetensi Dasar

Setelah mempelajari pokok bahasan ini, mahasiswa diharapkan akan mampu untuk :

1. Menjelaskan kembali tentang proses sedimentasi kimia dan organik.
2. Menjelaskan kembali tentang mineral yang umum dijumpai dalam batuan sedimen non klastik.

10.2. Penyajian

10.2.1. Materi

A. Pengertian Batuan Sedimen Non Klastik

Batuan sedimen non klastik adalah batuan sedimen yang pembentukannya berbeda dengan batuan sedimen pada umumnya. Pada batuan sedimen non klastik ini, pengendapannya terjadi melalui proses kimia-biologi-biokimia. Berbeda dengan batuan sedimen klastik, pada batuan ini tidak memerlukan adanya batuan sumber dan proses fisik yang bekerja pada batuan sumber tersebut.

Proses sedimentasi kimia terjadi pada larutan yang bersifat jenuh dengan kandungan unsur kimia tertentu. Jika larutan tersebut hilang akibat dehidrasi atau penguapan, maka akan tersisa unsur kimia yang padat dan terendapkan mineral tertentu, sesuai dengan kandungan unsur kimia pada larutan tersebut. Contohnya adalah pembentukan mineral halit (NaCl) dari larutan garam.

Proses sedimentasi organik (biologi) terjadi jika tubuh organisme terendapkan pada tempat tertentu, tanpa mengalami transportasi sebelumnya. Tubuh organisme tersebut kemudian membatu seiring berjalannya waktu melalui proses diagenesis. Contohnya adalah tumbuhan yang terendapkan membentuk batubara. Contoh lain adalah kumpulan cangkang foraminifera yang membentuk batugamping foraminifera.

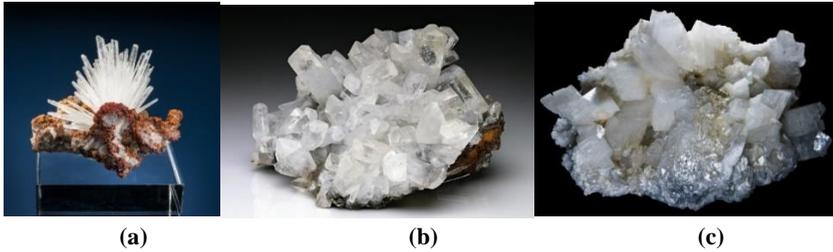
Proses sedimentasi biokimia terjadi melalui gabungan proses biologi dan kimia. Hal ini dapat terjadi jika terdapat organisme yang mampu menghasilkan senyawa kimia tertentu dari dalam tubuhnya, kemudian tubuh organisme tersebut akan membatu bersama unsur kimia yang disekresikannya. Contohnya adalah organisme pembentuk terumbu (seperti porifera, coelenterata) yang juga menghasilkan unsur karbonat yang kemudian membentuk batugamping terumbu. Contoh lain adalah organisme silika (radiolaria) yang juga mampu menghasilkan unsur silika, kemudian membentuk baturijang/ chert.

B. Mineral Pada Batuan Sedimen Non Klastik

Mineral-mineral yang umum dijumpai dalam batuan sedimen non klastik antara lain:

1. Mineral karbonat

Merupakan persenyawaan dengan ion $(\text{CO}_3)^{2-}$, dan disebut karbonat. Mineral karbonat dapat terbentuk karena proses sedimentasi kimia dari larutan jenuh karbonat maupun biokimia yang dihasilkan oleh sekresi enzim karbonat dari organisme penghasil karbonat. Beberapa contoh mineral yang termasuk dalam kelompok karbonat adalah: aragonit (CaCO_3), kalsit (CaCO_3) dolomit ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ dan magnesit (MgCO_3) (Gambar 10.1).



Gambar 10.1. a. aragonit, b. Kalsit, c. Dolomit (<https://geology.com/usgs/limestone/>)

2. Mineral Evaporit

Mineral evaporit adalah mineral yang terbentuk karena proses penguapan (evaporasi). Biasanya terjadi pada lingkungan bersuhu tinggi, seperti pantai atau gurun. Contoh mineral evaporasi antara lain:

a. Gypsum

- Gypsum adalah salah satu contoh mineral dengan kadar kalsium yang mendominasi pada mineralnya (Gambar 10.2). Gypsum yang paling umum ditemukan adalah jenis hidrat kalsium sulfat dengan rumus kimia $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Jika kehilangan gugus air, akan menjadi anhidrit (CaSO_4). Gypsum adalah salah satu dari beberapa mineral yang teruapkan. Contoh lain dari mineral-mineral tersebut adalah karbonat, borat, nitrat, dan sulfat.
- Gypsum umumnya berwarna putih, kelabu, cokelat, kuning, dan transparan. Hal ini tergantung mineral pengotor yang berasosiasi dengan gypsum. Gypsum umumnya memiliki sifat lunak dan pejal dengan skala Mohs 1,5 – 2. Berat jenis gypsum antara 2,31 – 2,35 g/cm^3 , kelarutan dalam air 1,8 gr/liter pada 0 °C yang meningkat menjadi 2,1 gr/liter pada 40 °C, tapi menurun lagi ketika suhu semakin tinggi. Gypsum memiliki pecahan yang baik, antara 66° sampai dengan 114° dan belahannya adalah jenis choncoidal. Gypsum memiliki kilap sutra hingga kilap lilin, tergantung dari jenisnya.
- Gypsum terbentuk dalam kondisi berbagai kemurnian dan ketebalan yang bervariasi. Gypsum merupakan garam yang pertama kali mengendap akibat proses evaporasi air

laut diikuti oleh anhidrit dan halit, ketika salinitas makin bertambah. Sebagai mineral evaporit, endapan gipsum berbentuk lapisan di antara batuan-batuan sedimen batu gamping, serpih, batu pasir, lempung, dan garam batu, serta sering pula berbentuk endapan lensa-lensa dalam satuan-satuan batuan sedimen. Menurut para ahli, endapan gipsum terjadi pada zaman Permian. Endapan gipsum biasanya terdapat di danau, laut, mata air panas, dan jalur endapan belerang yang berasal dari gunung api.



Gambar 10.2. Gipsum (<http://webmineral.com/data/Gypsum.shtml>)

b. Anhidrit

- Anhidrit adalah salah satu jenis mineral evaporit yang dapat terbentuk secara luas di cekungan sedimen yang terisi oleh sejumlah air laut yang telah menguap (penguapan) (Gambar 10.3). Mineral ini biasa terbentuk bersama-sama dengan batu gamping (*limestone*), halit, dan gipsum.
- Dalam skala pembentukan yang tidak terlalu luas, anhidrit dapat terbentuk di sekitar garis pantai ataupun di dalam sedimen hasil pasang surut air laut yang telah terpengaruh oleh proses penguapan.
- Perlu diketahui juga bahwa anhidrit bukan hanya dapat terbentuk sebagai hasil proses penguapan air laut, tetapi terkadang dapat terbentuk sebagai mineral pengisi vein dalam sistem endapan hidrothermal.

- Dalam pengaruh larutan hidrothermal, mineral anhidrit sering diendapkan bersama-sama dengan kalsit dan halit sebagai gangue dalam deposit mineral sulfida. Selain beberapa kondisi pembentukan tersebut, anhidrit juga dapat terbentuk di batuan penutup kubah garam dan di rongga-rongga batuan reservoir.
- Anhidrit mempunyai sifat fisik berwarna transparan, putih, coklat, merah, abu-abu, pink, biru, violet, kekerasan 3 - 3,5 Skala Mohs, cerat putih, kilap *vitreous*, berminyak, mutiara, ketembusan cahaya transparan hingga translucent, *tenacity brittle*, belahan sempurna, pecahan *irregular, splintery*, berat jenis 2,95 g/cm³.



Gambar 10.3. Anhidrit (<http://webmineral.com/data/Anhydrite.shtml>)

c. Halit

Halit merupakan mineral yang paling banyak dijumpai dalam sedimen evaporit. umumnya dikenal sebagai garam batu, adalah suatu jenis garam, bentuk mineral (alami) dari natrium klorida (NaCl) (Gambar 10.4). Halit membentuk kristal isomerik. Mineral ini biasanya tak berwarna atau putih, tetapi dapat juga berwarna biru muda, biru tua, ungu, merah muda, merah, jingga, kuning atau abu-abu tergantung jumlah dan jenis pengotor yang ada. Bentuknya biasanya kubik, tetapi bisa juga granular atau fibrous, belahan sempurna tiga arah, pecahan konkoidal, sifat dalam rapuh, kekerasan 2-2,5 skala mohs, kilap kaca, cerat putih, ketembusan cahaya transparan, berat jenis 2,17 g/cm³. Keterdapatannya umumnya dengan

deposit mineral evaporit lainnya seperti beberapa sulfat, halida, dan borat.



Gambar 10.4. Halit (<http://www.webmineral.com/data/Halite.shtml>)

3. Mineral pembentuk Baturijang/ Chert

Rijang (Chert), adalah batuan sedimen silikaan berbutir halus yang keras dan kompak. Rijang atau batu api adalah batuan endapan silikat kriptokristalin dengan permukaan licin (*glassy*). Disebut "batu api" karena jika diadu dengan baja atau batu lain akan memercikkan bunga api yang dapat membakar bahan kering. Batu rijang mempunyai bentuk *bedded* dan nodular. Chert dengan bentuk *bedded* biasanya ditemukan pada daerah laut dalam dan berasosiasi dengan radiolaria dan lava bantal. Sedangkan chert dengan bentuk nodular biasa ditemukan pada batugamping yang terbentuk oleh proses diagenesa berupa penggantian (*replacement*).

Rijang biasanya berwarna abu-abu tua, biru, hitam, atau coklat tua (Gambar 10.5). Kebanyakan perlapisan rijang tersusun oleh sisa organisme penghasil silika seperti diatom dan radiolaria. Batuan Rijang terbentuk oleh kristal kuarsa berukuran lanau (mikrokuarsa) dan kalsedon, sebuah bentuk silika yang terbuat dari serat memancar dengan panjang beberapa puluh hingga ratusan mikrometer. Lapisan rijang terbentuk sebagai sedimen primer atau oleh proses diagenesis. Rijang biasanya berwarna abu-abu tua, biru, hitam, atau coklat tua.



