

KIMIA ZAT PADAT

PENULIS :

Rakhmad Armus, Waode Rustiah, Yulianti Malik
Aliyah Fahmi, Jan Setiawan, Dimas Tunggul Wardoyo
Linda Hevira, Neny Rochyani, Ani Qomariyah
Wiwin Rewini Kunusa, Suhirman



ISBN 978-623-198-444-9



9 786231 984449

KIMIA ZAT PADAT

**Rakhmad Armus
Waode Rustiah
Yulianti Malik
Aliyah Fahmi
Jan Setiawan
Dimas Tunggul Wardoyo
Linda Hevira
Neny Rochyani
Ani Qomariyah
Wiwin Rewini Kunusa
Suhirman**



PT GLOBAL EKSEKUTIF TEKNOLOGI

KIMIA ZAT PADAT

Penulis :

Rakhmad Armus
Waode Rustiah
Yulianti Malik
Aliyah Fahmi
Jan Setiawan
Dimas Tunggul Wardoyo
Linda Hevira
Neny Rochyani
Ani Qomariyah
Wiwin Rewini Kunusa
Suhirman

ISBN : 978-623-198-444-9

Editor : Mila Sari, M.Si.

Penyunting: Yuliatr Novita, M.Hum.

Desain Sampul dan Tata Letak : Tri Putri Wahyuni, S.Pd.

Penerbit : PT GLOBAL EKSEKUTIF TEKNOLOGI

Anggota IKAPI No. 033/SBA/2022

Redaksi :

Jl. Pasir Sebelah No. 30 RT 002 RW 001
Kelurahan Pasie Nan Tigo Kecamatan Koto Tengah
Padang Sumatera Barat
Website : www.globaleksekutifteknologi.co.id
Email : globaleksekutifteknologi@gmail.com

Cetakan pertama, Juni 2023

Hak cipta dilindungi undang-undang
Dilarang memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk
dan dengan cara apapun tanpa izin tertulis dari penerbit.

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji syukur kehadiran Allah SWT, atas limpahan rahmat dan hidayahNya, maka Penulisan Buku dengan judul Kimia Zat Padat dapat diselesaikan dengan kerjasama tim penulis. Buku ini dapat membantu dosen dan mahasiswa dalam mempelajari tentang Kimia Zat Padat. Buku ini berisi tentang pengantar kimia zat padat, keadaan materi dan jenis padatan, *unit cell*, sistem kristal dan simetri, Lattice dan Indeks Miller, karakterisasi zat padat dengan teknik difraksi, karakterisasi zat padat dengan teknik termal analisis (TA), sifat listrik zat padat, sifat magnetik zat padat, cacat kristal dan senyawa non stoikiometri, cacat kristal dan senyawa non stoikiometri, cara-cara preparatif zat padat, kuarsa (zeolit, lempung, bentonit).

Buku ini masih banyak kekurangan dalam penyusunannya. Oleh karena itu, kami sangat mengharapkan kritik dan saran demi perbaikan dan kesempurnaan buku ini selanjutnya. Kami mengucapkan terima kasih kepada berbagai pihak yang telah membantu dalam proses penyelesaian Buku ini. Semoga Buku ini dapat menjadi sumber referensi dan literatur yang mudah dipahami.

Padang, Juni 2023
Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR GAMBAR	v
DAFTAR TABEL	vi
BAB 1 PENGANTAR KIMIA ZAT PADAT	1
1.1 Pendahuluan	1
1.2 Kristal	2
1.3 Vektor Kisi Translasi	4
1.3.1 Vektor Kisi Translasi	4
1.3.2 Basis	8
1.4 Zat Padat Total	9
1.4.1 Zat Padat Tersuspensi	9
1.4.2 Zat Padat Terlarut	10
DAFTAR PUSTAKA	11
BAB 2 KEADAAN MATERI DAN JENIS PADATAN	13
2.1 Pendahuluan	13
2.2 Keadaan Materi	14
2.3 Klasifikasi Materi	15
2.4 Perubahan Status Materi	15
2.5 Keadaan Materi Padat	17
2.6 Keadaan Materi Cair	17
2.7 Keadaan Materi Gas	18
2.8 Keadaan Materi Plasma	18
2.9 Zat Padat	19
2.10 Jenis Padatan	22
DAFTAR PUSTAKA	25
BAB 3 UNIT CELL, SISTEM KRISTAL DAN SIMETRI	27
3.1 Pendahuluan	27
3.2 Unit Cell	28
3.3 Sistem Kristal	31
3.3.1 Isometri	33
3.3.2. Tetragonal	34
3.3.3. Ortorombik	35
3.3.5. Hexagonal	37
3.3.6. Monoklinik	38
3.4 Simetri Kristal	40
3.4.1. Refleksi	42
3.4.2. Rotasi	43
3.4.3. Roto Inversi	43
DAFTAR PUSTAKA	49

BAB 4 LATTICE DAN INDEKS MILLER.....	51
4.1 Pendahuluan	51
4.2 Lattice (kisi)	52
4.3 Indeks Miller	61
DAFTAR PUSTAKA.....	66
BAB 5 KARAKTERISASI ZAT PADAT DENGAN TEKNIK DIFRAKSI.....	67
5.1 Teknik Difraksi.....	67
5.2 Difraksi Sinar-X.....	69
5.3 Difraksi Elektron	74
5.4 Difraksi Neutron.....	77
DAFTAR PUSTAKA.....	79
BAB 6 KARAKTERISASI ZAT PADAT DENGAN TEKNIK TERMAL ANALISIS (TA)	81
6.1 Pendahuluan	81
6.2 Teknik Termal Analisis.....	82
6.2.1 Peristiwa Termal.....	83
6.2.2 Instrumentasi Analisis Termal	87
DAFTAR PUSTAKA.....	94
BAB 7 SIFAT LISTRIK ZAT PADAT	95
7.1 Sifat Listrik Zat Padat.....	95
7.2 Sifat konduktivitas	98
7.3 Kegunaan dan aplikasi sifat listrik zat padat.....	99
7.4. Energi Penghasil Listrik.....	100
7.5 Listrik pada tubuh manusia	103
DAFTAR PUSTAKA.....	106
BAB 8 SIFAT MAGNETIK ZAT PADAT	107
8.1 Dasar Teori Magnet	107
8.2 Unsur Magnetik Zat Padat.....	108
8.3 Karakteristi Sifat Magnetik Zat Padat.....	109
8.4 Metode Pengukuran Magnetik.....	110
8.5 Pengaruh Sifat Magnetik Zat Padat.....	112
8.6 Implementasi dan Manfaat Sifat Magnetik Zat Padat	113
DAFTAR PUSTAKA.....	115
BAB 9 CACAT KRISTAL DAN SENYAWA NON STOIKIOMETRI.....	117
9.1 Pengertian Cacat Kristal	117
9.2 Jenis-jenis Cacat Kristal	118
9.2.1 Cacat Titik	118
9.2.2 Cacat Linier (Dislokasi).....	121
9.2.3 Cacat Antar Muka.....	124

9.2.4 Cacat Volume atau <i>Bulk</i>	126
9.3 Manfaat Cacat Kristal	126
9.4 Senyawa Non-Stoikiometri.....	127
9.4.1 Non-Stoikiometri pada Wustite	129
9.4.2 Non-Stoikiometri pada Uranium Dioksida	131
9.4.3 Non-Stoikiometri pada Titanium Monoksida	132
DAFTAR PUSTAKA.....	134
BAB 10 CARA-CARA PREPARATIF ZAT PADAT	135
10.1 Pendahuluan	135
10.2 Tujuan Treatmen Sampel.....	137
10.3 Tahapan dalam Preparatif Zat Padat.....	139
10.2.1 Teknik Preparasi	139
10.2.1 Destruksi Basah serta Destruksi Kering.....	142
10.2.2 Analisis mineralogi serta kristalografi (<i>X-Ray Diffraction</i>)	144
10.2.3 Metode SOL – GEL.....	145
10.2.4 Metode Interkalasi.....	146
DAFTAR PUSTAKA.....	148
BAB 11 KUARSA (ZEOLIT, LEMPUNG, BENTONIT).....	149
11.1 Kuarsa	149
11.2 Zeolit.....	151
11.3 Lempung	154
11.3.1 Lempung Primer	156
11.3.2 Lempung sekunder.....	157
11.4 Bentonit.....	158
DAFTAR PUSTAKA.....	161
BIODATA PENULIS	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Material Silikon Oksida (SiO_2) dalam Bentuk Kristal dan Amorf.....	2
Gambar 1.2. Tiga Jenis Unit Sel untuk Sistem Kristal Kubik.....	3
Gambar 1.3. Bagan struktur kristal	5
Gambar 1.4 Bagian dari Sebuah Kristal pada Molekul Protein Imajiner, dalam Dua Dimensi. (Molekul Protein Dipilih karena Tidak Mungkin Memiliki Simetri Khusus).	7
Gambar 1.5. Struktur kristal	7
Gambar 1.6. Struktur Kristal Terbentuk oleh penambahan Basis (b) Pada Setiap Titik Kisi pada Sebuah Kisi (a) Dengan Melihat Pada (c), Anda Dapat Mengenali Basis dan Dapat Mengabstraksikan Ruang Kisi. Tidak Masalah Ketika Basis Ditaruh dalam Hubungan terhadap Titik Kisi.....	8
Gambar 2.1. Bentuk Padat	21
Gambar 2.2. Perubahan pada Benda Padat	22
Gambar 3.1. Jenis-Jenis Sel Satuan	28
Gambar 3.2. Beberapa jenis dan bentuk/pola dari sel satuan Bravais ...	30
Gambar 3.3. Jumlah dan kedudukan sumbu-sumbu kristal dalam sistem kristal.....	32
Gambar 3.4. Bentuk-bentuk kristal pada sistem isometris dan cara penggambarannya	34
Gambar 3.5. Bentuk kristal dan penggambaran sistem kristal tetragonal	34
Gambar 3.6. Bentuk kristal dan penggambaran sistem kristal ortorombik.....	35
Gambar 3.7. Bentuk kristal dan penggambaran sistem kristal trigonal	36
Gambar 3.8. Bentuk kristal dan penggambaran sistem kristal hexagonal.....	37
Gambar 3.9. Bentuk kristal dan penggambaran sistem kristal monoklin.....	38
Gambar 3.10. Bentuk kristal dan penggambaran sistem kristal triklin	39
Gambar 3.11. Simetri Translasi	40
Gambar 3.12. Sumbu Simetri (A), Bidang Simetri (B) dan Titik Simetri (C)	41
Gambar 3.13. Pola Geometri Refleksi	42
Gambar 3.13. Sembilan Bidang Cermin	42
Gambar 3.14. Pola Geometri Rotasi.....	43
Gambar 3.15. Pola Geometri Rotoinversi Putar dua	44

Gambar 3.16. (A)Sumbu Simetri Sistem Kristal Isometrik (B) Bidang Simetri Sistem Kristal Isometrik.....	45
Gambar 3.17. Sumbu simetri (A) dan Bidang Simetri (B&C) Sistem Kristal Tetragonal.....	46
Gambar 3.18. Sumbu Simetri Sistem Kristal Heksagonal (A)& Trigonal (D) serta Bidang Simetri Heksagonal (B&C) & Trigonal (E)	47
Gambar 3.18. Sumbu simetri (A &C) dan Bidang Simetri (B&D) Sistem Kristal Ortorombik	47
Gambar 3.19. Sumbu simetri (A) dan Bidang Simetri (B) Sistem Kristal Monoklinik.....	48
Gambar 3.20. Sumbu simetri (A) dan Bidang Simetri (B) Sistem Kristal Triklinik.....	48
Gambar 4.1. Struktur Natrium Klorida	52
Gambar 4.2. Lattice (kisi) Bravais	53
Gambar 4.3. Vektor a dan b adalah vektor basis kisi. Vektor a dan b' membentuk satu set vektor basis yang lain. Daerah yang diarsir adalah satu unit sel untuk kedua basis	54
Gambar 4.4. Keterkaitan antara lattice dua dimensi, basis dan struktur kristal.....	55
Gambar 4.5. Bidang ABC : Indeks bidang (2 3 3) ; Bidang ADE : Indeks bidang (434) ; Bidang AD~ : Indeks bidang (4 3 0).....	65
Gambar 5.1 Difraksi Sinar-X dari bidang dalam sebuah kristal	69
Gambar 5.2 Konfigurasi Bragg-Brentano untuk pengujian difraksi Sinar-X.....	72
Gambar 5.3 Struktur mikro besi murni (a) yang dietsa dan (b) citra EBSD (inverse pole figure (IPF) Z)	75
Gambar 5.4 (a) SAED dan (b) indeksasi akhir SAED dari silikon	76
Gambar 5.5 Pola (a) XRD dengan $\lambda=1,5406$ dan (b) difraksi neutron $\lambda=1,5403$ dari NaLaMnWO ₆	78
Gambar 6.1. Instrumen Teknik Termal Analisis	82
Gambar 6.2. Ilustrasi Kondisi Nol Mutlak	84
Gambar 6.3. Struktur Kristal TiO ₂	85
Gambar 6.4 Skema Instrumen Termal Analisis	87
Gambar 6.5. Skema Instrumen DTA	88
Gambar 6.6 Kurva DTA untuk sampel polimer dengan laju pemanasan konstan	89
Gambar 6.7 Diagram Skema TGA.....	91
Gambar 6.8 Tipe Kurva TGA	92
Gambar 9.1 Representasi vakansi dan interstisi-diri dalam dua dimensi	118
Gambar 9.2 Representasi interstisi-diri	119
Gambar 9.3 (a) Dislokasi ulir pada sebuah kristal dan (b) Dislokasi sisi pada penampakan dari atas.	122