Gambar 10.5. Rijang (<https://geology.com/rocks/chert.shtml>)

4. Mineral Pembentuk Batubara

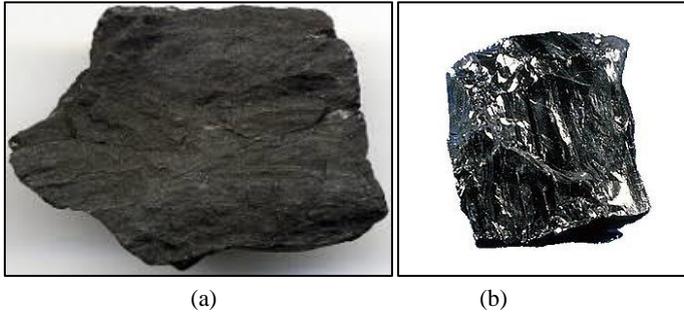
Batubara merupakan sedimen organik, lebih tepatnya merupakan batuan organik, terdiri dari kandungan bermacam-macam pseudomineral (Gambar 10.6). Batubara terbentuk dari sisa tumbuhan yang membusuk dan terkumpul dalam suatu daerah dengan kondisi banyak air (rawa-rawa). Kondisi tersebut yang menghambat penguraian menyeluruh dari sisa-sisa tumbuhan yang kemudian mengalami proses perubahan menjadi batubara.

Batuan tersusun oleh material-material organik, Berwarna hitam, ukuran butir pasir (1/16 – 2 mm). Dalam penyusunannya batubara diperkaya dengan berbagai macam polimer organik yang berasal dari antara lain karbohidrat, lignin, protein, Resin, Tanin, Alkaloida, Porphirin dan Hidrokarbon. Namun komposisi dari polimer-polimer ini bervariasi tergantung pada spesies dari tumbuhan penyusunnya.

Urutan pembentukan batubara adalah sebagai berikut:

- a. **Gambut**, berpori dan memiliki kadar air di atas 75% serta nilai kalori yang paling rendah.
- b. **Lignit** atau batu bara coklat adalah batu bara yang sangat lunak yang mengandung air 35-75% dari beratnya
- c. **Sub-bituminus** mengandung sedikit karbon dan banyak air, dan oleh karenanya menjadi sumber panas yang kurang efisien dibandingkan dengan bituminus
- d. **Bituminus** mengandung 68 - 86% unsur karbon (C) dan berkadar air 8-10% dari beratnya. Kelas batu bara yang paling banyak ditambang di Australia.

- e. **Antrasit** adalah kelas batu bara tertinggi, dengan warna hitam berkilauan (*luster*) metalik, mengandung antara 86% - 98% unsur karbon (C) dengan kadar air kurang dari 8%.



Gambar 10.6. (a). Lignit (b). Antrasit (<https://geology.com/rocks/coal.shtml>)

5. Mineral penyusun Sedimen Batu Besi (*Ironstone*)

Ironstone atau logam besi adalah unsur umum dalam sedimen, meskipun keterdapatannya relatif sedikit pada batuan sedimen. Batuan sedimen yang mengandung sedikitnya 15 % logam besi disebut sebagai *ironstone*. Mineral-mineral besi ini hadir dalam pelbagai warna dari abu-abu gelap, kuning menyala, ungu gelap, hingga merah karat. Besi itu sendiri biasanya terdapat dalam bentuk oksida seperti magnetit (Fe_3O_4), hematit (Fe_2O_3), hidroksida seperti goetit ($\text{FeO}(\text{OH})$), limonit ($\text{FeO}(\text{OH}) \cdot n(\text{H}_2\text{O})$) atau karbonat seperti siderit (FeCO_3).

10.2.2. Latihan

Kerjakan latihan di bawah ini sesuai petunjuk :

1. Buatlah kelas menjadi 5 kelompok.
2. Tiap kelompok membahas tentang mineral pada batuan sedimen non klastik.
3. Lakukan diskusi kelompok, dimana tiap kelompok diberi waktu 10 menit, dilanjutkan tanya jawab.

10.3. Penutup

10.3.1. Rangkuman

1. Batuan sedimen non klastik adalah batuan sedimen yang terbentuk oleh mekanisme pengendapan kimia, biologi dan biokimia.
2. Mineral penyusun batuan sedimen non klastik dapat berupa mineral karbonat, mineral evaporit, mineral silika, organik dan mineral besi.

10.3.2. Tes Formatif

1. Berikut ini adalah mineral yang dihasilkan oleh proses evaporasi, kecuali:
 - a. halit
 - b. anhidrit
 - c. gipsum
 - d. chert
2. Di bawah ini yang bukan termasuk kelompok mineral karbonat adalah:
 - a. magnesit
 - b. kalsit
 - c. kuarsa
 - d. aragonit
3. Yang merupakan tahap batubara paling muda adalah:
 - a. lignit
 - b. sub bituminus
 - c. bituminus
 - d. antrasit
4. Organisme pembentuk mineral silika dalam baturijang adalah:
 - a. moluska
 - b. radiolaria
 - c. porifera
 - d. coelenterata
5. Mineral yang termasuk kelompok karbonat dan besi adalah:
 - a. siderit
 - b. kalsit
 - c. aragonit
 - d. magnesit

10.3.3. Umpan balik

Untuk dapat melanjutkan ke materi selanjutnya, mahasiswa harus mampu menjawab tes formatif minimal 80% benar.

10.3.4. Tindak lanjut

Bagi mahasiswa yang telah menjawab soal dengan benar dan lulus, diperkenankan mengikuti materi selanjutnya. Bagi mahasiswa yang belum lulus, diwajibkan mengerjakan kembali soal tes formatif di atas.

10.3.5. Kunci jawaban tes formatif

1. d
2. c
3. a
4. b
5. a

DAFTAR PUSTAKA

- Bonewitz RL, 2005, Rocks and Gems, the definitive guide to rocks, minerals, gems and fossils, DK Publishing, New York USA, 360p.
- Chang R., 1998, Chemistry, sixth editions, WCB McGraw Hill, New York USA, 993p
- Jensen ML & Bateman AM, 1981, Economic Mineral Deposits, John Willey and Sons Inc., New York USA, 589p.
- Klein C. & Hulburt CS., 1993, Manual of Mineralogy, Jhon Willey and Sons Inc., New York USA, 681p.
- Klein C., 1989, Minerals and Rocks : Exercises in Crystallography, Mineralogy and Hand-Specimen Petrology, John Willey and Sons Inc., New York USA, 402p.
- <https://geology.com/usgs/limestone/> diakses tanggal 20/05/2020
- <http://webmineral.com/data/Gypsum.shtml> diakses tanggal 20/05/2020
- <http://webmineral.com/data/Anhydrite.shtml> diakses tanggal 20/05/2020
- <http://www.webmineral.com/data/Halite.shtml> diakses tanggal 20/05/2020
- <https://geology.com/rocks/chert.shtml> diakses tanggal 20/05/2020
- <https://geology.com/rocks/coal.shtml> diakses tanggal 20/05/2020

SENARAI

Non klastik : bukan berasal dari pecahan/ hancuran dari batuan sebelumnya.

Evaporasi: penguapan

POKOK BAHASAN 11: MINERAL PENYUSUN BATUAN KARBONAT

11.1. Pendahuluan

11.1.1. Deskripsi singkat

Pada sub pokok bahasan mineral penyusun batuan sedimen karbonat ini akan dibahas mengenai mineral-mineral yang menyusun batuan karbonat beserta karakteristik serta proses pembentukannya.

11.1.2. Relevansi

Untuk mempelajari pokok bahasan ini diperlukan pemahaman mengenai mineral penyusun batuan sedimen non klastik yang telah disampaikan pada pokok bahasan mineral dalam batuan sedimen non klastik. Materi pada pokok bahasan ini penting untuk mempelajari lingkungan pembentukan batuan karbonat dan klasifikasi batuan karbonat.

11.1.3. Kompetensi

A. Standar Kompetensi

Pada akhir pokok bahasan ini, diharapkan mahasiswa mampu memahami tentang mineral-mineral yang umum dijumpai pada batuan karbonat beserta karakteristiknya.

B. Kompetensi Dasar

Setelah mempelajari pokok bahasan ini, mahasiswa diharapkan akan mampu untuk :

1. Menyebutkan kembali mineral-mineral penyusun batuan karbonat.
2. Menjelaskan kembali karakteristik mineral penyusun batuan karbonat.

11.2. Penyajian

11.2.1. Materi

A. Pengertian Batuan Karbonat

Batuan karbonat adalah batuan dengan kandungan material karbonat lebih dari 50 % yang tersusun atas partikel karbonat klastik yang tersemankan atau karbonat kristalin hasil presipitasi langsung (Rejers & Hsu, 1986). Bates & Jackson (1987) mendefinisikan batuan karbonat sebagai batuan yang komponen utamanya adalah mineral karbonat dengan berat keseluruhan lebih dari 50 %. Sedangkan batugamping menurut definisi Reijers & Hsu (1986) adalah batuan yang mengandung kalsium

karbonat hingga 95 %. Mengacu pada definisi tersebut, dapat diketahui bahwa tidak semua batuan karbonat adalah batugamping. Ciri utama batuan karbonat adalah batuan yang memiliki material dengan unsur kimia karbonat (CO_3) lebih dari 50%, dan bereaksi kuat (berbuih) jika terkena larutan HCl.

Komponen penyusun batuan karbonat dapat berupa mineral karbonat, cangkang atau tubuh organisme karbonatan, intraklast (fragmen/pecahan batuan karbonat), ooid, pisoid, peloid. Pada pembahasan ini hanya akan dibahas mengenai mineralogi batuan karbonat.

B. Mineral Pada Batuan Karbonat

Mineral karbonat tersusun oleh senyawa karbonat (CO_3^{2-}) yang berikatan dengan unsur lain, seperti kalsium (Ca^{2+}), magnesium (Mg^{2+}), besi (Fe^{2+}). Kalsium adalah logam umum yang dijumpai pada hampir semua batuan karbonat (baik batugamping maupun dolomit) dan magnesium merupakan komponen yang penting dalam dolomit. Kadar SiO_2 nya rendah. Kelimpahan silika pada batuan karbonat tergantung pada kandungan lempung silisiklastik yang ikut terendapkan bersama butiran karbonat yang mengakibatkan kadar besi, silikat, dan alumina juga meningkat saat dianalisis kandungan kimianya.

Banyak juga unsur lain yang hadir sebagai komponen minor atau elemen jejak. Elemen-elemen jejak ini seperti: B, Be, Ba, Sr, Br, Cl, Co, Cr, Cu, Ga, Ge, dan Li. Konsentrasi elemen jejak ini dikontrol bukan hanya oleh mineralogi dari batuan tapi juga oleh tipe dari kelimpahan relatif dari butiran fosil skeletal dalam batuan. Banyak konsentrat organisme dan unsur jejak yang ikut terbawa oleh fosil konsentrat ini di antaranya Ba, Sr, dan Mg dalam struktur skeletalnya.

Mineral-mineral karbonat di antaranya adalah aragonit, kalsit, dolomit, magnesit, ankerit, siderit dan rhodokrosit (Tabel 11.1). Di antara mineral-mineral tersebut, yang sering dijumpai dalam batuan karbonat adalah aragonit, kalsit dan dolomit.