Gambar 9.4 Posisi atom di sekitar dislokasi sisi.....	122
Gambar 9.5 (a) Representasi skematik dari dislokasi campuran dan (b) Dislokasi campuran yang tampak dari atas.....	123
Gambar 9.6 Diagram skematik yang menunjukkan butir dengan sudut besar dan sudut kecil serta posisi atom kosong.....	124
Gambar 9.7 Diagram skematik yang menunjukkan batas kembar.....	125
Gambar 9.8 Penampakan HR-TEM (High Resolution – Transmission Electron Microscopy) dari kristal tunggal (Ce _{0,5} Zr _{0,5})O ₂ yang merupakan material untuk konversi katalis pada automobil. Cacat permukaan terlihat pada kristal ini.....	126
Gambar 9.9 Diagram fase dari sistem FeO dimana I, II, III merupakan wilayah wustite.....	130
Gambar 9.10 a) Struktur fluorit dari UO ₂ , b) Kluster cacat interstisi pada UO _{2+x}	131
Gambar 9.11 a) Struktur TiO ₂ hipotetis dari tipe NaCl, b) Bidang yang sama pada struktur observasi TiO ₂ , dan c) Bidang tepat di bawah lapisan, diindikasikan terdapat unit sel monoklinik dari potongan melintang.....	133
Gambar 10.1. Salah satu teknik treatment sampel padat.....	139
Gambar 10.1 Ekstraksi fasa Padat.....	146
Gambar 10.3. Model interkalasi kalium menjadi grafit.....	146
Gambar 11.1 Kuarsa.....	150
Gambar 11.2 Zeolit.....	152
Gambar 11.3 Skema penyusun kerangka zeolit silikalit-1.....	154
Gambar 11.4 Lempung.....	152
Gambar 11.5 Bentonit.....	159
Gambar 11.6 Struktur Montmorillonit.....	159

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1. Hubungan keluarga kristal dengan Lattice (kisi) Bravais	56
Tabel 4.2. Hubungan antara keluarga kristal, jarak sumbu dengan sudut sumbu.....	57
Tabel 4.3. Hubungan antara keluarga kristal dan 14 kisi Bravais	58
Tabel 4.4. Hubungan antara keluarga kristal dengan jarak sumbu dan sudut sumbu.....	60
Tabel 5.1. Perbandingan difraksi Sinar-X, neutron dan elektron.....	68
Tabel 5.2 Jenis bahan anoda sebagai sumber Sinar-X.....	72
Tabel 9.1 Perkiraan Rentang Komposisi untuk Beberapa Senyawa Non-Stoikiometri	128
Tabel 10.1. Dasar Pemisahan dan Teknik Pemisahan.....	140
Tabel 11.1. Klasifikasi lempung sekunder berdasarkan suhu	158
Tabel 11.2 Kandungan Mineral Bentonit	160

BAB 1

PENGANTAR KIMIA ZAT PADAT

Oleh Rakhmad Armus

1.1 Pendahuluan

Secara ontologi, ilmu kimia zat padat adalah salah satu cabang dari ilmu kimia yang mengkaji struktur, jenis, teknik karakterisasi, sifat, reaksi, energi, sintesis, dan pemanfaatan material berwujud padat. Kimia padatan adalah kajian tentang sintesis, struktur, dan sifat-sifat fisik material padat. Jadi, bidang ini mempunyai kesamaan yang kuat dengan fisika padatan, mineralogi, kristalografi, keramik, metalurgi, termodinamika, ilmu material, dan elektronika dengan perhatian pada sintesis material baru dan karakterisasinya.

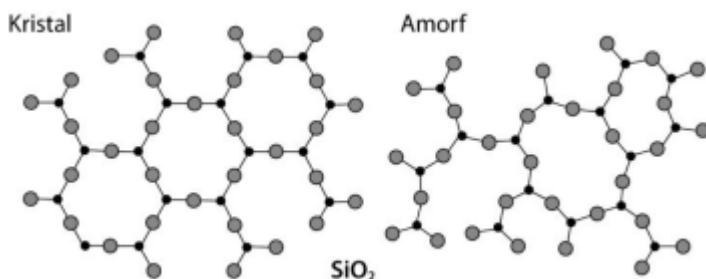
Zat padat mempunyai sifat bentuk dan volumenya tetap. Bentuknya tetap dikarenakan partikel-partikel pada zat padat saling berdekatan, tersusun teratur dan mempunyai gaya tarik antar partikel sangat kuat. Volumenya tetap dikarenakan partikel pada zat padat dapat bergerak dan berputar pada kedudukannya saja (Astra, 2018)

Pemanfaatan padatan dalam berbagai bidang ilmu untuk kemaslahatan dan kesejahteraan manusia, contohnya: Silikon murni dipadukan dengan fosfor akan menghasilkan silikon tipe-n yang memiliki sifat listrik yang lebih baik, Besi dipadukan dengan karbon menghasilkan baja karbon yang mempunyai sifat lebih unggul dari besi murni, Seng dipadukan dengan tembaga menghasilkan logam kuningan yang memiliki sifat mekanik lebih baik dari tembaga, pembuatan katalis, perlengkapan militer,

bahan antipeluru, alat elektronik, obat-obatan, kosmetik, energi, transportasi, rumah, pakaian, dan lain-lain (Binarjo, 2015).

1.2 Kristal

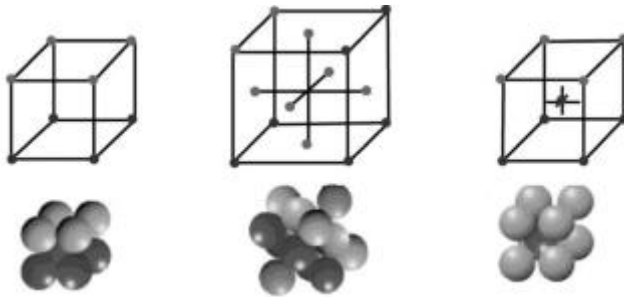
Material zat padat dapat diklasifikasikan berdasarkan keteraturan, di mana atom atau ion tersusun secara teratur antara atom yang satu dengan yang lainnya (atau disebut kristal) seperti intan. Sebuah material kristalin merupakan suatu kondisi di mana atom terletak dalam susunan yang berulang dalam jarak atomik yang besar; oleh karena itu, muncul urutan yang panjang. Seperti pada saat terjadi proses pemadatan (solidifikasi), atom-atom akan menempatkan diri mereka sendiri ke dalam pengulangan pola tiga dimensi di mana masing-masing atom terikat dengan atom tetangga yang letaknya sangat dekat.



Gambar 1.1. Material Silikon Oksida (SiO_2) dalam Bentuk Kristal dan Amorf

Semua logam, beberapa jenis keramik, dan polimer tertentu membentuk kristal di bawah kondisi pemadatan normal. Untuk material yang tidak bersifat kristalin, rantai pengulangan ini tidak muncul dalam jarak yang panjang; material ini disebut nonkristalin atau amorf (contohnya kaca). Sebagai contoh dalam Gambar 1.1 diperlihatkan bentuk kristal dan bentuk amorf dari material SiO_2 . Susunan atomik dalam kristal zat padat

mengindikasikan bahwa sedikit kelompok atom membentuk sebuah pola pengulangan. Oleh karena itu, dalam menggambarkan struktur kristal, terkadang lebih mudah untuk membagi struktur tersebut ke dalam entitas pengulangan kecil yang disebut sebagai unit sel.



Gambar 1.2. Tiga Jenis Unit Sel untuk Sistem Kristal Kubik

Unit sel (sel satuan) merupakan pola berulang dalam tiga dimensi dan membentuk kisi suatu kristal. Unit sel digambarkan sebagai volume terkecil suatu zat padat (Gambar 1.2). Semua sel satuan di dalam suatu kristal bersifat identik, jika kita membahas salah satunya berarti kita telah mendeskripsikan semuanya sehingga mempermudah proses analisis. Dalam Gambar 1.2 ditampilkan beberapa bentuk unit sel yang lazim ditemui dalam sebuah padatan.

Dalam kristalografi, sistem kristal kubik (atau isometrik) adalah sistem kristal di mana sel satuan berada dalam sebuah bentuk kubus. Sistem ini merupakan sistem yang paling sederhana dan paling umum yang ditemukan pada kristal dan mineral.

Ada 3 macam kristal kubik yang umum ditemui, yaitu:

- Kubus sederhana (primitive cubic, simbol Pearson: cP)
- Kubus berpusat-badan (body-centered cubic, bcc, simbol Pearson: cI),
- Kubus berpusat-muka (face-centered cubic, fcc, simbol Pearson: cF, juga dikenal sebagai cubic-close packed, ccp)

1.3 Vektor Kisi Translasi

Sebuah kristal ideal tersusun dari pengulangan struktur-struktur identik yang tidak berhingga. Pada Kristal yang sangat sederhana satuan penyusunnya adalah atom tunggal seperti pada tembaga, perak, emas, besi, aluminium, dan logam-logam alkali. Namun, dalam bentuk kristal dapat meliputi banyak atom dan molekul.

Semua struktur kristal dapat dijelaskan dalam istilah kisi (lattice) yang dihadapi sebagai kumpulan atom berada pada tiap titik kisi. Kumpulan atom ini disebut basis; dan ketika berulang dalam ruang menjadi sebuah kristal sehingga kisi dapat didefinisikan sebagai sebuah susunan titik-titik yang teratur dan periodik di dalam ruang. Pada setiap titik kisi, baris atom-atom setiap basis adalah identik dalam komposisinya, susunannya serta orientasinya sehingga basis dapat didefinisikan sebagai sekumpulan atom dengan jumlah atom dalam sebuah basis dapat bernilai satu atom atau lebih.

1.3.1 Vektor Kisi Translasi

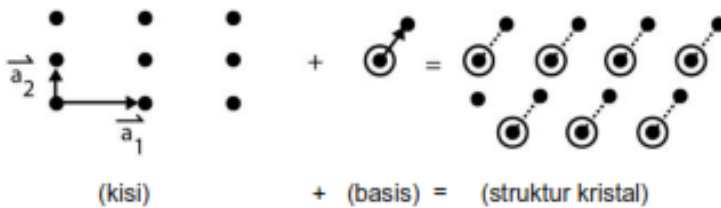
Kisi didefinisikan dengan tiga vektor pokok translasi a_1 , a_2 , a_3 ketika susunan atom-atomnya terlihat sama di setiap arah ketika dilihat dari titik r . Begitu pula ketika dilihat dari titik lain:

$$r' = r + u_1a_1 + u_2a_2 + u_3a_3 \quad (1)$$

Di mana u_1, u_2, u_3 adalah bilangan bulat. Persamaan titik r' didefinisikan dengan (1) untuk semua u_1, u_2, u_3 yang didefinisikan sebagai vektor basis.

Sebuah kisi adalah barisan periodik reguler dari titik-titik dalam ruang. Kisi adalah abstraksi matematika; struktur kristal yang terbentuk saat basis atom ditambahkan pada setiap titik kisi. Hubungan logisnya adalah:

$$\text{Kisi} + \text{basis} = \text{struktur kristal} \quad (2)$$



Gambar 1.3. Bagan struktur kristal

Kisi dan vektor translasi a_1, a_2, a_3 disebut primitif jika terdapat dua titik r dan r' yang susunan atomnya terlihat sama dan selalu memenuhi persamaan (1) dengan pilihan nilai u_1, u_2, u_3 tertentu. Dengan definisi dari vektor translasi primitif, tidak ada sel yang volumenya lebih kecil dari sel primitif yang dapat menyusun struktur kristal, atau dapat dikatakan bahwa sel primitif merupakan basis sel penyusun kristal terkecil.