Tabel 11.1. Mineral penyusun batuan karbonat

Mineral	Rumus Kimia	Sistem Kristal
Aragonit	CaCO ₃	Orthorombik
Kalsit	CaCO ₃	Heksagonal (rombohedral)
Dolomit	CaMg(CO ₃) ²	Heksagonal (rombohedral)
Magnesit	MgCO ₃	Heksagonal (rombohedral)
Ankerit	Ca(FeMg)(CO ₃) ²	Heksagonal (rombohedral)
Siderit	FeCO ₃	Heksagonal (rombohedral)
Rhodokrosit	MnCO ₃	Trigonal

1. Aragonit

Aragonit adalah mineral karbonat, salah satu dari dua bentuk kristal kalsium karbonat, CaCO₃ (bentuk lainnya adalah mineral kalsit), yang paling umum terdapat di alam. Mineral ini dibentuk oleh proses biologis dan fisika, termasuk presipitasi dari lingkungan laut dan air tawar. Kisi kristal aragonit berbeda dari kalsit, menghasilkan bentuk kristal yang berbeda, yaitu sistem kristal ortorombik dengan kristal menjarum. Pengembaran berulang menunjukkan bentuk pseudo-heksagonal. Aragonit mungkin berbentuk meniang atau menyerat, terkadang berbentuk stalaktit bercabang.

Sifat fisik aragonit antara lain, warna putih (Gambar 11.1), merah, kuning, oranye, hijau, ungu, abu, biru, dan coklat. Perawakan pseudoheksagonal, kristal prismatic, menjarum, meniang, membulat, mengginjal, pisolitik, koraloidal, stalaktitik, kilap kaca, kilap damar pada permukaan retak, cerat putih, transparansi translusen hingga transparan, pecahan konkoidal, kekerasan 3,5 – 4 skala Mohs, berat jenis 2,95 g/cm³.

Aragonit terbentuk secara alami di hampir semua cangkang moluska, dan sebagai endoskeleton berkapur dari karang air hangat dan dingin (Scleractinia). Aragonit juga terbentuk di laut dan di gua sebagai endapan anorganik yang disebut semen laut dan speleotem. Aragonit tidak jarang berada pada serpentinit dengan larutan Mg di dalam pori yang tinggi tampaknya menghambat pertumbuhan kalsit dan meningkatkan presipitasi aragonit. Aragonit merupakan mineral karbonat yang paling tidak stabil. Aragonit metastabil pada tekanan rendah di dekat permukaan bumi dan dengan demikian biasanya tergantikan oleh kalsit dan kemudian kalsit berubah menjadi dolomit.



Gambar 11.1. Aragonit (<https://www.minerals.net/mineral/aragonite.aspx>)

2. Kalsit

Kalsit adalah sebuah mineral karbonat dan polimorf kalsium karbonat (CaCO_3) paling stabil. Polimorf lain adalah mineral aragonit. Aragonit akan berubah menjadi kalsit pada suhu 380-470 °C. Kalsit sangat umum ditemukan di seluruh dunia baik di dalam batuan sedimen, batuan metamorf, maupun batuan beku. Beberapa ahli geologi menganggapnya sebagai *ubiquitous mineral* atau mineral yang dapat hadir di hampir semua jenis batuan.

Mineral kalsit merupakan mineral utama pembentuk batu kapur (batugamping) ataupun batu marmer. Kedua batuan tersebut sangat banyak ditemukan di permukaan bumi dan sebagai salah satu repositori karbon terbesar di planet kita. Sifat fisik dan kimia dari mineral kalsit menjadikannya sebagai salah satu mineral yang paling sering muncul.

Sifat fisik kalsit antara lain, warna jernih atau putih (Gambar 11.2), abu-abu, kuning, hijau, perawakan kristalin, granuler, stalaktitik, konkresioner, masif, rombohedral, sistem kristal trigonal, heksagonal, belahan tiga arah, pecahan konkoidal, sifat dalam rapuh, kekerasan 3 skala Mohs, kilap kaca, cerat putih, transparansi translucent hingga transparan, berat jenis 2,71 g/cm³.

Kalsit (CaCO_3) juga mengandung magnesium dalam formulanya. Pada kristal rombohedral kalsit kalsium dapat diganti oleh magnesium yang mampu mempertahankan struktur yang sama ketika kalsium ini larut dalam air untuk membentuk polimorf

dolomit. Ion magnesium dan ion kalsium ini mempunyai ukuran yang sama. Maka, kita mengenal istilah *low-magnesium calcite* (atau disebut kalsit saja) nilai $MgCO_3$ nya kurang dari 4% dan *high magnesian calcite* mengandung $MgCO_3$ lebih dari 4%. Kandungan kalsit yang tinggi ini menjadikan batugamping berubah menjadi dolomit.



Gambar 11.2. Kalsit (<https://www.minerals.net/mineral/calcite.aspx>)

3. Dolomit

Dolomit adalah suatu mineral karbonat anhidrat yang terbentuk dari kalsium magnesium karbonat, idealnya adalah $CaMg(CO_3)_2$. Istilah ini juga digunakan untuk suatu sedimen batuan karbonat yang sebagian besar terbentuk dari mineral dolomit. Dolomit merupakan mineral karbonat yang paling stabil, dibandingkan aragonit dan kalsit.

Dolomit dapat terbentuk melalui beberapa cara, yaitu:

- a. **Cara Primer:** merupakan sedimentasi langsung dari air laut yang belum dapat dibuktikan. Secara umum, dolomit berbentuk urat, terbentuk bersama-sama dalam cebakan bijih;
- b. **Cara Sekunder:** yaitu mineral dolomit terjadi karena penggantian mineral kalsit. Beberapa mineral sekunder membentuk kristal yang tidak sempurna karena peresapan magnesium dari air laut ke dalam batugamping, yang lebih dikenal dengan proses dolomitisasi, yaitu proses perubahan mineral kalsit menjadi dolomit. Dolomit sekunder dapat juga terbentuk karena proses presipitasi sebagai endapan evaporit.

Faktor yang berpengaruh terhadap pembentukan dolomit sekunder, antara lain adanya tekanan air yang banyak mengandung

unsur magnesium dan prosesnya berlangsung dalam waktu lama. Semakin tua umur batugamping, semakin besar kemungkinan untuk berubah menjadi dolomit. Dapat dikatakan bahwa dolomit yang sering kita jumpai terbentuk karena proses perubahan (diagenesis), peralihan mineral kalsit maupun aragonit.

Mineral dolomit mengkristal dalam sistem trigonal-rombohedral. Dolomit membentuk kristal putih (Gambar 11.3), cokelat, abu-abu, atau merah muda. Dolomit adalah karbonat ganda, memiliki susunan struktural kalsium dan magnesium yang berselang-seling. Dolomit tidak cepat larut atau berbuih dalam asam klorida encer seperti kalsit. Perawakannya kristal berbentuk tabung, sering kali dengan permukaan melengkung, juga berbentuk kolom, mirip stalaktit, granular, padat. Memiliki sistem kristal trigonal, belahan tiga arah rhombohedral, pecahan konkoidal, kekerasan 3,5-4 skala Mohs, kilap kaca, cerat putih. Sifat dalam rapuh, berat jenis 2,84-2,86 g/cm³.



Gambar 11.3. Dolomit (<https://www.minerals.net/mineral/dolomite.aspx>)

4. Magnesit

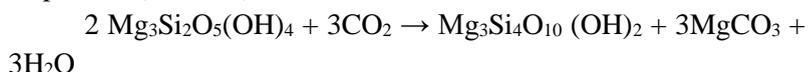
Magnesit adalah mineral dengan rumus kimia $MgCO_3$ (magnesium karbonat). Besi, mangan, kobalt, dan nikel dapat terjadi sebagai campuran, tetapi hanya dalam jumlah kecil. Magnesit terjadi sebagai urat dan produk alterasi dari batuan ultramafik, serpentin dan jenis batuan kaya magnesium lainnya dalam medan kontak dan metamorf regional. Magnesit ini sering berupa cryptocrystalline dan mengandung silika dalam bentuk opal atau rijang.

Magnesit juga hadir dalam regolith di atas batuan ultramafik sebagai karbonat sekunder di dalam tanah dan lapisan tanah, di mana

ia disimpan sebagai konsekuensi dari penghancuran mineral yang mengandung magnesium oleh karbon dioksida dalam air tanah.

Magnesit dapat dibentuk melalui metasomatisme talk karbonat pada peridotit dan batuan ultramafik lainnya. Magnesit terbentuk melalui karbonasi olivin dengan adanya air dan karbon dioksida pada suhu tinggi dan tekanan tinggi yang khas pada facies greenschist.

Magnesit juga dapat dibentuk melalui karbonasi magnesium serpentine (lizardite) melalui reaksi berikut:



Sifat fisik magnesit di antaranya tidak berwarna, putih (Gambar 11.4), kuning pucat, coklat pucat, agak merah muda, ungu muda. Perawakannya biasanya masif, jarang seperti rhombohedron atau prisma heksagonal. Belahan tiga arah sempurna, pecahan konkoidal, sifat dalam rapuh, kekerasan 3,5-4,5 skala Mohs, kilap kaca, cerat putih, transparansi transparan sampai translucent, berat jenis 3,0-3,2 g/cm³.



Gambar 11.4. Magnesit (<https://www.minerals.net/mineral/magnesite.aspx>)

5. Ankerit

Ankerit adalah mineral kalsium, besi, magnesium, mangan karbonat dari kelompok rombohedral karbonat dengan formula: Ca (Fe, Mg, Mn) (CO₃)₂. Dalam komposisi itu berkaitan erat dengan dolomit, tetapi berbeda dalam hal magnesium yang diganti dengan berbagai jumlah besi (II) dan mangan.

Ankerit terbentuk dengan siderit dalam batupasir termetamorfkan dan *banded iron formation*. Ini juga terjadi pada karbonatit. Dalam sedimen, ia terjadi sebagai mineral autigenik, diagenetik, dan sebagai produk pengendapan hidrotermal.

Karakter kristalografi dan fisik menyerupai karakter dolomit dan siderit. Warnanya putih, abu-abu atau kemerahan hingga coklat kekuningan (Gambar 11.5). Perawakan berupa kristal rhombohedral dengan permukaan melengkung; berbentuk kolom, stalaktitik, granular, masif. Belahan tiga arah, pecahan subkonkoidal, sifat dalam rapuh, kekerasan 3,5-4 skala Mohs, kilap kaca sampai mutiara, cerat putih, transparansi translucent sampai transparan, berat jenis 2,93-3,10 g/cm³.



Gambar 11.5. Ankerit (<https://www.minerals.net/mineral/ankerite.aspx>)

6. Siderit

Siderit adalah mineral yang tersusun dari besi (II) karbonat (FeCO_3). Namanya diambil dari kata Yunani “sideros”, yang berarti besi. Siderit adalah mineral besi yang berharga, karena merupakan 48% besi dan tidak mengandung belerang atau fosfor. Seng, magnesium, dan mangan biasanya menggantikan besi yang menghasilkan seri larutan padat siderit-smithsonit, siderit-magnesit dan siderit-rhodochrosit.