Kita sering menggunakan vektor **translasi primitif** untuk mendefinisikan sumbu kristal. Namun, sumbu kristal nonprimitif sering digunakan ketika memiliki hubungan dengan simetri dari struktur. Sumbu kristal a_1, a_2, a_3 dari 3 tepi yang berdekatan dapat membentuk sebuah paralelepiped. Jika titik kisi hanya ada di sudut-sudutnya, maka itu adalah **paralelepiped** primitif.

Sebuah operasi kisi didefinisikan sebagai perpindahan dari kristal dengan vektor translasi kristal:

$$T = u_1a_1 + u_2a_2 + u_3a_3 \quad (3)$$

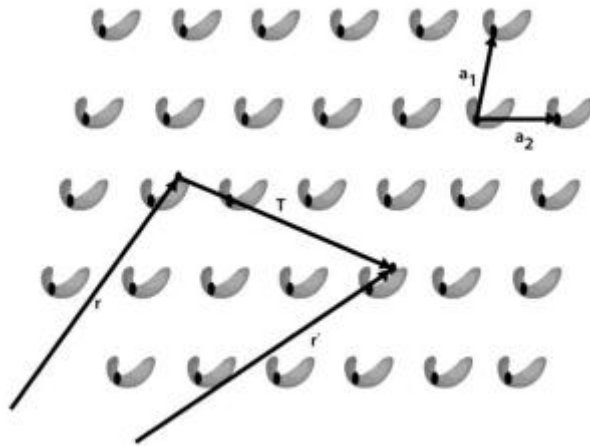
Dua titik kisi sembarang dihubungkan oleh vektor dengan bentuk pers (3). Untuk menggambarkan struktur kristal, ada tiga pertanyaan penting untuk dijawab: Apa itu kisi? Pilihan mana dari a_1 , a_2 , a_3 yang akan kita buat? Apa itu basis?

Dalam sebuah struktur dapat memiliki lebih dari satu kisi, dan dalam kisinya bisa memiliki lebih dari satu sumbu. Basis baru dapat diidentifikasi jika kita telah menentukan semua hal tersebut. Semua (termasuk pola difraksi sinar-X) terbukti jika persamaan (3) terpenuhi.

Operasi simetri dari kristal membawa struktur kristal ke bentuknya sendiri. Ini termasuk operasi translasi kisi. Selanjutnya, ada operasi rotasi dan refleksi, yang disebut operasi titik. Tentang titik kisi atau titik tertentu dalam sebuah paralelepipedum dasar, dimungkinkan untuk menerapkan rotasi dan refleksi yang dapat membawa kristal ke bentuknya sendiri.

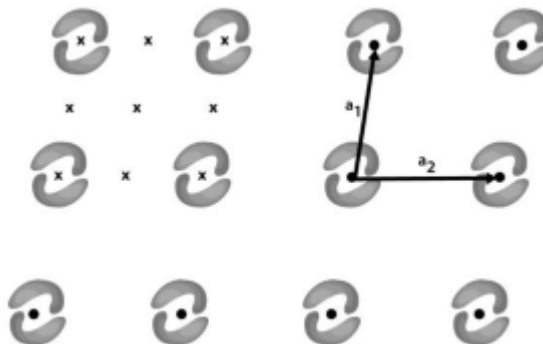
Contoh : $T = -a_1 + 3a_2$ (untuk molekul protein)

Struktur kristal pada Gambar 1.4 telah menggambarkan operasi translasi simetri. Struktur kristal pada Gambar 1.5 mengikuti kedua translasi dan operasi titik simetri.



Gambar 1.4 Bagian dari Sebuah Kristal pada Molekul Protein Imajiner, dalam Dua Dimensi. (Molekul Protein Dipilih karena Tidak Mungkin Memiliki Simetri Khusus).

Susunan Atom dalam Kristal Tampak Persis Sama untuk Pengamat di r' dan di r , dengan Ketentuan bahwa Vektor T ($T = -a_1 + 3a_2$) yang Menghubungkan r' dan r Dinyatakan Sebagai Integral dari Vektor a_1 dan a_2 . Vektor a_1 dan a_2 adalah Vektor Translasi Primitif dari Kisi Dua Dimensi

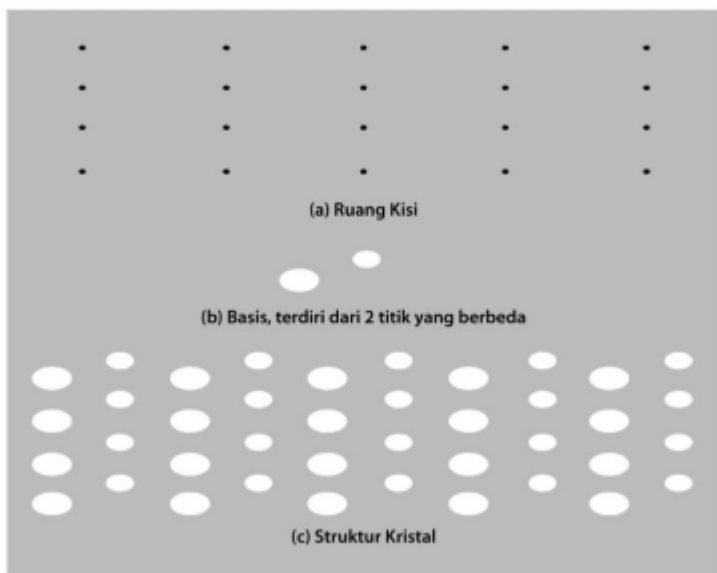


Gambar 1.5. Struktur kristal Mirip dengan Gambar 1.4, Tetapi dengan Molekul Protein yang Berpasangan. Vektor Translasi Kristal adalah a_1 dan a_2 .

Sebuah Rotasi π Radian Terhadap Sumbu Putar Bertanda akan Memutar Kristal Sesuai dengan Bentuk Asalnya. Lini Terjadi juga untuk Posisi yang Ekuivalen pada Sel Lainnya, Tetapi Hanya Satu Sel yang Telah Ditandai

1.3.2 Basis

Sebuah basis atom ditambahkan pada setiap titik kisi, dengan setiap basis yang identik dalam komposisi, susunan, dan orientasi. Gambar 1.6 menunjukkan bagaimana struktur kristal terbentuk dengan menambahkan sebuah basis pada setiap titik kisi. Kisi ditunjukkan oleh titik pada Gambar 1.4 dan Gambar 1.5, tetapi pada Gambar 1.6c titik-titik tersebut dihilangkan.



Gambar 1.6. Struktur Kristal Terbentuk oleh penambahan Basis (b) Pada Setiap Titik Kisi pada Sebuah Kisi (a) Dengan Melihat Pada (c), Anda Dapat Mengenali Basis dan Dapat Mengabstraksikan Ruang Kisi. Tidak Masalah Ketika Basis Ditaruh dalam Hubungan terhadap Titik Kisi

Jumlah atom yang terdapat pada basis mungkin hanya satu, atau mungkin lebih dari satu. Posisi pusat sebuah atom j dari basis terkait dengan titik kisi dapat dinyatakan sebagai berikut.

$$r_j = x_j a_1 + y_j a_2 + z_j a_3 \quad (4)$$

Kita dapat mengatur titik asal, yang telah disebutkan sebagai titik kisi yang terkait sehingga

$$0 \leq x_j, y_j, z_j \leq 1$$

1.4 Zat Padat Total

Dalam metoda analisa zat padat, pengertian zat padat total adalah semua zat yang tersisa sebagai residu dalam suatu bejana bila sampel air dalam bejana tersebut dipanaskan pada suhu tertentu. Zat padat total terdiri dari zat padat tersuspensi dan zat padat terlarut yang dapat bersifat organik dan inorganik.

1.4.1 Zat Padat Tersuspensi

Total Suspended Solid atau total padatan tersuspensi dalam air merupakan partikel-partikel anorganik, organik, dan cairan yang tak dapat bercampur dalam air. Senyawa padat anorganik antara lain berupa tanah, tanah liat dan lumpur, sedangkan senyawa padat organik yang sering dijumpai adalah serat tumbuhan, sel ganggang dan bakteri. Padatan-padatan ini merupakan pencemar alam yang berasal dari pengikisan air (erosi) saat mengalir). Senyawa residu tersuspensi lainnya berasal dari aktivitas penduduk yang menggunakan air. Limbah penduduk dan limbah industri biasanya banyak mengandung residu tersuspensi. Keberadaan residu tersuspensi dalam air tidak diinginkan karena alasan menurunnya estetika air disamping residu tersuspensi dapat menjadi tempat penyerapan bahan kimia atau biologi seperti mikroorganisme penyebab penyakit (Armus *et al.*, 2022). Adapun rumus yang digunakan

untuk menghitung nilai Total Suspended Solid (TSS) berdasarkan SNI 06-6989.3-2004 yaitu :

$$TSS (mg/l) = \frac{(W1 - W_0) \times 1000}{V}$$

Keterangan :

W_0 : Berat media penimbang yang berisi media penyaring awal (mg)

$W1$: Berat media penimbang yang berisi media penyaring dan residu kering (mg)

V : Volume contoh uji (mL)

1.4.2 Zat Padat Terlarut

Total Dissolved Solid alias disingkat TDS adalah “benda padat yang terlarut” yaitu semua mineral, garam, logam, serta kation-anion yang terlarut di air. Termasuk semua yang terlarut di luar molekul air murni (H_2O). Secara umum konsentrasi benda-benda padat terlarut merupakan jumlah antara kation dan anion di dalam air. TDS terukur dalam satuan parts per million (ppm) atau perbandingan rasio berat ion terhadap air (Widodo *et al.*, 2021). Benda-benda padat di dalam air tersebut berasal dari banyak sumber organik seperti lumpur, plankton, serta limbah industri dan kotoran. Sumber lainnya bisa berasal dari limbah rumah tangga, pestisida, dan banyak lainnya. Sedangkan sumber anorganik berasal dari batuan dan udara yang mengandung kalsium bikarbonat, nitrogen, besi fosfor, sulfur, dan mineral lain. Semua benda ini berbentuk garam yang kandungannya merupakan perpaduan antara logam dan non logam. Garam-garam ini biasanya terlarut di dalam air dalam bentuk ion yang merupakan partikel yang memiliki kandungan positif dan negatif. Air juga mengangkut logam seperti timah dan tembaga saat perjalanannya di dalam pipa distribusi air minum (Sehol *et al.*, 2023).

DAFTAR PUSTAKA

- Armus, R. *et al.* (2022) *Pengelolaan Sampah Padat*. Yayasan Kita Menulis. Available at: <https://books.google.co.id/books?id=nSVZEAAAQBAJ>.
- Astra, I.M. (2018) 'PENGARUH PENGGUNAAN PENILAIAN BERDASARKAN FORTOPOLIO TERHADAP PRESTASI BELAJAR FISIKA SISWA', *Pusat Data dan Teknologi Informasi Kementerian Pendidikan Kebudayaan, Riset dan Teknologi*, Jurnal Teknodik Vol. 13 No. 1, Juni 2009. Available at: <https://books.google.co.id/books?id=nSVZEAAAQBAJ>.
- Binarjo, A. (2015) 'STABILITAS FISIKA DAN KIMIA REKRISTAL DAN DISPERSI PADAT PIROKSIKAM-PEG 6000', *Universitas Ahmad Dahlan*, Vol 5, No 1 (2015): Pharmacia. Available at: <http://books.google.co.id/books?id=nSVZEAAAQBAJ>.
- Sehol, M. *et al.* (2023) *Biologi Lingkungan*. Global Eksekutif Teknologi. Available at: <https://books.google.co.id/books?id=GjWnEAAAQBAJ>.
- Widodo, D. *et al.* (2021) *Ekologi dan Ilmu Lingkungan*. Yayasan Kita Menulis. Available at: <https://books.google.co.id/books?id=-rJFEAAAQBAJ>.

BAB 2

KEADAAN MATERI DAN JENIS PADATAN

Oleh Waode Rustiah

2.1 Pendahuluan

Materi adalah segala sesuatu yang menempati ruang dan memiliki massa. Segala sesuatu itu bisa sesuatu yang terlihat (zat cair dan zat padat) ataupun yang tidak tampak yaitu zat gas. Maksud materi menempati ruang adalah benda dapat ditempatkan dalam suatu ruang atau wadah tertentu, sedangkan materi mempunyai massa, memiliki maksud bahwa benda yang termasuk materi dapat diukur, ditimbang dengan menggunakan alat ukur tertentu yaitu neraca atau timbangan.

Memahami konsep energi adalah sesuatu yang kompleks, tidak hanya mempelajari konsep sains semata, dalam hal ini energi, akan tetapi para pembelajar juga harus berpikir bagaimana sumber energi (bahan baku) itu tetap lestari, terjaga dengan baik, maka tentu konsekuensinya adalah harus menjaga dan merawat lingkungan alam sekitar dengan baik pula. Materi pasti mengalami perubahan, baik fisika maupun kimia. Dengan demikian setiap materi mengandung dan terkait dengan energi. Bila materi berubah akan disertai perubahan energinya.