Siderit umumnya ditemukan dalam urat hidrotermal, dan berhubungan dengan barit, fluorit, galena, dan lainnya. Siderit juga merupakan mineral diagenetik umum dalam serpih dan batupasir, di mana kadang-kadang membentuk konkresi, yang dapat membungkus fosil yang terawetkan. Dalam batuan sedimen, siderit biasanya terbentuk pada kedalaman penimbunan yang dangkal dan

komposisi unsurnya sering terkait dengan lingkungan pengendapan sedimen yang menutupnya.

Sifat fisik siderit memiliki warna kuning pucat hingga kecokelatan (Gambar 11.6), abu-abu, coklat, hijau, merah, hitam dan kadang-kadang hampir tidak berwarna. Mempunyai sistem kristal heksagonal, dengan perawakan kristal tabular, sering melengkung - botryoidal hingga masif. Belahan tiga arah, pecahan uneven hingga konkoidal, sifat dalam rapuh, kekerasan 3,75-4,25 skala Mohs, kilap kaca, sutera atau mutiara, cerat putih, berat jenis 3,96 g/cm³.



Gambar 11.6. Siderit (<https://www.minerals.net/mineral/siderite.aspx>)

7. Rhodokrosit

Rhodokrosit adalah mineral karbonat mangan dengan komposisi kimia MnCO₃. Rhodokrosit membentuk rangkaian larutan padat lengkap dengan besi karbonat (siderit). Kalsium, (juga magnesium dan seng, sampai batas tertentu) sering menggantikan mangan dalam struktur, yang mengarah ke warna merah dan pink yang lebih muda, tergantung pada tingkat substitusi. Karena alasan inilah warna yang paling umum dijumpai adalah merah muda.

Rhodokrosit terbentuk sebagai mineral urat hidrotermal bersama dengan mineral mangan lainnya dalam endapan bijih suhu rendah seperti di tambang perak Rumania tempat pertama kali mineral ini ditemukan. Rhodokrosit ditemukan dalam bentuk *banded* di Capillitas, Argentina.

Rhodokrosit jarang dijumpai dalam bentuk murni. Dalam bentuknya yang murni, biasanya berwarna merah-mawar (Gambar 11.7), tetapi spesimen yang tidak murni dapat berwarna merah muda hingga coklat pucat. Warnanya putih, dan kekerasan Mohs bervariasi antara 3,5 dan 4. Berat jenisnya antara 3,5 dan 3,7. Mempunyai sistem kristal trigonal, dan mempunyai belahan

rombohedral dalam tiga arah. Pecahan uneven hingga konkoidal. Sifat dalam rapuh, cerat putih, kilap kaca hingga mutiara. Ketembusan cahayanya transparan.



Gambar 11.7. Rhodokrosit (<https://www.minerals.net/mineral/rhodochrosite.aspx>)

11.2.2. Latihan

Kerjakan latihan di bawah ini sesuai petunjuk :

1. Buatlah kelas menjadi 10 kelompok
2. Tiap kelompok membuat album mineral karbonat, yang berisi gambar mineral dan keterangan sifat fisiknya.

11.3. Penutup

11.3.1. Rangkuman

1. Mineral karbonat tersusun oleh senyawa karbonat (CO_3^{2-}) yang berikatan dengan unsur lain, seperti kalsium (Ca^{2+}), magnesium (Mg^{2+}), besi (Fe^{2+}).
2. Batuan karbonat adalah batuan dengan kandungan material karbonat lebih dari 50 %.
3. Mineral karbonat yang umum dijumpai dalam batuan karbonat adalah aragonit, kalsit dan dolomit.

11.3.2. Tes Formatif

1. Mineral karboat yang paling tidak stabil adalah:
 - a. siderit
 - b. dolomit
 - c. kalsit
 - d. aragonit
2. Mineral karbonat yang paling stabil adalah:
 - a. siderit
 - b. dolomit
 - c. kalsit
 - d. aragonit

3. Mineral karbonat yang merupakan persenyawaan antara unsur mangan dan karbonat adalah:
- a. magnesit
 - b. ankerit
 - c. rhodokrosit
 - d. siderit
4. Mineral karbonat yang bukan penyusun utama batuan karbonat adalah:
- a. magnesit
 - b. aragonit
 - c. kalsit
 - d. dolomit
5. Mineral berikut yang bukan bersistem kristal heksagonal adalah:
- a. siderit
 - b. kalsit
 - c. dolomit
 - d. rhodokrosit

11.3.3. Umpan balik

Untuk dapat melanjutkan ke materi selanjutnya, mahasiswa harus mampu menjawab tes formatif minimal 80% benar.

11.3.4. Tindak lanjut

Bagi mahasiswa yang telah menjawab soal dengan benar dan lulus, diperkenankan mengikuti materi selanjutnya. Bagi mahasiswa yang belum lulus, diwajibkan mengerjakan kembali soal tes formatif di atas.

11.3.5. Kunci jawaban tes formatif

1. d
2. b
3. c
4. a
5. d

DAFTAR PUSTAKA

- Bonewitz RL, 2005, Rocks and Gems, the definitive guide to rocks, minerals, gems and fossils, DK Publishing, New YorkUSA, 360p.
- Chang R., 1998, Chemistry, sixth edisions, WCB McGraw Hill, New York USA, 993p
- Jensen ML & Bateman AM, 1981, Economic Mineral Deposits, John Willey and Sons Inc., New York USA, 589p.
- Klein C. & Hulburt CS., 1993, Manual of Mineralogy, Jhon Willey and Sons Inc., New York USA, 681p.

Klein C., 1989, Minerals and Rocks : Exercises in Crystallography, Mineralogy and Hand-Specimen Petrology, John Willey and Sons Inc., New York USA, 402p.

<https://www.minerals.net/mineral/aragonite.aspx> diakses tanggal 12/06/2020

<https://www.minerals.net/mineral/calcite.aspx> diakses tanggal 12/06/2020

<https://www.minerals.net/mineral/dolomie.aspx> diakses tanggal 12/06/2020

<https://www.minerals.net/mineral/magnesite.aspx> diakses tanggal 13/06/2020

<https://www.minerals.net/mineral/ankerite.aspx> diakses tanggal 13/06/2020

<https://www.minerals.net/mineral/siderite.aspx> diakses tanggal 13/06/2020

<https://www.minerals.net/mineral/rhodochrosite.aspx> diakses tanggal 13/06/2020

SENARAI

Karbonat : senyawa CO_3^{3-}

Polimorf: rumus kimia sama tetapi hadir dalam mineral yang berbeda

Banded: struktur berbentuk seperti lembaran pita

POKOK BAHASAN 12: MINERAL PENYUSUN BATUAN METAMORF

12.1. Pendahuluan

12.1.1. Deskripsi singkat

Pada sub pokok bahasan mineral penyusun batuan metamorf ini akan dibahas mengenai mineral-mineral yang menyusun batuan metamorf beserta karakteristik serta proses pembentukannya.

12.1.2. Relevansi

Untuk mempelajari pokok bahasan ini diperlukan pemahaman mengenai mineral penyusun batuan beku, sedimen klastik, sedimen non klastik dan karbonat yang telah disampaikan pada pokok bahasan sebelumnya. Materi pada pokok bahasan ini penting untuk mempelajari fasies metamorfisme.

12.1.3. Kompetensi

A. Standar Kompetensi

Pada akhir pokok bahasan ini, diharapkan mahasiswa mampu memahami tentang mineral-mineral yang umum dijumpai pada batuan metamorf beserta karakteristiknya.

B. Kompetensi Dasar

Setelah mempelajari pokok bahasan ini, mahasiswa diharapkan akan mampu untuk:

1. Menyebutkan kembali mineral-mineral yang bisa dijumpai pada batuan beku sekaligus metamorf.
2. Menyebutkan kembali mineral-mineral yang bisa dijumpai pada batuan sedimen sekaligus metamorf.
3. Menyebutkan kembali mineral-mineral yang hanya bisa dijumpai pada batuan metamorf/ mineral indeks metamorfisme.

12.2. Penyajian

12.2.1. Materi

A. Pengertian Batuan Metamorf

Batuan metamorf merupakan batuan yang terbentuk dari proses metamorfisme (perubahan) dari batuan yang telah ada sebelumnya (protolith), yang karena proses metamorfisme mengalami perubahan, baik tekstur maupun komposisi mineralogi. Protolith tersebut dapat berupa

semua jenis batuan, seperti batuan beku, batuan sedimen ataupun batuan metamorf itu sendiri.

Metamorfisme tersebut dikontrol oleh suhu dan tekanan yang tinggi. Suhu yang dapat menyebabkan metamorfisme minimal 150°C, sedangkan tekanan minimal 1.500 bar. Suhu akan meningkat seiring dengan peningkatan kedalaman lapisan bumi (gradien geothermal) dan juga akibat terobosan magma pada batuan. Metamorfisme yang dikontrol oleh suhu ini disebut sebagai metamorfisme kontak.

Tekanan akan meningkat karena *burial* (timbunan), jatuhnya meteor, atau pada zona tumbukan antar lempeng kerak bumi (subduksi). Tekanan yang diakibatkan oleh tumbukan antar lempeng kerak bumi akan menghasilkan metamorfisme dalam skala yang sangat luas, sehingga disebut metamorfisme regional.

B. Mineral Pada Batuan Metamorf

Mineral-mineral yang terdapat pada batuan metamorf dapat dikelompokkan sebagai berikut:

1. Mineral yang bisa terdapat pada batuan beku dan metamorf, contoh: kuarsa, feldspar, muskovit, dan lain-lain.
Mineral-mineral seperti kuarsa, feldspar, biotit, muskovit, hornblenda dan lain-lain, adalah mineral yang terbentuk karena proses pembekuan magma, namun mineral tersebut masih bisa dijumpai pada batuan metamorf karena mampu mempertahankan diri pada saat terjadi metamorfisme, sehingga tidak berubah menjadi mineral lain.
2. Mineral yang bisa terdapat pada batuan sedimen dan metamorf, contoh: mineral-mineral lempung, kalsit, dolomit, dan lain-lain.
Mineral-mineral tersebut pada umumnya terbentuk pada proses sedimentasi, namun masih bisa mempertahankan diri terhadap proses metamorfisme, sehingga masih bisa dijumpai pada batuan metamorf.
3. Mineral indeks batuan metamorf, contoh: garnet, andalusit, staurolit, kianit, silimanit, glaukofan, dan lain-lain.
Mineral-mineral tersebut hanya terbentuk melalui proses metamorfisme, dan tidak dapat terbentuk oleh proses lain seperti

pembekuan dan sedimentasi, sehingga disebut sebagai mineral indeks metamorfisme.

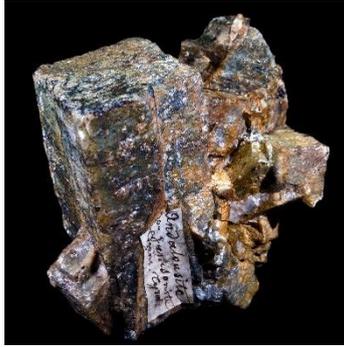
Berikut ini akan dibahas mengenai mineral-mineral indeks metamorfisme:

a. Andalusit

Andalusit adalah mineral aluminium nesosilikat dengan rumus kimia Al_2SiO_5 . Andalusit memiliki hubungan trimorfik dengan silimanit dan kyanit, sebagai polimorf yang terbentuk pada tekanan lebih rendah dan temperatur menengah. Pada temperatur yang lebih tinggi, andalusit dapat berubah menjadi silimanit. Andalusit pertama ditemukan di Ronda Massif, Málaga, Andalusia, Spanyol pada 1789. Berbagai jenis andalusit pertama kali ditemukan di Andalusia, Spanyol yang dapat dipotong menjadi batu permata. Batu permata andalusit memberikan permainan warna merah, hijau, dan kuning yang menyerupai bentuk goniokroisme (perubahan warna jika dipandang dari sudut pandang yang berbeda).

Andalusit adalah mineral metamorfik umum yang terbentuk pada tekanan rendah dan pada suhu tinggi hingga rendah. Mineral - mineral sillimanit dan kyanit adalah polimorf dari andalusit, masing-masing terjadi di bawah suhu-tekanan yang berbeda dan karena itu jarang ditemukan bersama-sama di batuan yang sama.

Sifat fisik andalusit di antaranya, warna pink, violet, kuning, hijau, putih, abu-abu (Gambar 12.1). Sistem kristal ortorombik, perawakan Sebagai kristal euhedral atau columnar agregat memiliki penampang hampir persegi; kompak berserat hingga masif. Belahan dua arah, pecahan even hingga konkoidal, pecahan 6,5-7,5 skala Mohs, cerat putih, kilap kaca, ketembusan cahaya transparan hingga opak, berat jenis $3,17 \text{ g/cm}^3$.



Gambar 12.1. Andalusit (<https://www.minerals.net/mineral/andalusite.aspx>)

b. Silimanit

Silimanit adalah mineral alumunium-silikat dengan rumus kimia Al_2SiO_5 . Silimanit dinamakan berdasarkan nama ahli kimia amerika Benjamin Silliman (1779-1864). Mineral ini pertama ditemukan pada 1824 di daerah Connecticut, Amerika Serikat.

Silimanit adalah salah satu dari 3 polimorf aluminosilikat. Dua lainnya adalah andalusit dan kyanit. Varietas lain dari silimanit disebut juga *fibrolit*, dinamakan demikian karena mineral tersebut muncul seperti serat-serat yang terikat satu sama lain jika dilihat pada sayatan tipis atau bahkan oleh mata telanjang. Baik *fibrous* maupun bentuk tradisional silimanit lainnya biasa muncul di batuan metamorf yang berasal dari batuan sedimen. Contoh batumannya termasuk gneis dan granulit. Keberadaannya biasa bersama andalusit, kyanit, K feldspar, almandin, kordierit, biotit, dan kuarsa di sekis, gneis, *hornfels*, dan juga di pegmatit walaupun jarang.

Sifat fisik silimanit antara lain warna: tidak berwarna atau putih ke abu-abu (Gambar 12.2), juga coklat, kuning, kuning-hijau, abu-abu-hijau, biru-hijau, biru. Sistem kristal ortorombik, perawakan kristal prismatic, berserat, asikular (menjarum). Belahan satu arah sempurna, pecahan *splintery*, kekerasan 7 skala Mohs, sifat dalam *tough*, kilap kaca, sutera, cerat putih, ketembusan cahaya transparan-translucent, berat jenis $3,24 \text{ g/cm}^3$.



Gambar 12.2. Silimanit

(<https://www.minerals.net/mineral/sillimanite.aspx>)

c. Kyanit

Kyanit, berasal dari Bahasa Yunani *kuanos* atau *kyanos*, yang berarti biru tua. Kyanit pada batuan metamorf secara umum mengindikasikan bahwa batuan mengalami tekanan yang lebih tinggi dari empat kilobar. Meskipun berpotensi stabil di tekanan dan temperatur rendah, aktivitas air biasanya sangat tinggi di kondisi tersebut yang membuatnya tergantikan oleh aluminosilikat hidrat seperti muskovit, pirofilit, atau kaolinit. Kyanit juga biasa disebut sebagai Disden, raetisit, dan sianit.

Kyanit adalah member dari deret aluminosilikat, yang juga termasuk polimorf andalusit dan polimorf silimanit. Kyanit bersifat sangat anisotrop, yang kekerasannya bervariasi bergantung pada arah klistalografinya.

Pada temperatur di atas 1100 °C, kyanit terdekomposisi menjadi mullit dan gelas silika melalui reaksi sebagai berikut:
$$3(\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2) \rightarrow 3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 + \text{SiO}_2.$$

Sifat fisik kyanit di antaranya, warna biru (Gambar 12.3), putih, jarang hijau, abu-abu muda ke abu-abu, jarang kuning, merah muda, oranye, dan hitam. Sistem kristal triklin, perawakan kristalnya berupa kolom; berserat; berbilah. Belahan satu arah, pecahan *splintery*, sifat dalam rapuh, kekerasan 4,5-5 skala Mohs (sejajar sumbu) dan 6,5-7 skala Mohs (tegak lurus sumbu), kilap kaca, cerat putih, ketembusan

cahaya transparan sampai translucent, berat jenis 3,53-3,65 g/cm³.



Gambar 12.3. Kyanit (<https://www.minerals.net/mineral/kyanite.aspx>)

d. Staurolit

Nama Staurolit berasal dari Bahasa Yunani, *stauros* yang berarti silang dan *lithos* yang berarti batuan, mengacu pada sifat umum staurolit yang terbentuk kembar. Staurolit adalah mineral nesosilikat dengan rumus kimia: $(\text{Fe},\text{Mg})_2\text{Al}_9\text{Si}_4\text{O}_{23}(\text{OH})$.

Staurolit adalah mineral metamorfik regional berderajat menengah hingga tinggi. Mineral ini terbentuk bersama almandin garnet, mika, kyanit, juga albit, biotit, dan silimanit pada batuan- batuan metamorfik regional seperti gneis dan sekis

Sifat fisiknya antara lain berwarna coklat (Gambar 12.4) hingga hitam dengan warna cerat putih. Staurolit terkristalisasi dalam sistem kristal monoklin, dan mempunyai kekerasan 7 hingga 7,5 skala mohs, belahan satu arah, pecahan sub konkoidal, sifat dalam rapuh, ketembusan cahaya transparan hingga opak, berat jenis 3,74-3,83 g/cm³. Staurolit biasa berbentuk kembar dengan karakteristik berbentuk silang, yang biasa disebut *cruciform penetration twinning*. Pada contoh setangan, secara makroskopik kristal - kristal staurolit berbentuk prisma. Mineral ini sering membentuk porfiroblastik.



Gambar 12.4. Staurolit (<https://www.minerals.net/mineral/staurolite.aspx>)

e. Glaukofan

Glaukofan adalah nama mineral dan grup mineral *sodic amphibole* kelompok inosilikat, dengan rumus kimia $\text{Na}_2(\text{Mg}_3\text{Al}_2)\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$.

Glaukofan mengkristal dalam sistem monoklinik. Glaukofan dinamai karena warna biru khasnya. Dalam Bahasa Yunani, *glaucothane* berarti "penampakan biru". Glaukofan merupakan komponen mineral utama dalam fasies "blueschist". Glaukofan umumnya terbentuk dalam batuan metamorf *blueschist* dengan komposisi gabroik atau basaltik yang kaya akan natrium dan telah mengalami metamorfisme dengan suhu rendah dan tekanan tinggi seperti yang terjadi di sepanjang zona subduksi.

Mineral ini telah mengalami tekanan kuat dan panas sedang dan disubduksikan ke bawah menuju lapisan mantel. Glaukofan juga ditemukan di eklogit yang telah mengalami metamorfisme retrograde.

Sifat fisik glaukofan antara lain warna abu-abu, biru tua, biru lavender (gambar 12.5), sistem kristal monoklin, perawakan kristal prisma panjang ramping, granular masif sampai kolumnar, belahan bagus pada dua arah atau satu arah, pecahan konkoidal, sifat dalam rapuh, kekerasan 6-6,5 skala Mohs, kilap kaca – mutiara, cerat biru keabuan, ketembusan cahaya translucent, berat jenis 3-3,15 g/cm^3 .



Gambar 12.5. Glaukofan

(<https://www.minerals.net/mineral/glaucophane.aspx>)

f. Garnet

Garnet adalah sekelompok mineral silikat yang telah digunakan sejak Zaman Perunggu sebagai batu permata dan abrasif. Kata garnet berasal dari kata “gernet” yang berasal dari Bahasa Inggris abad pertengahan, yang berarti 'merah tua'. Dalam Bahasa Perancis kuno “granat” yang berasal dari Bahasa latin “granatus” berarti biji-bijian. Mungkin merujuk pada “mela granatum” atau bahkan “pomum granatum” ('delima', *Punica granatum*), sebuah tanaman yang buah-buahannya mengandung penutup biji merah, yang memiliki bentuk, ukuran, dan warna yang mirip dengan beberapa kristal garnet. Garnet memiliki rumus kimia umum $A_3B_2Si_3O_{12}$, dimana A adalah kation divalen (Fe^{2+} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Mn^{2+}) dan B adalah kation trivalen (Fe^{3+} , Al^{3+} , Cr^{3+}).

Semua spesies garnet memiliki sifat fisik dan bentuk kristal yang serupa, tetapi berbeda dalam komposisi kimianya. Spesies yang berbeda adalah pyrope, almandine, spessartine, grossular (varietasnya di antaranya adalah hessonite dan tsavorite), uvarovite dan andradite.

Garnet umumnya ditemukan pada batuan metamorf dan di beberapa batuan beku (terutama garnet dan pegmatit). Mereka terbentuk di bawah suhu tinggi yang sama dan / atau tekanan yang membentuk jenis batuan tersebut.

Sifat fisik garnet antara lain warna paling umum merah, coklat kemerahan (Gambar 12.6), kilap kaca hingga damar, sistem kristal isometrik, perawakan kristal rombik dodecahedron atau kubik, belahan tidak ada, pecahan konkoidal – uneven,

kekerasan – 6,5-7,5 skala Mohs, ketembusan cahaya transparan hingga opak, cerat putih, berat jenis 3,6-4,3 g/cm³.