Pada hakikatnya semua yang tampak di alam ini adalah gabungan dua substansi alam atau salah satunya yaitu materi dan energi. Semuanya nampak berbeda, akan tetapi hakikat kealamannya sama yaitu berkenaan dengan materi dan atau energi. Keberadaan manusia menjadi lebih dari sekedar materi

dan energi. Manusia memang materi dan energi, dan pada saat yang sama akan mempelajari serta memanfaatkan materi dan energi, termasuk di dalamnya masalah gelombang.

2.2 Keadaan Materi

Keadaan materi adalah berbagai fase atau keadaan agregasi di mana materi yang diketahui dapat ditemukan, baik itu zat murni atau campuran. Keadaan agregasi suatu zat bergantung pada jenis dan intensitas gaya ikat yang ada diantara partikelnya (atom, molekul, ion, dll.). Faktor lain yang mempengaruhi keadaan materi adalah suhu dan tekanan.

Keadaan materi yang paling dikenal ada tiga: padat, cair dan gas, meskipun ada juga keadaan lain yang lebih jarang terjadi seperti plasmatik dan bentuk lain yang tidak terjadi secara alami di lingkungan kita, seperti kondensat fermionik. Masing-masing keadaan ini memiliki karakteristik fisik yang berbeda (antara lain volume, fluiditas, hambatan). Mempelajari identitas dan sifat-sifat materi, secara umum tergambar pada penjelasan berikut:

Ada dua macam sifat materi berdasarkan hubungannya dengan kuantita (jumlah) suatu materi, yaitu sifat ekstensif dan sifat intensif.

1. Sifat ekstensif adalah sifat yang bergantung pada banyak sedikitnya jumlah zat atau materinya, misalnya: volume, berat, dan massa jenis
2. Sifat intensif adalah sifat yang tidak bergantung pada banyak sedikitnya jumlah zat atau materinya, misalnya: suhu, wujud suatu zat, indeks bias, titik beku dan titik didih.

2.3 Klasifikasi Materi

Pengklasifikasian materi pada umumnya didasarkan pada karakteristik tertentu, perbedaan karakteristik inilah yang menyebabkan beberapa pengelompokan. Klasifikasi ini dilakukan para ilmuwan agar lebih mudah dipelajari dan disusun secara sistematis. Ada 3 dasar utama pengelompokan sebuah materi, yaitu :

1. Materi berdasarkan kuat lemahnya menghantarkan panas (kalor) atau arus listrik, yaitu Isolator dan Konduktor
2. Materi berdasarkan tingkat wujudnya yaitu padat, cair dan gas, dan
3. Materi berdasarkan komposisinya yaitu zat tunggal dan campuran.

2.4 Perubahan Status Materi

Secara umum perubahan wujud dibedakan menjadi dua jenis yaitu perubahan fisis/fisika dan perubahan kimia. Perubahan fisis/fisika merupakan perubahan pada suatu materi yang tidak menyebabkan pembentukan materi baru; artinya unsur-unsur penyusunnya akan tetap sama dengan zat semula dan dapat dikembalikan ke wujud semula (reversible) walaupun tidak melalui reaksi kimia. Contohnya adalah perubahan bentuk, ukuran, dan wujud benda (zat). Perubahan kimia merupakan kebalikan dari perubahan fisis/fisika. Jika perubahan fisika perubahannya tidak menyebabkan terbentuknya materi baru, maka pada perubahan kimia ini perubahannya dapat menyebabkan terbentuknya zat baru yang unsur-unsur penyusunnya berbeda dengan zat asalnya. Hal ini disebabkan karena adanya reaksi kimia.

Dengan memodifikasi kondisi suhu dan tekanan, keadaan agregasi suatu zat dapat diubah, tetapi sifat kimianya akan tetap sama. Misalnya, kita dapat merebus air untuk mengubahnya dari

bentuk cair menjadi gas, tetapi uap air yang dihasilkan akan tetap terdiri dari molekul air.

Prosedur transformasi fase materi biasanya dapat dibalik dan yang paling terkenal adalah sebagai berikut:

- **Penguapan.** Ini adalah proses di mana, dengan memasukkan energi panas (panas), sebagian massa zat cair (tidak harus seluruh massa) diubah menjadi gas.
- **Mendidih atau penguapan.** Ini adalah proses dimana, memasok energi panas, seluruh massa zat cair diubah menjadi gas. Transisi fase terjadi ketika suhu melebihi titik didih (suhu di mana tekanan uap zat cair sama dengan tekanan di sekitar zat cair, oleh karena itu menjadi uap) zat cair.
- **Kondensasi.** Ini adalah proses dimana dengan menghilangkan energi panas, gas diubah menjadi cairan. Proses ini bertentangan dengan penguapan.
- **Pencairan.** Ini adalah proses di mana, dengan sangat meningkatkan tekanan, gas diubah menjadi cairan. Dalam proses ini, gas juga mengalami suhu rendah, tetapi yang menjadi ciri khasnya adalah tekanan tinggi yang dikenakan gas.
- **Solidifikasi.** Ini adalah proses di mana, dengan meningkatkan tekanan, zat cair dapat diubah menjadi zat padat.
- **Pembekuan.** Ini adalah proses di mana, dengan menghilangkan energi panas, cairan diubah menjadi padatan. Transisi fase terjadi ketika suhu mengambil nilai yang lebih rendah dari titik beku zat cair (suhu di mana zat cair membeku).
- **Fusi.** Ini adalah proses dimana, memasok energi panas (panas), zat padat dapat diubah menjadi cairan.
- **Sublimasi.** Ini adalah proses di mana, memasok panas, padatan diubah menjadi gas, tanpa terlebih dahulu melewati keadaan cair.

- **Deposisi balik atau sublimasi.** Ini adalah proses di mana, dengan menghilangkan panas, gas diubah menjadi padatan, tanpa terlebih dahulu melewati keadaan cair.

2.5 Keadaan Materi Padat

Materi padat memiliki partikel yang berdekatan, disatukan oleh gaya tarik yang besar. Karena itu, padatan memiliki bentuk yang pasti, kohesi tinggi, kepadatan tinggi, dan ketahanan yang tinggi terhadap fragmentasi. Pada saat yang sama, padatan memiliki fluiditas rendah atau tidak ada, mereka tidak dapat dikompresi, dan ketika mereka pecah atau terfragmentasi, padatan yang lebih kecil diperoleh darinya.

Ada dua jenis padatan, menurut bentuknya:

1. **Kristal.** Partikel-partikelnya tersusun dalam sel dalam bentuk geometris, sehingga biasanya berbentuk teratur.
2. **Amorf atau vitreous.** Partikel-partikelnya tidak bersatu dalam struktur yang teratur, sehingga bentuknya bisa tidak teratur dan bervariasi.

Contoh zat padat adalah: mineral, logam, batu, tulang, kayu.

2.6 Keadaan Materi Cair

Partikel-partikel cairan masih disatukan oleh gaya tarik, tetapi jauh lebih lemah dan kurang teratur dibandingkan dengan padatan. Karena alasan ini, cairan tidak memiliki bentuk yang tetap dan stabil, juga tidak memiliki kohesi dan ketahanan yang tinggi. Faktanya, cairan berbentuk wadah yang berisi mereka, mereka memiliki fluiditas yang besar (mereka dapat masuk melalui ruang kecil) dan tegangan permukaan yang membuatnya melekat pada benda.

Cairan tidak terlalu bisa dimampatkan dan kecuali air, cenderung berkontraksi jika ada dingin. Contoh cairan adalah: air, merkuri (meskipun merupakan logam), darah.

2.7 Keadaan Materi Gas

Dalam kasus gas, partikel berada dalam keadaan dispersi dan jarak yang hampir tidak dapat mereka pertahankan. Gaya tarik-menarik di antara mereka sangat lemah sehingga mereka berada dalam keadaan tidak teratur, yang merespons sangat sedikit terhadap gravitasi dan menempati volume yang jauh lebih besar daripada cairan dan padatan, sehingga gas akan cenderung mengembang hingga menempati seluruh ruang tempatnya berada.

Gas tidak memiliki bentuk tetap atau volume tetap dan seringkali tidak berwarna dan/atau tidak berbau. Dibandingkan dengan keadaan agregasi materi lainnya, mereka tidak reaktif secara kimiawi. Contoh gas adalah: udara, karbon dioksida, nitrogen, helium.

2.8 Keadaan Materi Plasma

Keadaan agregasi materi tertentu disebut plasma, yang dapat dipahami sebagai gas terionisasi, yang terdiri dari atom-atom yang elektronnya telah dikeluarkan atau ditambahkan dan, oleh karena itu, memiliki muatan listrik tetap (anion (-) dan kation (+)). Hal ini membuat plasma menjadi pemancar listrik yang sangat baik.

Di sisi lain, partikel plasma berinteraksi sangat kuat dengan medan elektromagnetik. Karena plasma memiliki karakteristiknya sendiri (yang tidak berhubungan dengan padatan, gas, atau cairan), plasma dikatakan sebagai materi keempat.

Ada dua jenis plasma:

1. **Plasma dingin.** Ini adalah plasma di mana suhu elektron lebih tinggi daripada suhu partikel yang lebih berat, seperti ion.

2. **Plasma panas.** Ini adalah plasma yang atom terionisasi menjadi sangat panas karena mereka terus bertabrakan dan ini menghasilkan cahaya dan panas.

Contoh plasma adalah: Matahari, layar elektronik, atau bagian dalam tabung fluoresen.

2.9 Zat Padat

Zat padat adalah zat atau benda yang memiliki bentuk dan volume yang tetap, kokoh, dan mudah ditempa. Selain itu zat padat mampu dalam menyerap panas.

Benda padat memiliki sifat bentuk dan ukuran yang selalu tetap. Selain itu, daya tarik antar molekulnya sangat kuat sehingga benda padat memiliki volume yang tetap dan molekul yang rapat. Ketika benda padat dimasukkan ke suatu tempat, bentuknya akan tetap, tidak mengikuti bentuk wadah. Berbeda dengan benda cair dan gas yang apabila dimasukkan ke dalam sebuah wadah, maka bentuknya akan mengikuti wadah tersebut.

Ada dua cara utama penyusunan partikel padat, yaitu dalam barisan yang tersusun rapi atau dalam susunan yang tidak beraturan. Zat padat yang partikelnya tersusun rapi disebut kristal. Contoh umum kristal adalah sebagian besar logam, berlian, es dan kristal garam. Zat padat yang partikelnya tidak tersusun disebut amorf. Padatan amorf biasanya memiliki tekstur mengkilap atau elastis. Contoh umum padatan amorf adalah lilin, kaca, karet dan plastik. Karena partikel-partikel tersusun berdekatan padatan tidak dapat dikompresi dengan mudah. Padatan tidak dapat diminimalkan dengan menekannya.

Zat padat dapat dibedakan menjadi kristal yaitu bila atom atau molekul penyusun tersusun dalam bentuk pengulangan kontinu untuk rentang yang panjang, terbentuk dari larutan lelehan, uap atau gabungan dari ketiganya. Secara umum, zat cair membentuk kristal ketika mengalami proses pemadatan. Pada

kondisi ideal, hasilnya bisa berupa kristal tunggal, yang semua atom-atom dalam padatannya "terpasang" pada kisi atau struktur kristal yang sama, tapi, secara umum, kebanyakan kristal terbentuk secara simultan sehingga menghasilkan padatan polikristalin. Misalnya, kebanyakan logam yang kita temui sehari-hari merupakan polikristal.

Struktur kristal mana yang akan terbentuk dari suatu cairan tergantung pada kimia cairannya sendiri, kondisi ketika terjadi pemadatan, dan tekanan ambien. Proses terbentuknya struktur kristalin dikenal sebagai kristalisasi. Struktur kristal

terjadi pada semua kelas material, dengan semua jenis ikatan kimia. Hampir semua ikatan logam ada pada keadaan polikristalin; logam amorf atau kristal tunggal harus diproduksi secara sintetis, dengan kesulitan besar. Kristal ikatan ion dapat terbentuk saat pemadatan garam, baik dari lelehan cairan maupun kondensasi larutan. Kristal ikatan kovalen juga sangat umum. Contohnya adalah intan, silika dan grafit. Material polimer umumnya akan membentuk bagian-bagian kristalin, namun panjang molekul-molekulnya biasanya mencegah pengkristalan menyeluruh. Gaya Van der Waals lemah juga dapat berperan dalam struktur kristal. Contohnya, jenis ikatan inilah yang menyatukan lapisan-lapisan berpola heksagonal pada grafit.

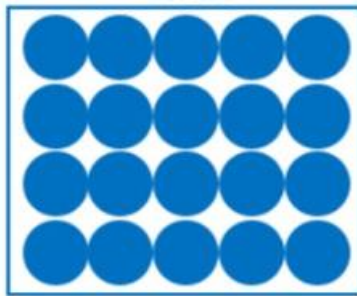
Kristal dapat terbentuk dalam:

1. Kristal tunggal
2. Polikristal
3. Mikrikristal
4. Nanokristal
5. Amorf yaitu zat padat yang tidak memiliki bentuk penguapan keteraturan jangkauan keteraturan atom biasanya sampai tetangga kedua.

Apa yang istimewa dari benda padat?

- Bentuknya terjaga

Benda padat tersusun dari zat padat. Zat padat memiliki partikel – partikel yang tersusun rapat dan teratur sehingga antar partikel memiliki ikatan yang sangat kuat. Kerapatan partikel yang dimiliki zat padat membuat partikel – partikel pada benda padat tidak dapat bergerak dengan bebas. Karena kondisi partikel zat padat yang demikian membuat benda padat memiliki bentuk berupa padatan.



Gambar 2.1. Bentuk Padat

Ciri-Ciri Benda Padat

1. Bentuk benda padat tidak berubah meskipun dipindah-pindah.
2. Ukuran benda padat tidak berubah meskipun dipindah-pindah.
3. Volumennya tetap.
4. Massa jenis/kerapatan relatif tinggi.

Sifat zat padat dalam benda padat:

1. Memiliki bentuk tetap
2. Volumennya tetap
3. Berbentuk padatan
4. Letak partikel penyusun zat padat sangat berdekatan.

5. Memiliki gaya tarik – menarik antar partikel yang sangat kuat sehingga gerakan antar partikel tidak bebas.
6. Memiliki gerakan partikel yang terbatas, yaitu bergetar dan berputar di tempat saja.
7. Partikel – partikel pada zat padat sulit dipisahkan
8. Memiliki bentuk tetap (tidak berubah – ubah).

Perubahan pada benda padat dapat terjadi pada wujudnya seperti gambar dibawah ini



Gambar 2.2. Perubahan pada Benda Padat

Coklat yang meleleh merupakan salah satu peristiwa mencair. Mencair adalah perubahan benda padat menjadi cair. Air yang didinginkan sampai membeku akan menjadi es batu. Perubahan wujud dari cair menjadi padat disebut membeku.

2.10 Jenis Padatan

Kebanyakan material kristalin memiliki berbagai jenis cacat kristalografis. Jenis dan struktur cacat-cacat tersebut dapat berefek besar pada sifat-sifat material tersebut. Meskipun istilah "kristal" memiliki makna yang sudah ditentukan dalam ilmu material dan fisika zat padat, dalam kehidupan sehari-hari "kristal" merujuk pada benda padat yang menunjukkan bentuk geometri tertentu, dan kerap kali sedap di mata. Berbagai bentuk

kristal tersebut dapat ditemukan di alam. Bentuk-bentuk kristal ini bergantung pada jenis ikatan molekuler antara atom-atom untuk menentukan strukturnya, dan juga keadaan terciptanya kristal tersebut. Bunga salju, intan, dan garam dapur adalah contoh-contoh kristal.

Padatan kristal memiliki struktur molekul dengan bentuk geometris tertentu. Padatan memiliki titik leleh spesifik dimana semua molekul mulai melepaskan ikatannya. Zat seperti garam, berlian dan kuarsa adalah padatan kristal. Padatan ini biasanya terbentuk dengan mendinginkan cairan secara perlahan sehingga molekul memiliki waktu untuk mengatur dirinya sendiri dalam struktur energi yang dibutuhkan untuk memutuskan ikatan bervariasi dari satu molekul ke molekul lainnya.

Zat seperti batubara dan kaca bersifat *amorf*, padatan *amorf* biasanya terbentuk ketika cairan didinginkan dengan cepat sehingga tidak ada waktu bagi molekul untuk menyusun diri menjadi kristal. Sedangkan batubara dapat tergores pergi dengan kuku. Struktur kristal juga menjelaskan penampilan berlian yang cemerlang dan transparan. Batubara berwarna hitam dan kusam karena gangguan atom tidak memungkinkan cahaya lewat padatan tentu saja tidak selamanya permanen.

Setelah terbentuk ukuran dan bentuknya tidak berubah, benda padat memiliki bentuk dan ukuran yang konstan karena terbentuk ketika gaya tarik antar atom atau molekul lebih besar daripada energi yang menyebabkannya bergerak terpisah. Dengan kata lain atom atau molekul tidak memiliki cukup energi untuk bergerak dan saling menempel dalam bentuk apapun ketika mereka kehilangan energi untuk berpisah.

Garam dan gula adalah padatan kristal. Kategori padatan utama lainnya disebut *amorf*, sementara padatan kristalin tertera dengan baik pada tingkat atom dengan setiap atom atau molekul menempati titik tertentu pada kisi, padatan *amorf* tidak teratur

pada tingkat atom dengan atom formasi yang sepenuhnya acak. Pertimbangan permainan catur. Papan yang disusun dengan hati-hati dengan padatan kristal, sedangkan padatan *amorf* dapat dipresentasikan sebagai potongan checker yang tersebar acak diseluruh papan.

Dalam padat nonkristal adalah molekul-molekul yang disusun secara acak, jadi gaya-gaya pada satu molekul yang berbeda dari gaya-gaya yang lain. Kaca adalah contoh paling umum dari padat nonkristal. Secara kimia kaca susunan utamanya SiO_2 , sama dengan quartz. Secara fisika berbeda dari quartz itu sendiri, karena molekul-molekul ini disusun secara berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

- E. SMART, L. & A. MOORE, E. 2005. Solid state chemistry - an introduction, New York, US, CRC Taylor & Francis.
- KEENAN, KLEINFETER & P., W. A. H. 1996. Ilmu kimia untuk Universitas, Jakarta, Indonesia, Erlangga.
- KITTEL, C. 2004. Introduction to Solid State Physics, New York, US, John Wiley & Sons.
- Nazarudin. 2014. Introduction to Scanning Electron Microscopy and Transmission Electron Microscopy. Tesis. Universitas Jambi.
- Radiological & Environmental Management, Purdue University (07th September 2013). Scanning electron microscope.
- Setiabudi, A., R. Hardian dan A. Muzakir. 2012. Karakterisasi Material: Prinsip dan Aplikasinya dalam Penelitian Kimia. UPI Press: Bandung.
- Setianingsih, T. 2017. Mikroskop Electron Transmisi: Teori dan Aplikasinya Untuk Karakterisasi Material. UB Press: Malang.
- WEST, A. R. 1984. Solid State Chemistry and Its Applications, John Wiley and Sons. Ultraviolet Visible Spectroscopy.

BAB 3

UNIT CELL, SISTEM KRISTAL DAN SIMETRI

Oleh Yulianti Malik

3.1 Pendahuluan

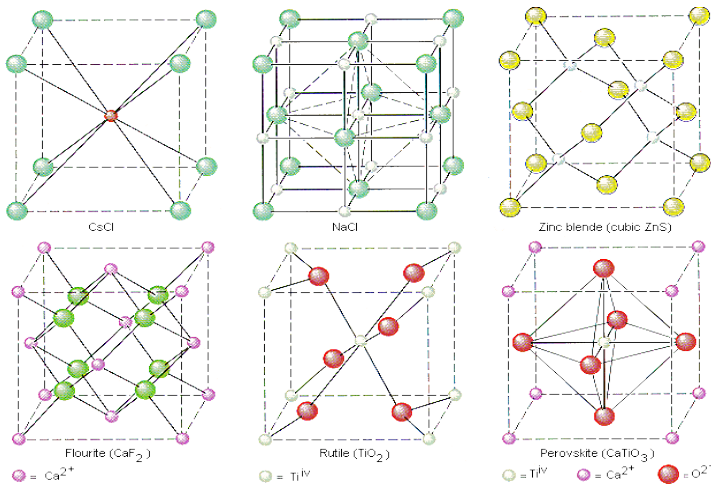
Kristal merupakan istilah yang sering kita dengar dalam kehidupan sehari-hari, yang dikenal sebagai benda yang bernilai magis dan juga bernilai ekonomi tinggi. Istilah kristal itu sendiri berasal dari bahasa Yunani yakni "kruos" yang berarti beku dan "stallein" yang berarti dingin, sehingga berdasarkan kata tersebut dapat didefinisikan bahwa kristal berarti membeku akibat proses pendinginan. Definisi lain perihal sebagaimana yang dikatakan dalam *The Dictionary of Geology* oleh (Berry, 1983) menyatakan bahwa kristal adalah bahan padat yang secara kimia homogen dengan bentuk geometri tetap, sebagai gambaran dari susunan atom yang teratur, dibatasi oleh bidang banyak (polihedron), dengan jumlah dan kedudukan bidang-bidang kristal tertentu dan teratur. (Mulyaningsih, 2018).

Kristalografi sendiri dapat membantu kita dalam memahami tentang ilmu material khususnya yang berkaitan dengan struktur material. Hal ini karena dalam perekayasaan material membutuhkan interaksi antara struktur, sifat dan juga proses pembuatan atau pembentukan material untuk menghasilkan material dengan performa tertentu. Sebagai salah satu sifat fisik material, tekstur kristalografi memiliki kaitan erat dengan struktur kristal serta teknik pemrosesan. Pembahasan tentang aspek struktur material perlu memperhatikan skala

ukuran mulai dari skala mikroskopik hingga skala makroskopik, seperti struktur atom, struktur kristal, butir, batas butir dan sebagainya. (Pramono & Bouffette, 2022)

3.2 Unit Cell

Struktur mikro material umumnya terdiri atas atom yang merupakan bagian terkecil dari material yang tidak dapat dibagi lagi dengan reaksi kimia biasa dan sel satuan atom yang satuan merupakan gabungan dari beberapa atom yang tersusun secara teratur dan berulang (Dr. Rahadian Zainul, 2021). Dengan kata lain *unit cell* atau sel satuan merupakan unit berulang paling sederhana dalam kristal. Setiap sel satuan didefinisikan dengan istilah titik-kisi, yakni titik dalam ruang di mana partikel bebas bergetar dalam kristal. Beberapa struktur sel satuan dapat ditunjukkan pada gambar bawah ini:



Gambar 3.1. Jenis-Jenis Sel Satuan (Bordner Research Web, n.d.)

Karakteristik dari unit sel kristal:

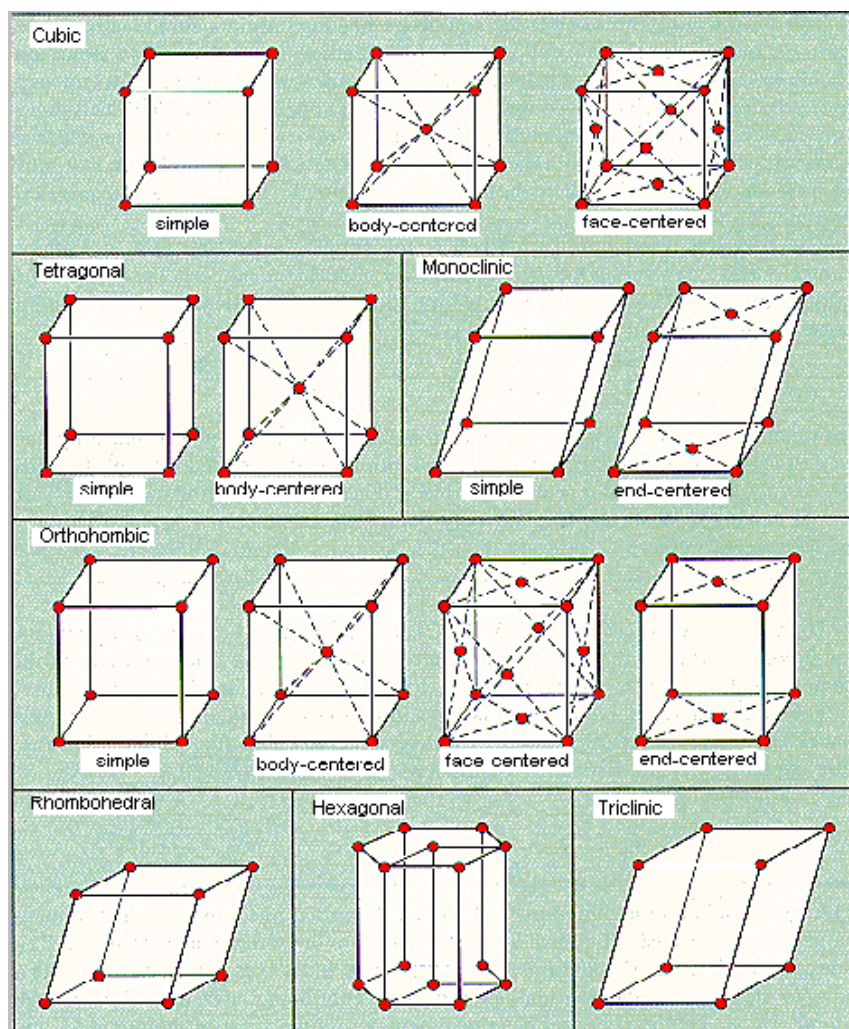
- a) Sel unit adalah unit berulang struktural terkecil dari sebuah padatan kristal
- b) Merupakan unit dasar kisi kristal yang memiliki semua sifat kristal
- c) Merupakan sel satuan adalah satuan dasar, oleh karena itu tidak dapat dibagi/dipecah lagi
- d) Sel unit adalah konsep sehingga tidak dapat diperoleh selama percobaan di laboratorium
- e) Merupakan properti mikroskopik

(Mira Meirawaty, 2021)

Pada tahun 1850, Auguste Bravais menunjukkan bahwa kristal dapat dibagi menjadi 14 unit sel, yang memenuhi kriteria sebagai berikut:

1. Sel satuan adalah unit berulang paling sederhana dalam kristal.
2. Sisi berlawanan dari sel satuan adalah paralel.
3. Tepi sel satuan menghubungkan titik-titik yang setara.