Gambar 12.6. Garnet (<https://www.minerals.net/mineral/garnet.aspx>)

g. Prehnit

Prehnit adalah inosilikat dari kalsium dan aluminium dengan rumus: $\text{Ca}_2\text{Al}(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$. Dinamai pada tahun 1788 oleh Abraham Gottlieb Werner untuk menghormati Kolonel Belanda, Hendrik von / van Prehn, gubernur Cape of Good Hope (1779-1780), dimana mineral tersebut pertama kali ditemukan pada 1774 di Tanjung Harapan di Afrika Selatan. Prehnit ditemukan terkait dengan mineral seperti datolit, kalsit, apofilit, stilbit, laumontit, dan heulandit dalam urat dan rongga batuan basaltik, kadang-kadang dalam granit, syenit, atau gneisses. Prehnit adalah mineral indikator dari fasies metamorf prehnite-pumpellyite.

Prehnit terbentuk sebagai mineral sekunder atau hidrotermal dalam urat dan rongga di batuan vulkanik mafik, lebih jarang pada granit gneiss atau syenit; produk khas dari metamorfisme tingkat rendah.

Sifat fisik prehnit antara lain warna tidak berwarna/ abu-abu/ kuning, kuning-kehijauan atau putih (Gambar 12.7), sistem kristal ortorombik, perawakan globular, menggingjal, stalaktit, belahan bagus pada satu arah dan jelek pada dua arah, pecahan *uneven*, kekerasan 6-6,5 skala Mohs, sifat dalam rapuh, cerat putih, berat jenis 8 – 2,95 g/cm³.



Gambar 12.7. Prehnit (<https://www.minerals.net/mineral/prehnite.aspx>)

h. Pumpellyit

Pumpellyit dinamai pada tahun 1925 oleh Charles Palache dan Helen E. Vassar untuk menghormati ahli geologi Amerika Serikat, Raphael Pumpelly. Pumpellyite adalah nesosilikat yang mengandung rantai oktahedral SiO_4 tetrahedral dan $(\text{Si}_2\text{O}_7)^{6-}$ independen yang ditempati oleh logam. Pumpellyit mempunyai rumus kimia $\text{Ca}_2\text{MgAl}_2(\text{SiO}_4)(\text{Si}_2\text{O}_7)(\text{OH})_2 \cdot (\text{H}_2\text{O})$. Pumpellyit, secara kimia dan struktural terkait dengan mineral kelompok epidot. Pumpellyit terjadi sebagai pengisi amigdaloid dan rekahan pada batuan basaltik dan gabroik di lingkungan metamorfisme. Pumpellyit adalah mineral indikator dari fasies metamorf prehnite-pumpellyite. Pumpellyit terkait dengan klorit, epidot, kuarsa, kalsit dan prehnite

Pumpellyit mengkristal dalam sistem kristal monoklin. Warna hijau kebiruan (Gambar 12.8), hijau olive, cokelat. Perawakan *fibrous*, masif sampai berlembar, *spherical*, belahan satu arah, pecahan sub konkoidal, kekerasan 5,5 skala Mohs, kilap kaca, cerat putih, berat jenis $3,2 \text{ g/cm}^3$.



Gambar 12.8. Pumpellyit (<https://www.minerals.net/mineral/pumpellyite.aspx>)

i. Tremolit

Tremolit adalah anggota dari kelompok amfibi mineral silikat dengan komposisi $\text{Ca}_2(\text{Mg, Fe})_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$. Tremolit dinamai pertama kali pada tahun 1789 oleh Johann Georg Albrecht Höpfner untuk Lembah Tremola (Val Tremola), Central St Gotthard Massif, Tessin, Swiss, di mana mineral tersebut berasal.

Tremolit adalah indikator tingkat metamorfisme suhu rendah karena pada suhu tinggi ia berubah menjadi diopsid. Tremolit terjadi sebagai akibat dari kontak metamorfisme batuan sedimen silika yang kaya kalsium dan magnesium dan dalam batuan metamorf fasies sekis hijau yang berasal dari batuan ultramafik atau batuan karbonat kaya magnesium. Mineral yang berasosiasi antara lain kalsit, dolomit, grosular, wollastonit, talk, diopsid, forsterit, cummingtonit, riebeckit dan winchit.

Sifat fisik tremolit antara lain, warna putih, abu-abu, lavender hingga merah muda, hijau muda, kuning muda (Gambar 12.9). Sistem kristal monoklin, dengan perawakan kristal prisma memanjang, atau pipih; juga sebagai agregat berserat, granular atau kolumnar. Mempunyai belahan dua arah, pecahan *splintery*, sifat dalam rapuh, kekerasan 5-6 skala Mohs. Kilap kaca-sutera, cerat putih, ketembusan cahaya transparan-translucent, berat jenis 2,99-3,03 g/cm^3 .



Gambar 12.9. Tremolit

(<http://www.webmineral.com/specimens/picshow.php?id=1459&target=Tremolite>)

j. Aktinolit

Aktinolit adalah mineral silikat amfibol dengan rumus kimia $\text{Ca}_2(\text{Mg}, \text{Fe})_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$. Nama aktinolit berasal dari kata Yunani aktis, yang berarti "balok" atau "sinar", karena sifat mineral yang berserat. Aktinolit dan Tremolit adalah dua mineral yang sangat mirip yang membentuk seri satu sama lain dan pada dasarnya mempunyai rumus kimia yang sama. Aktinolit memiliki kandungan besi yang lebih besar dibanding magnesium, sedangkan tremolit memiliki kandungan magnesium yang lebih besar dibanding besi.

Warna hijau dari aktinolit dihasilkan oleh besi dalam struktur kimianya. Jumlah zat besi bervariasi di antara spesimen, menyebabkan perbedaan kontras warna hijau. Lebih banyak zat besi akan memberikan spesimen warna yang lebih gelap.

Aktinolit umumnya ditemukan dalam batuan metamorf, seperti pada kontak aureol di sekitar intrusi batuan beku. Aktinolit juga dapat terbentuk sebagai produk dari metamorfisme batugamping yang kaya magnesium.

Sifat fisik aktinolit di antaranya berwarna hijau terang - gelap; hijau keabu-abuan – hitam (Gambar 12.10). Sistem kristal monoklin dengan perawakan kristal prismatic memanjang, berbilah, kolumnar, berserat, retikulasi dan asikular. Mempunyai belahan dua arah dan pecahan *uneven* atau *splintery*. Kekerasan 5,5-6 skala mohs, sifat dalam rapuh, yang berbentuk berserat elastis. Cerat putih, ketembusan cahaya transparan-translucent, kilap kaca-tanah, berat jenis 2,9-3,5 g/cm^3 .



Gambar 12.10. Aktinolit (<https://www.minerals.net/mineral/actinolite.aspx>)

Selain mineral-mineral tersebut, ada juga mineral yang umum dijumpai pada batuan metamorf seperti klorit, epidot, serpentin, zeolit, namun tidak dibahas di sini karena mineral-mineral tersebut selain dapat terbentuk pada proses metamorfisme, juga dapat terbentuk oleh proses alterasi hidrotermal dan pelapukan.

Selain itu juga ada proses rekristalisasi yang terjadi pada saat metamorfisme. Proses rekristalisasi ini dapat dilihat pada mineral kuarsa pada batupasir kuarsa yang mengubah kuarsa berbutir halus-kasar menjadi kuarsa yang berukuran sangat besar pada kalsit. Contoh lain adalah rekristalisasi kalsit pada batugamping menjadi kalsit berukuran besar pada marmer.

12.2.2. Latihan

Kerjakan latihan di bawah ini sesuai petunjuk :

1. Tugas dikerjakan secara individu.
2. Buatlah tabel atau diagram yang memuat mineral yang bisa dijumpai pada batuan beku dan metamorf, pada batuan sedimen dan metamorf dan batuan metamorf saja.

12.3. Penutup

12.3.1. Rangkuman

1. Mineral penyusun batuan metamorf, ada yang dapat dijumpai pula dalam batuan beku, batuan sedimen dan ada pula mineral yang hanya dijumpai pada batuan metamorf.
2. Mineral yang hanya terbentuk oleh proses metamorfisme disebut sebagai mineral indeks metamorf, seperti andalusit, silimanit, kyanit, staurolit, glaukofan.

12.3.2. Tes Formatif

1. Mineral berikut yang bisa dijumpai pada batuan beku dan metamorf adalah:
 - a. dolomit
 - b. biotit
 - c. kalsit
 - d. zeolit
2. Mineral pada batuan metamorf yang merupakan penciri fasies *blueschist* adalah:

- a. klorit
 - b. epidot
 - c. glaukofan
 - d. glaukonit
3. Mineral yang bisa dihasilkan oleh proses metamorfisme dan alterasi hidrotermal adalah:
- a. epidot
 - b. feldspar
 - c. silimanit
 - d. silimanit
4. Mineral berikut yang bukan merupakan satu kesatuan polimorf adalah:
- a. andalusit
 - b. silimanit
 - c. kyanit
 - d. prehnit
5. Mineral kalsit pada marmer adalah produk dari:
- a. diagenesis
 - b. evaporasi
 - c. rekristalisasi
 - d. pembekuan

12.3.3. Umpan balik

Untuk dapat melanjutkan ke materi selanjutnya, mahasiswa harus mampu menjawab tes formatif minimal 80% benar.

12.3.4. Tindak lanjut

Bagi mahasiswa yang telah menjawab soal dengan benar dan lulus, diperkenankan mengikuti materi selanjutnya. Bagi mahasiswa yang belum lulus, diwajibkan mengerjakan kembali soal tes formatif di atas.

12.3.5. Kunci jawaban tes formatif

- 1. b
- 2. c
- 3. a
- 4. d
- 5. c

DAFTAR PUSTAKA

- Bonewitz RL, 2005, Rocks and Gems, the definitive guide to rocks, minerals, gems and fossils, DK Publishing, New YorkUSA, 360p.
- Chang R., 1998, Chemistry, sixth edisions, WCB McGraw Hill, New York USA, 993p
- Jensen ML & Bateman AM, 1981, Economic Mineral Deposits, John Willey and Sons Inc., New York USA, 589p.

Klein C. & Hulburt CS., 1993, Manual of Mineralogy, Jhon Willey and Sons Inc., New York USA, 681p.

Klein C., 1989, Minerals and Rocks : Exercises in Crystallography, Mineralogy and Hand-Specimen Petrology, John Willey and Sons Inc., New York USA, 402p.

<https://www.minerals.net/mineral/andalusite.aspx> diakses tanggal 14/06/2020

<https://www.minerals.net/mineral/sillimanite.aspx> diakses tanggal 14/06/2020

<https://www.minerals.net/mineral/kyanite.aspx> diakses tanggal 14/06/2020

<https://www.minerals.net/mineral/staurolite.aspx> diakses tanggal 14/06/2020

<https://www.minerals.net/mineral/glaucophane.aspx> diakses tanggal 14/06/2020

<https://www.minerals.net/mineral/garnet.aspx> diakses tanggal 15/06/2020

<https://www.minerals.net/mineral/prehnite.aspx> diakses tanggal 15/06/2020

<https://www.minerals.net/mineral/pumpellyte.aspx> diakses tanggal 15/06/2020

14. <http://www.webmineral.com/specimens/picshow.php?id=1459&target=Tremolite> diakses tanggal 15/06/2020

<https://www.minerals.net/mineral/actinolite.aspx> diakses tanggal 15/06/2020

SENARAI

Metamorfisme: Perubahan batuan yang diakibatkan oleh suhu dan tekanan yang tinggi.