Terdapat 14 jenis sel satuan Bravais yang ditunjukkan pada gambar berikut:



Gambar 3.2. Beberapa jenis dan bentuk/pola dari sel satuan Bravais (Bordner Research Web, n.d.)

Satu sel satuan mengandung semua informasi structural mengenai kristal tersebut. Hal ini karena, pada dasarnya suatu kristal terbentuk atau dibangun dengan banyaknya sel satuan

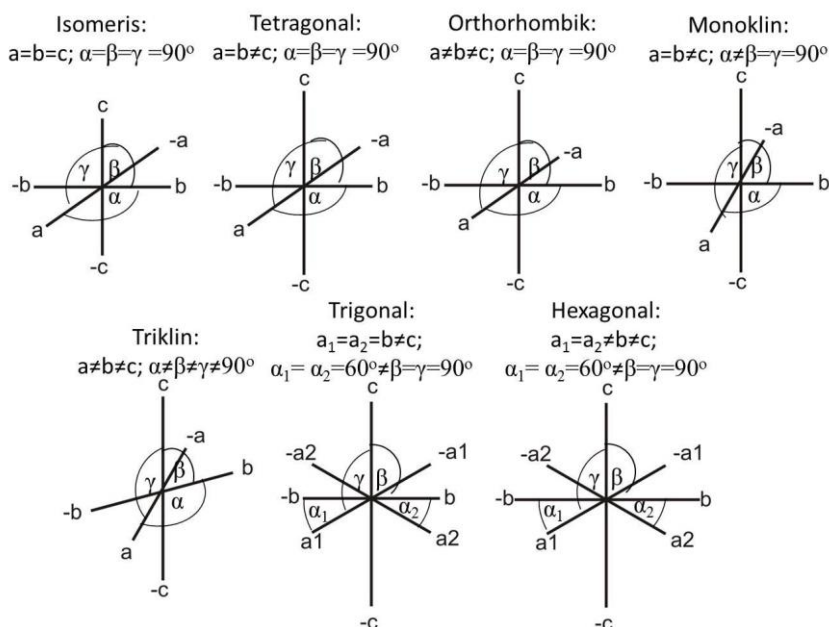
yang membuat banyak salinan sel satuan tunggal (berulang) dan menumpuk. Dalam susunan kristal tersebut juga terdapat kisi kristal, yakni susunan tiga dimensi yang terdiri dari semua titik di dalam kristal, yang memiliki orientasi dan lingkungan yang sama. (Oxtoby, Gillis, & Nachtrieb, 2003)

3.3 Sistem Kristal

Setiap mineral memiliki struktur kristal yang berbeda sehingga memberikan penampakan yang berbeda satu dengan yang lainnya. Struktur kristal kemudian dibedakan dalam setiap kelas kristal yang merupakan salah satu bagian dari enam sistem kristal. Sistem kristal tersebut meliputi sistem kristal isometrik, heksagonal, tetragonal, ortorombik, monoklinik, dan triklinik. Sistem kristal heksagonal selanjutnya dipecah menjadi divisi heksagonal dan rombohedral (trigonal). Setiap kelas kristal yang termasuk dalam sistem kristal tertentu akan berbagi unsur simetri karakteristik dengan anggota sistemnya yang lain. Dasar lain untuk membedakan sistem kristal yang satu dengan yang lainnya selain dengan unsur simetrinya adalah dengan melihat sistem sumbunya, dikarenakan kristal adalah bangun tiga dimensi maka akan memiliki beberapa garis imajiner yang biasa disebut dengan sumbu/poros kristal. (Mira Meirawaty, 2021)

Sistem kristal dapat digolongkan berdasarkan (a) jumlah sumbu kristal, (b) letak sumbu kristal yang satu terhadap yang lain dan sudut yang dibentuk oleh sumbu-sumbu kristal tersebut, dan (c) parameter yang digunakan untuk masing-masing sifat sumbu kristal. Sumbu kristal adalah garis bayangan lurus yang menghubungkan dan menembus muka/bidang muka kristal, melalui pusat kristal. Semua sumbu kristal tersebut selalu melalui dan bertemu di pusat kristal. Garis-garis bayangan dari masing-masing sumbu kristal tersebut berkedudukan tertentu membentuk sudut sumbu kristal. Sudut sumbu kristal kita beri

notasi α , β dan γ . Sudut α dibentuk oleh sumbu b dan c , sudut β dibentuk oleh sumbu b dan a dan sumbu γ dibentuk oleh sumbu a dan c . Dalam sistem kristalografi, juga diketahui ada sistem kristal yang memiliki empat sumbu kristal, yaitu trigonal dan hexagonal; serta ada sumbu-sumbu kristal yang kedudukannya tidak saling tegak lurus, yaitu monoklin dan triklin.

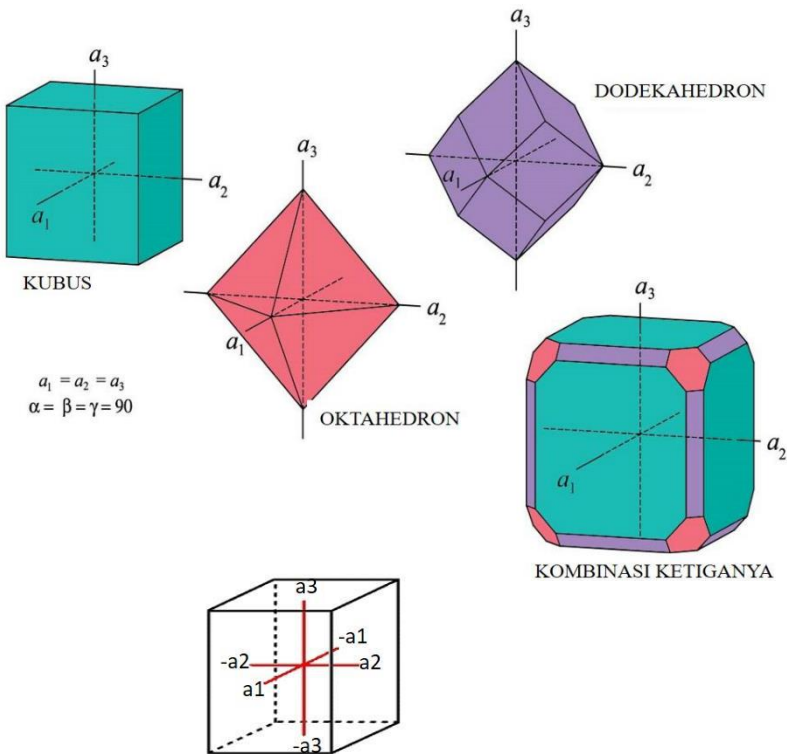


Gambar 3.3. Jumlah dan kedudukan sumbu-sumbu kristal dalam sistem kristal (Mulyaningsih, 2018)

Didasarkan pada jumlah, letak dan kedudukan sumbu kristal, nilai vektor dan parameterparameter penentu yang lain, ada tujuh sistem kristal dalam sistem kristalografi, yaitu isometris, tetragonal, ortorombik, trigonal, heksagonal, monoklin, dan triklin.

3.3.1 Isometri

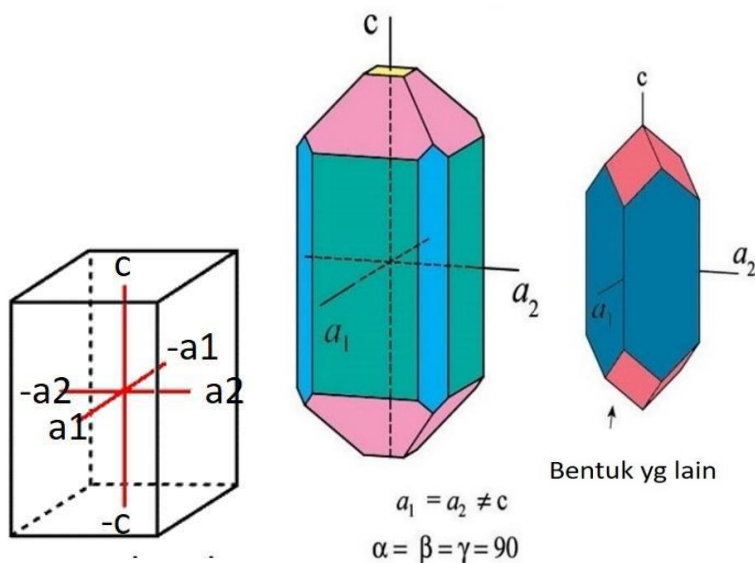
Sistem kristal isometrik juga dikenal sebagai sistem kubik. Sumbu kristalografi yang digunakan dalam sistem ini memiliki panjang yang sama dan saling tegak lurus saling membentuk sudut siku-siku satu sama lain. Contoh mineral yang mengkristal dalam sistem isometrik adalah halit, magnetit, dan garnet. (Mira Meirawaty, 2021). Ilustrasi sistem kristal isometris dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 3.4. Bentuk-bentuk kristal pada sistem isometris dan cara penggambarannya (Mulyaningsih, 2018)

3.3.2. Tetragonal

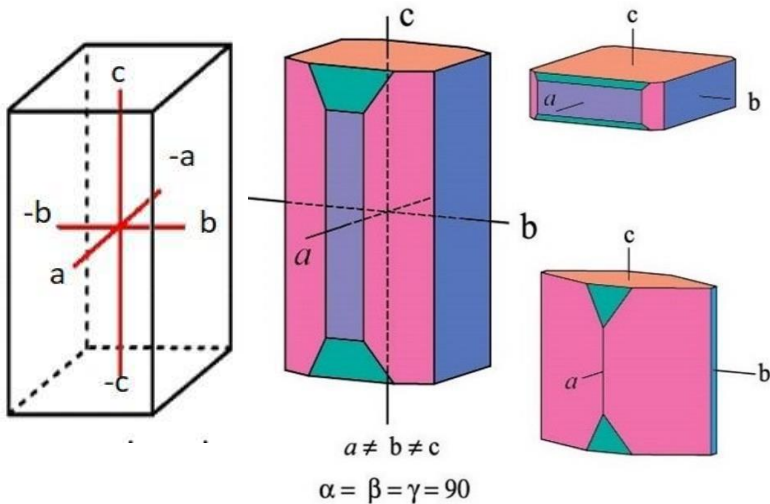
Sistem kristal tetragonal memiliki tiga sumbu utama yang saling tegak lurus. Kedua sumbu horizontal memiliki panjang yang sama, sedangkan sumbu vertikal memiliki panjang yang berbeda dan dapat lebih pendek atau lebih panjang dari dua sumbu lainnya (Mira Meirawaty, 2021). Contoh mineral yang memiliki bentuk kristal tetragonal adalah kalkopirit (atau tembaga-besi sulfida), anatase, zirkon, leusit, rutil, krisobalit, wulfenit, skapolit, kasiterit, stannit, dan cahnit. Sistem Tetragonal dibagi menjadi 7 kelas, yaitu ditetragonal dipiramidal, tetragonal trapezohedral, ditetragonal piramidal, tetragonal skalenohedral, tetragonal dipiramidal, tetragonal dispenoidal dan tetragonal piramidal.



Gambar 3.5. Bentuk kristal dan penggambaran sistem kristal tetragonal (Mulyaningsih, 2018)

3.3.3. Ortorombik

Mineral dari sistem kristal ortorombik memiliki tiga sumbu utama yang saling tegak lurus, yang masing-masing memiliki panjang yang berbeda satu dengan yang lainnya. (Mira Meirawaty, 2021). Sistem kristal ortorombik memiliki 3 sumbu utama, yang masing-masing sumbu saling tegak lurus, dan semua sumbunya tidak sama panjang. Karena ketiga sumbunya tidak sama panjang, maka kita sebut saja sumbu $a \neq$ sumbu $b \neq$ sumbu c , dengan $\alpha = \beta = \gamma = 90$. Sistem kristal ortorombik memiliki 3



(tiga) kelas kristal, yaitu piramidal, disphenoidal dan dipiramidal.

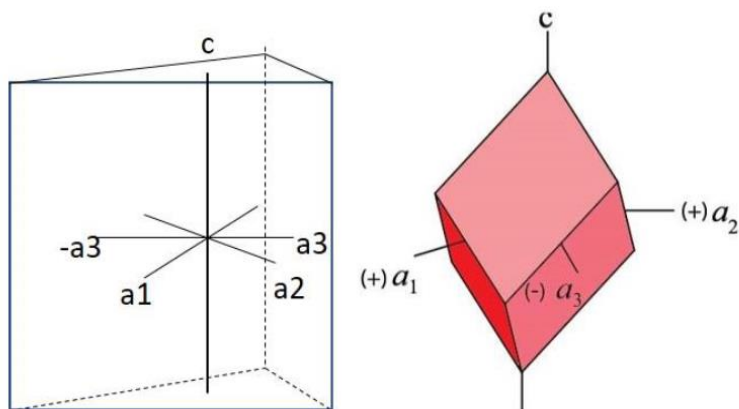
Gambar 3.6. Bentuk kristal dan penggambaran sistem kristal ortorombik (Mulyaningsih, 2018)

3.3.4. Trigonal

Trigonal memiliki 4 titik perpotongan sumbu, dengan 4 sumbu kristal, sumbu-sumbu yang menghubungkan bidang-bidang vertikal disebut sebagai a_1 , a_2 dan a_3 , terletak secara horizontal; masing-masing memiliki panjang dan sudut yang

sama. Sumbu panjangnya bersusunan secara vertikal kita sebut sebagai sumbu c . Perpotongan simetri antara sumbu a_1 , a_2 dan a_3 membentuk sudut 120° , sedangkan perpotongan antara sumbu horizontal dengan sumbu vertikalnya membentuk sudut 90° (tegak lurus). Turunan sistem kristal trigonal bahkan termasuk ke dalam system kristal hexagonal.

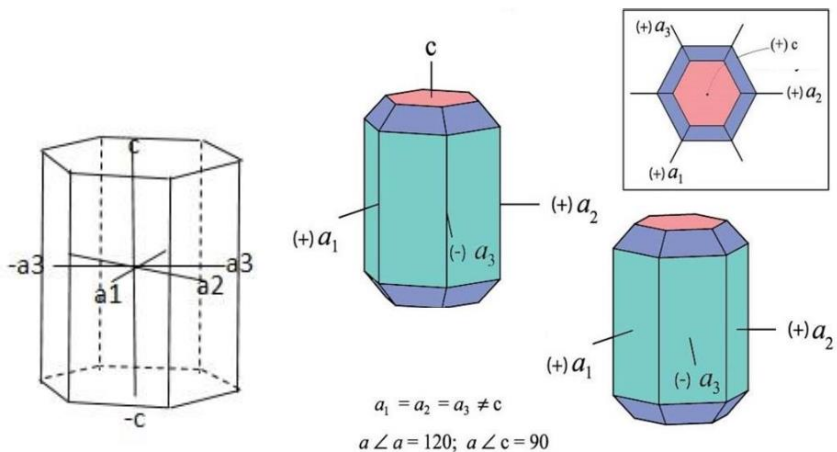
Sistem kristal trigonal harus digambarkan dengan perbandingan sumbu $a_1:a_2:a_3:c$ adalah $1,5 : 1,5 : 2 : 3$. Artinya, pada sumbu $a_1=a_2$ ditarik garis dengan nilai 1,5, pada sumbu a_3 ditarik garis dengan nilai 2, dan sumbu c ditarik garis dengan nilai 3 (nilai bukan patokan, hanya perbandingan). Sudut antara a_1 dengan $-a_3 = 15^\circ$, sudut antara a_2 dengan $a_3 = 15^\circ$, sudut antara sumbu a_3 dengan $c = 90^\circ$, sudut antara c dengan a_1 dan c dengan $a_2 = 105^\circ$. Sistem kristal ini terbagi dalam 5 kelas, yaitu piramidal, rhombohedral, ditrigonal piramidal, trapezohedral dan hexagonal skalenohedral. Contoh mineral dengan sistem kristal trigonal adalah tourmaline dan cinabar. (Mulyaningsih, 2018)



Gambar 3.7. Bentuk kristal dan penggambaran sistem kristal trigonal (Mulyaningsih, 2018)

3.3.5. Hexagonal

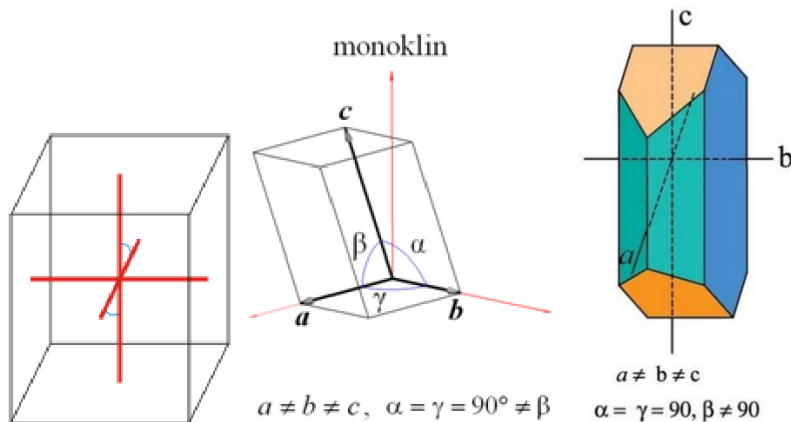
Sistem hexagonal sekilas nampak seperti sistem kristal trigonal sehingga, bedanya dengan trigonal karena memiliki 6 bidang kristal secara vertikal, sedangkan trigonal memiliki 3 bidang kristal. Sistem kristal heksagonal mencakup pula kelas-kelas yang mencerminkan kelas system kristal trigonal, dengan enam sisi bidang kristal. Sifat simetri dan penggambaran sistem kristal heksagonal dan trigonal tidak sama dengan lima sistem kristal yang lain; keduanya memiliki 4 titik perpotongan sumbu, sedangkan yang lain memiliki tiga titik perpotongan sumbu. Sumbu-sumbu kristalnya (sebagai sumbu a_1 , a_2 , a_3 dan c). Perpotongannya simetri antar sumbu positif membentuk sudut 120° . Sistem kristal hexagonal memiliki perbandingan sumbu $a_1:a_2:a_3:c = 1,5 : 1,5 : 2 : 3$. Sudut antara a_1 dengan $-a_3 = 120^\circ$, sudut antara a_2 dengan $-a_3 = 120^\circ$, sudut antara sumbu a_3 dengan $c = 90^\circ$, sudut antara c dengan a_1 dan c dengan $a_2 = 115^\circ$. Contoh mineral dengan sistem kristal hexagonal adalah kuarsa, korundum, hematit, kalsit, dolomit, apatit.



Gambar 3.8. Bentuk kristal dan penggambaran sistem kristal hexagonal (Mulyaningsih, 2018)

3.3.6. Monoklinik

Kristal dari sistem monoklinik memiliki tiga sumbu utama yang tidak sama panjang. Dua dari sumbu ini miring satu sama lain pada sudut miring; ini biasanya digambarkan secara vertikal. Sumbu ketiga tegak lurus dengan dua lainnya. Oleh karena itu, kedua sumbu vertical tidak saling berpotongan pada sudut siku-siku, meskipun keduanya tegak lurus dengan sumbu horizontal. Mineral yang mengikuti sistem kristal monoklinik diantaranya piroksen, amfibol, ortoklas, azurit, dan malachite. Mineral pada sistem monoklinik cenderung menghasilkan prisma yang panjang. (Mira Meirawaty, 2021)



Gambar 3.9. Bentuk kristal dan penggambaran sistem kristal monoklin (Mulyaningsih, 2018)

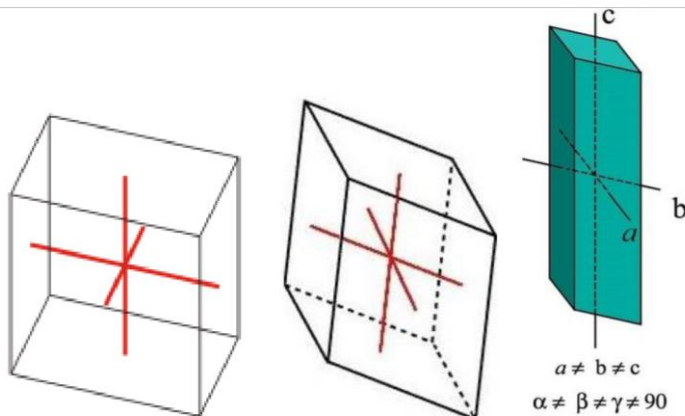
Sistem Monoklin dibagi menjadi 3 kelas:

- 1) Sfenoidal, kelas ke-4 dengan sifat simetri kristal 2 memiliki 1 sumbu putar
- 2) Kubah, kelas ke 3 dengan sifat simetri m dan memiliki 1 bidang simetri

- 3) Prisma, kelas ke 5 dengan sifat simetri $2/m$, memiliki sifat simetri 1 sumbu putar dua dengan satu bidang simetri yang berpotongan tegak lurus (Mulyaningsih, 2018)

3.3.7. Triklin

Sistem ini mempunyai 3 sumbu simetri yang satu dengan yang lainnya tidak saling tegak lurus dan panjang masing-masing sumbu tidak sama. Pada kondisi sebenarnya, sistem kristal triklin memiliki axial ratio (perbandingan sumbu) $a \neq b \neq c$, sudut kristalografi $\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$ sudut α , β dan γ tidak saling tegak lurus satu dengan yang lainnya. Penggambarannya menggunakan perbandingan sumbu $a : b : c = \text{sembarang}$, artinya tidak ada patokan. Sistem ini dibagi menjadi 2 kelas, yaitu pedial dan pinakoidal. Sistem kristalnya adalah 1 atau 1bar, yang artinya hanya memiliki 1 pusat simetri. Contoh mineral adalah albit, anorthit, labradorit, kaolinit, mikroklin dan anortoklas, kyanit, oligoklas, todonit, pherthite, pectolit, amblygonite (Mulyaningsih, 2018)

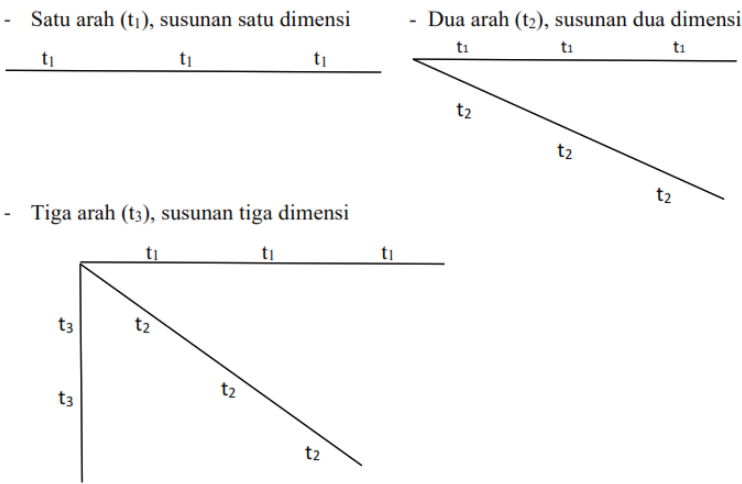


Gambar 3.10. Bentuk kristal dan penggambaran sistem kristal triklin (Mulyaningsih, 2018)

3.4 Simetri Kristal

Sebuah kristal memiliki struktur internal, yang terdiri dari susunan atom dan tersusun secara teratur dan berulang. Konsep simetri ini menggambarkan pengulangan sifat struktural dari sebuah kristal. Oleh karena itu, kristal memiliki kesimetrian (Mira Meirawaty, 2021). Pada kristalografi, simetri dipandang sebagai pergerakan semu dari sebuah benda yang meliputi pergerakan rotasi dan translasi. Pergerakan semu tersebut dikenal sebagai operasi simetri (simetri (*symmetry operation*)) dan lokasi dimana operasi simetri tersebut terjadi disebut sebagai elemen simetri (disebut sebagai elemen simetri (*symmetry elements*)) (Pramono & Bouffette, 2022).