Mineral indeks metamorf: Mineral yang hanya dapat terbentuk oleh proses metamorfisme, dan tidak dapat terbentuk oleh proses pembekuan magma atau sedimentasi.

POKOK BAHASAN 13: MINERAL SEKUNDER

13.1. Pendahuluan

13.1.1. Deskripsi singkat

Pada sub pokok bahasan ini akan dibahas mengenai macam-macam mineral sekunder beserta karakteristik dan proses pembentukannya.

13.1.2. Relevansi

Untuk mempelajari pokok bahasan ini diperlukan pemahaman mengenai mineral penyusun batuan beku. Materi pada pokok bahasan ini penting untuk mempelajari alterasi hidrotermal, batuan ubahan dan mineralisasi.

13.1.3. Kompetensi

A. Standar Kompetensi

Pada akhir pokok bahasan ini, diharapkan mahasiswa mampu memahami tentang mineral-mineral sekunder yang sering dijumpai di alam beserta karakteristiknya.

B. Kompetensi Dasar

Setelah mempelajari pokok bahasan ini, mahasiswa diharapkan akan mampu untuk:

1. Menyebutkan kembali definisi mineral primer dan sekunder.
2. Memberikan contoh mineral sekunder beserta karakteristik dan proses pembentukannya.

13.2. Penyajian

13.2.1. Materi

A. Pengertian Mineral Sekunder

Berdasarkan kejadiannya, mineral dalam batuan dibagi menjadi dua yaitu mineral primer dan mineral sekunder. Mineral primer adalah semua mineral yang terbentuk selama pematangan (kristalisasi) magma membentuk batuan beku. Contoh mineral primer adalah kuarsa, ortoklas, plagioklas, muskovit, biotit, hornblenda, piroksen, olivin. Berbeda dengan mineral primer adalah mineral sekunder, yaitu mineral yang terbentuk dari ubahan mineral primer yang terbentuk di kemudian hari melalui proses seperti pelapukan dan alterasi hidrotermal. Contoh mineral sekunder

adalah klorit, serpentin, epidot, serisit, limonit, gutit, mineral lempung (kaolin, haloisit, vermikulit, ilit, monmorilonit, dan lain-lain).

Mineral sekunder terbentuk oleh perubahan subsolidus dari mineral primer yang sudah ada sebelumnya di batuan beku. Mineral yang telah mengkristal dari magma hanya stabil pada suhu tinggi dan dapat dengan mudah berubah pada suhu rendah. Perubahan mineral primer menjadi mineral sekunder dikontrol oleh cairan yang bertindak sebagai katalis untuk memulai reaksi perubahan. Faktor lingkungan yang mempengaruhi pembentukan mineral sekunder meliputi air, suhu, kondisi redoks, aktivitas biologis, dan waktu.

Perubahan itu dapat terjadi di antaranya karena proses pelapukan, alterasi hidrotermal dan metamorfisme. Pada pokok bahasan ini hanya disampaikan mengenai pelapukan dan alterasi hidrotermal karena metamorfisme sudah dijelaskan pada pokok bahasan sebelumnya.

1. Pelapukan adalah proses fraksinasi batuan pada dan/atau dekat permukaan bumi yang disebabkan karena proses fisik, kimia dan/atau biologi. Hasil dari pelapukan ini merupakan asal (*source*) dari batuan sedimen dan tanah (*soil*).
2. Alterasi hidrotermal adalah perubahan mineral dan komposisi yang terjadi pada batuan ketika batuan berinteraksi dengan larutan hidrotermal. Larutan hidrotermal adalah suatu cairan panas yang berasal dari kulit bumi yang bergerak ke atas dengan membawa komponen – komponen pembentuk mineral bijih (Bateman dan Jansen, 1981). Larutan hidrotermal pada suatu system dapat berasal dari air magmatic, air meteoric, connate atau air yang berisi mineral yang dihasilkan selama proses metamorfisme yang menjadi panas di dalam bumi dan menjadi larutan hidrotermal.

B. Contoh-Contoh Mineral Sekunder

Berikut adalah contoh mineral primer dan mineral sekunder yang dihasilkannya (Tabel 13.1).

Tabel 13.1. Mineral primer dan ubahannya

No	Mineral primer	Mineral Sekunder
1	Gelas vulkanik	Vermikulit Monmorilonit
2	Olivin	Limonit Serpentin Talk
3	Piroksen dan amfibol	Vermikulit Limonit Serpentin Klorit Talk Epidot
4	Biotit	Klorit Epidot
5	Plagioklas dan K Feldspar	Kaolinit Haloisit Bauksit Iilit
6	Muskovit	Iilit

1. Klorit

Klorit umumnya ditemukan di batuan beku sebagai produk alterasi dari mineral mafik seperti piroksen, amphibole, dan biotit. Dalam lingkungan ini klorit dapat berupa mineral alterasi metamorf retrograde dari mineral feromagnesia yang ada, atau dapat hadir sebagai produk metasomatisme melalui penambahan Fe, Mg, atau senyawa lain ke dalam massa batuan.

Klorit adalah mineral umum yang terkait dengan deposit bijih hidrotermal dan biasanya terjadi pada mineral epidote, serisit, adularia, dan sulfida. Klorit juga merupakan mineral metamorf yang umum, biasanya menunjukkan metamorfisme tingkat rendah. Dalam batuan ultramafik, metamorfisme juga dapat menghasilkan klorit klinoklore yang dominan yang berasosiasi dengan mineral talk.

Sifat fisik klorit antara lain, warna umumnya berbagai nuansa hijau (Gambar 13.1); jarang yang berwarna kuning, merah, atau putih. Mempunyai sistem kristal monoklin dengan perawakan berfoliasi, agregat bersisik/ berserat, serpihan tersebar. Belahan satu arah,

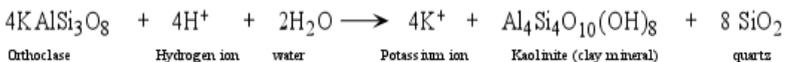
pecahan berlembar, kekerasan 2-2,5 skala Mohs, kilap kaca, mutiara, tanah, cerat hijau pucat sampai abu-abu, berat jenis 2,6-3,3 g/cm³.



Gambar 13.1. Klorit (<https://geologyscience.com/minerals/chlorite/>)

2. Kaolinit

Kaolinit adalah mineral lempung, bagian dari kelompok mineral industri dengan komposisi kimia $Al_2Si_2O_5(OH)_4$. Kaolinit bersifat lunak dan memiliki tekstur tanah, bersifat mudah patah dan dapat dibentuk, terutama saat basah. Kaolinit adalah mineral silikat berlapis, dengan satu lembar tetrahedral silika (SiO_4) dihubungkan melalui atom oksigen ke satu lembar alumina oktahedral (AlO_6). Proses pembentukan kaolin (kaolinisasi) dapat terjadi melalui proses pelapukan dan proses hidrotermal alterasi pada batuan beku felspartik. Endapan kaolin ada dua macam, yaitu endapan residual dan sedimentasi. Reaksi pembentukan kaolinit adalah sebagai berikut:



Kaolin mempunyai sifat fisik berwarna putih sampai krem (Gambar 13.2), terkadang merah, biru atau coklat dan kuning pucat; mempunyai sistem kristal triklin, perawakan jarang yang berbentuk seperti kristal, hadir sebagai lempeng tipis atau bertumpuk, atau seperti tanah liat. Belahan satu arah, kekerasan 2-2,5 skala Mohs, sifat dalam felksibel tetapi tidak elastis, kilap tanah, cerat putih, berat jenis 2,16-2,68 g/cm³.



Gambar 13.2. Kaolinit (<https://www.minerals.net/mineral/kaolinite.aspx>)

3. Limonit

Limonit, adalah bijih besi yang terdiri dari campuran besi(III) oksida-hidroksida terhidrasi dalam berbagai komposisi. Rumus kimianya umum ditulis sebagai $\text{FeO}(\text{OH}) \cdot n\text{H}_2\text{O}$. Nama Limonit diambil dari bahasa Yunani, yang merujuk pada bijih besi rawa (*bog iron ore*) yang ditemukan di padang rumput dan rawa-rawa. Dalam warnanya yang coklat ia kadang-kadang disebut *hematit coklat* atau *bijih besi coklat*, sedangkan dalam bentuk warnanya yang kuning terang ia kadang-kadang disebut *batu lemon* atau *bijih besi kuning*.

Limonit biasanya terbentuk dari hidrasi hematit dan magnetit, dari oksidasi dan hidrasi mineral sulfida yang kaya besi, dan dari pelapukan kimia mineral lainnya yang kaya besi, seperti olivin, piroksen, amfibol, dan biotit. Limonit seringkali merupakan komponen besi terbesar dalam tanah laterit. Ia juga sering terdeposit pada jalur-jalur limpahan air dari operasi pertambangan.

Sifat fisik limonit di antaranya warna beragam gradasi coklat dan kuning (Gambar 13.3), amorf/ mineraloid, perawakannya berupa agregat halus berbutir, lapisan tepung, belahan tidak ada, pecahan tidak rata, kekerasan 4-5,5 skala Mohs, kilap tanah, cerat coklat kekuningan, ketembusan cahaya opak, berat jenis 2,9-4,3 g/cm³.



Gambar 13.3. Limonit (<https://www.minerals.net/mineral/limonite.aspx>)

4. Monmorilonit

Monmorilonit pertama kali dideskripsikan pada tahun 1847 untuk menyebut lempung yang ditemukan di Montmorillon, Vienne, Prancis. Monmorilonit mempunyai rumus kimia $(\text{Na,Ca})_{0.33}(\text{Al,Mg})_2(\text{Si}_4\text{O}_{10})(\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$. Monmorilonit merupakan anggota dari kelompok mineral smektit dan dalam dunia industri dan perdagangan dikenal dengan nama bentonit.

Mineral montmorillonit adalah produk dari aktivitas vulkanisme dan hidrotermal dan terdiri dari aluminium silikat hidrous dalam bentuk partikel yang sangat kecil. Material asal dari monmorilonit adalah tuf/ abu vulkanik yang mengalami alterasi, membentuk lapisan bentonit. Dapat juga terbentuk pada abu vulkanik yang terendapkan dalam larutan basa dengan kondisi drainase yang buruk.

Warna putih, abu-abu, kuning, hijau, jarang dijumpai dalam merah muda atau merah (Gambar 13.4). Kilap tanah, cerat putih, kekerasan 1-2 skala Mohs, sistem kristal monoklin, perawakan berupa massa kompak dari agregat mikrokristalin lembaran atau globular, belahan satu arah, pecahan uneven, berat jenis 2-3 g/cm³. Monmorilonit dapat mengikat air di dalam struktur kristalnya, sehingga mempunyai sifat mengembang (*swelling*) yang baik.

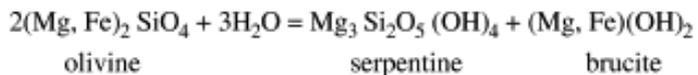


Gambar 13.4. Monmorilonit (<https://www.esan.com.tr/en/products-services/products/industrial-minerals/production-products/bentonite>)

5. Serpentin

Serpentin adalah nama umum dari sekelompok mineral silikat hidrous yang kaya magnesium, yang terdiri dari antigorit, lizardit dan krisotil. Rumus kimianya adalah $Mg, Fe, Ni, Al, Zn, Mn)_2 \cdot 3(Si, Al, Fe)_2O_5(OH)_4$. Antigorit dan lizardit umumnya mewakili bentuk yang lebih padat, dan krisotil sering mewakili bentuk berserat, terutama asbes.

Serpentin terbentuk pada suhu sekitar 260 ° C (500 ° F) dengan penambahan air dan terkadang silika ke berbagai mineral magnesium silikat misal forsterit atau enstatit melalui proses metamorfisme hidrotermal. Batuan asal yang dapat menghasilkan serpentin adalah dalam peridotit, dunit, atau piroksenit.



Sifat fisik serpentin antara lain biasanya mempunyai warna nuansa hijau (Gambar 13.5), tetapi bisa berwarna kuning, hitam, putih, dan warna lainnya. Cerat putih, kilap lemak atau lilin, sistem kristal monoklin, belahan satu arah, pecahan berserat, kekerasan 3-6 skala Mohs, ketembusan cahaya translucent sampai opak, berat jenis 2,5-2,6 g/cm³.



Gambar 13.5 Serpentin (<https://geologyscience.com/minerals/serpentine-subgroup/>)

6. Epidot

Epidot adalah mineral sorosilikat yang kaya kalsium, aluminium dan besi. Epidot memiliki rumus kimia $\text{Ca}_2\text{Al}_2(\text{Fe}^{3+}; \text{Al})(\text{SiO}_4)(\text{Si}_2\text{O}_7)\text{O}(\text{OH})$. Nama epidot berasal dari Bahasa Yunani "epidosis" yang berarti "penambahan" dalam kiasan ke satu sisi prisma ideal yang lebih panjang daripada yang lain. Epidot adalah mineral pembentuk batu yang melimpah, tetapi merupakan mineral yang berasal dari proses sekunder.

Epidot terbentuk pada marmer dan batuan sekis yang berasal dari metamorf. Pada batuan tersebut, epidot sering berasosiasi dengan amfibol, feldspar, kuarsa, dan klorit. Dapat juga merupakan produk dari perubahan hidrotermal dari berbagai mineral (feldspar, mika, piroksen, amfibol, garnet, dan lainnya) yang menyusun batuan beku.

Sifat fisik epidot antara lain warna hijau kekuningan, hitam kehijauan, hijau kecoklatan, hijau, hitam. Sistem kristal monoklin, dengan perawakan prismatic dengan pergoresan/ striasi, berserat, masif. Belahan satu arah, pecahan teratur hingga uneven. Kekerasan 6-7 skala Mohs, kilap kaca hingga damar, cerat putih keabu-abuan, ketembusan cahaya transparan hingga opak, berat jenis 3,3-3,6 g/cm^3 .



Gambar 13.6. Epidot (<https://geologyscience.com/minerals/epidote/>)

7. Ilit

Ilit adalah kelompok mineral lempung yang tidak mengembang. Ilit adalah mineral sekunder, dan merupakan contoh dari filosilikat, atau silikat alumino berlapis. Ilit dinamai pada tahun 1937 untuk negara bagian Illinois di Amerika Serikat dimana mineral pertama kali dideskripsikan. Secara struktural, ilit sangat mirip dengan muskovit dengan sedikit lebih banyak silikon, magnesium, besi, dan air dan sedikit aluminium tetrahedral dan lapisan kalium. Ilit mempunyai rumus kimia $(K,H_3O)(Al,Mg,Fe)_2(Si,Al)_4O_{10}[(OH)_2,(H_2O)]$.

Ilit terbentuk sebagai produk ubahan/ alterasi muskovit dan feldspar dalam lingkungan pelapukan dan hidrotermal. Ilit juga dapat terbentuk sebagai perubahan autigenik K-feldspar atau rekristalisasi smektit dalam sedimen laut. Ilit biasa terbentuk pada sedimen, tanah, dan batuan sedimen argilik serta di beberapa batuan metamorf tingkat rendah.

Sifat fisik ilit antara lain warna abu-abu putih sampai putih keperakan (Gambar 13.7), abu-abu kehijauan. Memiliki sistem kristal monoklin dengan perawakan seperti mika. Mempunyai belahan satu arah, dengan kekerasan 1-2 skala Mohs, kilap tanah hingga mutiara, cerat putih, ketembusan cahaya translucent, berat jenis 2,6-2,9 g/cm³.



Gambar 13.7. Ilit (<https://www.mindat.org/min-2011.html>):)

13.2.2. Latihan

Kerjakan latihan di bawah ini sesuai petunjuk :

Buatlah rangkuman mengenai mineral primer dan kemungkinan mineral sekunder yang dapat terbentuk. Tugas dibuat secara individu.

13.3. Penutup

13.3.1. Rangkuman

1. Mineral sekunder adalah mineral yang terbentuk dari ubahan mineral primer.
2. Pembentukan mineral sekunder bisa diakibatkan oleh proses pelapukan, alterasi hidrotermal dan metamorfisme.
3. Contoh mineral sekunder adalah kaolinit, ilit, monmorilonit, vermikulit, klorit, serpentin, epidot, limonit, dan lain-lain.

13.3.2. Tes Formatif

1. Mineral sekunder berikut ini dihasilkan oleh ubahan dari olivin, kecuali:
 - a. ilit
 - b. limonit
 - c. talk
 - d. serpentin
2. Mineral sekunder yang dihasilkan oleh ubahan abu vulkanik adalah:
 - a. kaolinit
 - b. serpentin
 - c. monmorilonit
 - d. klorit
3. Mineral berikut adalah spesies dari serpentin, kecuali:
 - a. lizardit
 - b. vermikulit
 - c. antigorit
 - d. krisotil
4. Mineral sekunder berikut mempunyai warna dasar hijau, kecuali:
 - a. klorit
 - b. epidot
 - c. serpentin
 - d. limonit
5. Mineral sekunder yang merupakan ubahan dari K feldspar adalah:
 - a. serpentin
 - b. kaolinit
 - c. limonit
 - d. epidot

13.3.3. Umpan balik

Untuk dapat melanjutkan ke materi selanjutnya, mahasiswa harus mampu menjawab tes formatif minimal 80% benar.

13.3.4. Tindak lanjut

Bagi mahasiswa yang telah menjawab soal dengan benar dan lulus, diperkenankan mengikuti materi selanjutnya. Bagi mahasiswa yang belum lulus, diwajibkan mengerjakan kembali soal tes formatif di atas.

13.3.5. Kunci jawaban tes formatif

1. a

2. c
3. b
4. d
5. b

DAFTAR PUSTAKA

- Bonewitz RL, 2005, Rocks and Gems, the definitive guide to rocks, minerals, gems and fossils, DK Publishing, New York USA, 360p.
- Chang R., 1998, Chemistry, sixth editions, WCB McGraw Hill, New York USA, 993p
- Jensen ML & Bateman AM, 1981, Economic Mineral Deposits, John Willey and Sons Inc., New York USA, 589p.
- Klein C. & Hulburt CS., 1993, Manual of Mineralogy, Jhon Willey and Sons Inc., New York USA, 681p.
- Klein C., 1989, Minerals and Rocks : Exercises in Crystallography, Mineralogy and Hand-Specimen Petrology, John Willey and Sons Inc., New York USA, 402p.
- <https://geologyscience.com/minerals/chlorite/> diakses tanggal 17/06/2020.
- <https://www.minerals.net/mineral/kaolinite.aspx> diakses tanggal 17/06/2020.
- <https://www.minerals.net/mineral/limonite.aspx> diakses tanggal 17/06/2020.
- <https://www.esan.com.tr/en/products-services/products/industrial-minerals/production-products/bentonite> diakses tanggal 18/06/2020.
- <https://geologyscience.com/minerals/serpentine-subgroup/> diakses tanggal 18/06/2020.
- <https://geologyscience.com/minerals/epidote/> diakses tanggal 18/06/2020.
- <https://www.mindat.org/min-2011.html>: diakses tanggal 18/06/2020.

SENARAI

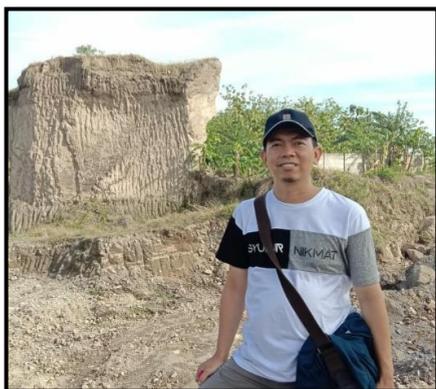
Mineral primer: mineral yang terbentuk selama pematatan (kristalisasi) magma membentuk batuan beku

Mineral sekunder: mineral yang terbentuk dari ubahan mineral primer

Pelapukan: proses penghancuran batuan yang dipicu oleh faktor kimia, fisika dan biologi.

Alterasi hidrotermal: perubahan mineral dan komposisi yang terjadi pada batuan ketika batuan berinteraksi dengan larutan hidrotermal.

BIOGRAFI TIM PENULIS



Tri Winarno, ST, M, Eng. adalah dosen pada Departemen Teknik Geologi Universitas Diponegoro. Ia merupakan alumni dari Teknik Geologi Universitas Gadjah Mada (2004) dan menyelesaikan program Magister Teknik Geologi Universitas gadjah Mada (2015). Ia mulai mengajar pada Departemen teknik Geologi Universitas Diponegoro sejak tahun 2008. Spesialisasinya adalah di bidang Mineralogi dan Petrologi. Buku yang pernah ditulisnya adalah Buku Ajar Vulkanologi pada tahun 2011.

Jenian MARIN telah menjadi staf pengajar di program S1-Departemen Teknik Geologi Universitas Diponegoro sejak 2016. Kegiatan ekspedisi yang pernah diikuti adalah Ekspedisi Bukit Barisan TNI-AD 2011, Ekspedisi NKRI Koridor Maluku-Maluku Utara 2013, dan Ekspedisi Widya Nusantara LIPI 2016 yang disertai riset dan pengabdian masyarakat bersama peneliti bidang ilmu lain yang dipublikasikan dalam bentuk buku kegiatan serta artikel ilmiah. Lulusan S1 Teknik Geologi Undip dan S2 Teknik Geologi UGM ini mengambil konsentrasi di bidang petrologi dan geokimia batuan beku.