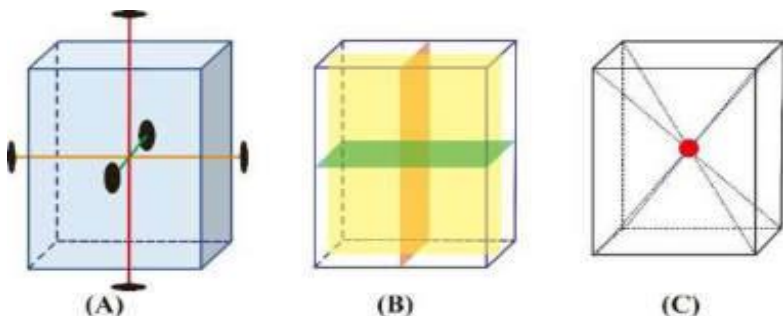
Simetri translasi dapat terjadi dengan:



Gambar 3.11. Simetri Translasi

Simetri translasi menggambarkan pengulangan motif secara berkala dengan cara menggeser motif tersebut kesatu arah dengan melalui panjang atau melalui suatu area atau volume dengan jarak yang sama. Simetri titik (rotasi), yakni simetri yang menggambarkan pengulangan motif secara berkala di sekitar

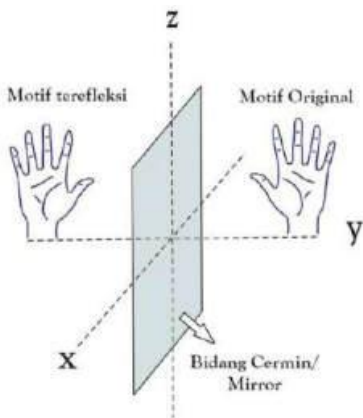
titik pusat kristal. Pola geometri titik/simetri titik meliputi refleksi, rotasi, inversi, dan rotoinversi (Mira Meirawaty, 2021). Unsur-unsur simetri suatu kristal dapat dibedakan atas 3 yaitu bidang simetri (m), sumbu simetri (n), dan titik simetri atau pusat simetri (i). *Sumbu simetri* merupakan sumbu kristal dimana bila kristal diputar dengan besaran derajat tertentu pada sumbu tersebut, maka akan memberikan bentuk yang sama seperti sebelum dilakukan pemutaran. Kristal juga bisa diputar dengan sudut 360° , 180° , 120° , 90° , dan 60° . *Bidang simetri* merupakan bidang pencerminan adalah bidang yang menembus titik pusat kristal dan membagi dua bagian yang sama, dimana bagian yang satu merupakan pencerminan dari bagian yang lain. Bidang simetri dapat dibedakan menjadi *bidang simetri pokok* (axial) menunjukkan bidang yang melalui dua sumbu utama pada kristal, dan *bidang simetri intermedier* yaitu bidang simetri yang hanya melalui sebuah sumbu utama kristal. *Titik simetri* atau pusat simetri merupakan suatu titik pusat kristal melalui suatu garis yang dapat digambarkan sedemikian rupa sehingga pada sisi yang satu dengan yang lain pada jarak yang sama terdapat gambaran yang sama. Titik ini biasanya berimpit dengan titik pusat kristal.



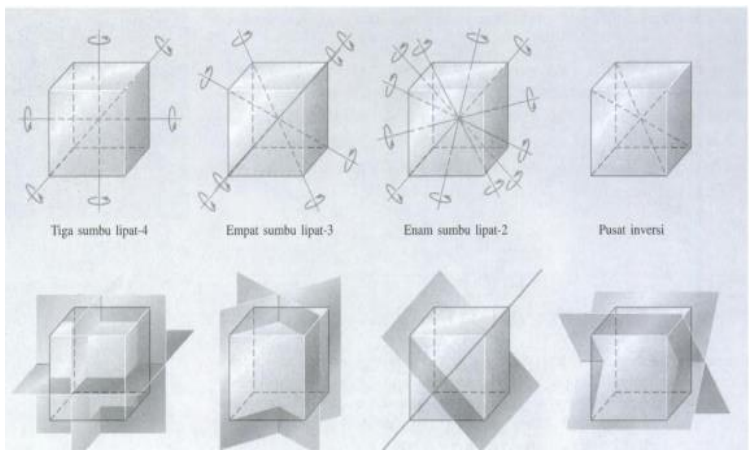
Gambar 3.12. Sumbu Simetri (A), Bidang Simetri (B) dan Titik Simetri (C) (Mira Meirawaty, 2021)

3.4.1. Refleksi

Refleksi terjadi ketika kenampakan sebuah kristal di satu sisi bidang dan melewati pusat kristal yang merupakan bayangan di depan cermin yang merupakan kenampakan kristal di sisi lain. Bidang cermin/mirror merupakan bidang di mana refleksi terjadi. Motif ini dipantulkan pada bidang cermin yang membelah kristal.



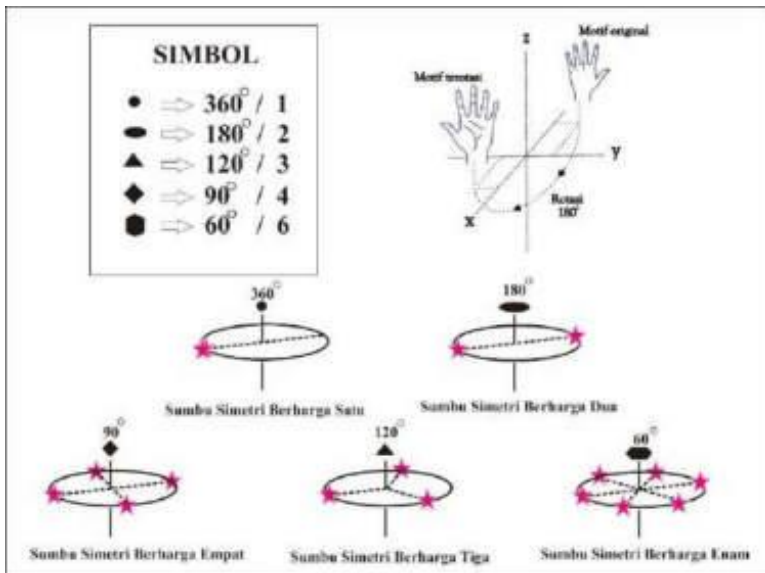
Gambar 3.13. Pola Geometri Refleksi (Mira Meirawaty, 2021)



Gambar 3.13. Sembilan Bidang Cermin (Oxtoby, Gillis, & Nachtrieb, 2003)

3.4.2. Rotasi

Simetri rotasi muncul ketika elemen struktur diputar dalam besaran derajat tertentu di sekitar titik pusat sebelum pola geometrinya berulang. Sebagai contoh, sebuah bujur sangkar memiliki sumbu simetri putar 4 karena kristal tersebut dapat diputar empat kali dengan sudut sebesar 90° , setiap kali diputar 90° , maka akan menghasilkan bidang permukaan berupa persegi yang sama sebanyak empat kali. Harga sumbu simetri dimulai dari 1, 2, 3, 4 dan 6. Simbol untuk harga simetri satu adalah titik/lingkaran. Harga simetri dua adalah bulat lonjong, tiga berupa segitiga, empat berupa segi empat dan enam berupa segienam.

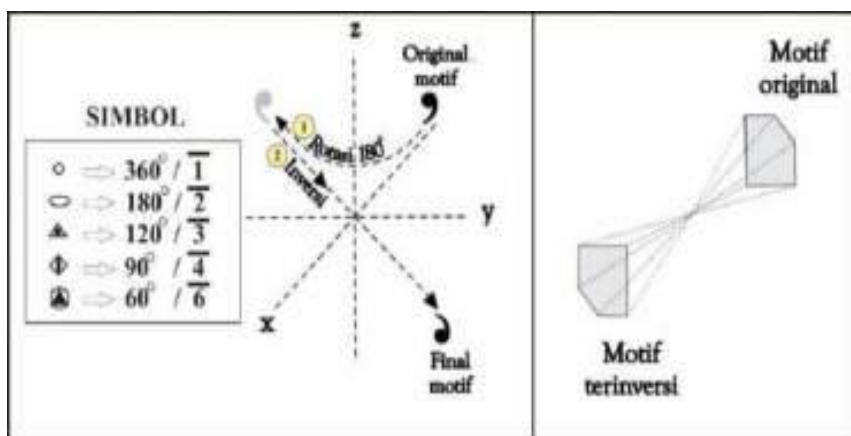


Gambar 3.14. Pola Geometri Rotasi (Mira Meirawaty, 2021)

3.4.3. Roto Inversi

Rotoinversi merupakan operasi simetri gabungan yang dihasilkan dengan melakukan rotasi diikuti dengan inversi. Jika kristal memiliki simetri inversi, maka setiap garis yang ditarik

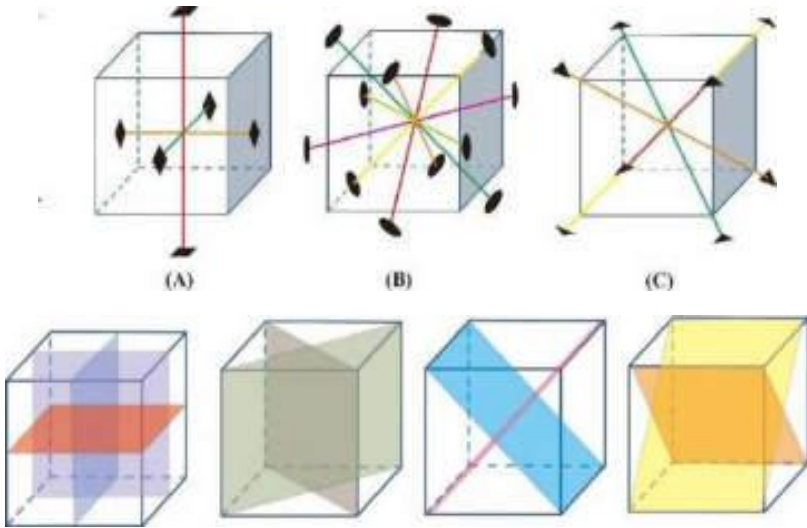
melalui pusat kristal akan menghubungkan dua bidang/wajah kristal identik di sisi yang berlawanan (diputarbalikan secara vertikal sebesar 180°) dan jenis simetri/ pola geometri. rotoinversi ini dapat dijelaskan secara bergantian oleh serangkaian operasi rotasi, refleksi dan inversi yang ditentukan. Rotoinversi sumbu putar 1, setara dengan rotasi 360° diikuti dengan inversi, yang setara dengan satu inversi. Sumbu rotoinversi putar dua, setara dengan refleksi melalui bidang cermin yang tegak lurus dengan sumbu rotoinversinya. Kristal yang memiliki sumbu rotoinversi putar tiga, setara dengan kristal yang memiliki simetri rotasi putar tiga, dan simetri inversi. Rotoinversi sumbu putar enam, setara dengan rotasi sumbu putar tiga, dan refleksi melintasi bidang cermin yang terletak pada sudut kanan sumbu rotasi. Satu-satunya operasi rotoinversi yang tidak dapat digantikan oleh kombinasi rotasi, refleksi dan inversi adalah rotoinversi sumbu putar empat.



Gambar 3.15. Pola Geometri Rotoinversi Putar dua (Mira Meirawaty, 2021)

Semua sistem kristal juga memiliki unsur simetrinya masing-masing. Kristal sistem isometrik memiliki tiga sumbu simetri putar empat, empat sumbu simetri putar 3, yang masing-masing bergerak secara diagonal dari sudut ke sudut

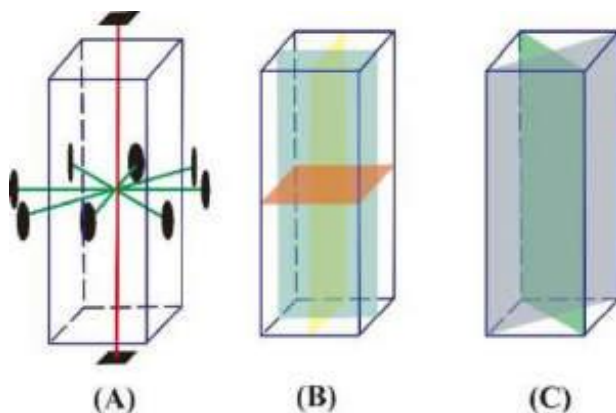
melalui pusat sel unit kristal. Kristal dari sistem isometrik juga memiliki enam sumbu simetri putar dua yang membentang dari bagian tengah setiap tepi kristal melalui titik pusat ke bagian tengah pada tepi kristal yang berlawanan. Mineral dari sistem ini memiliki sembilan bidang simetri yang berbeda.



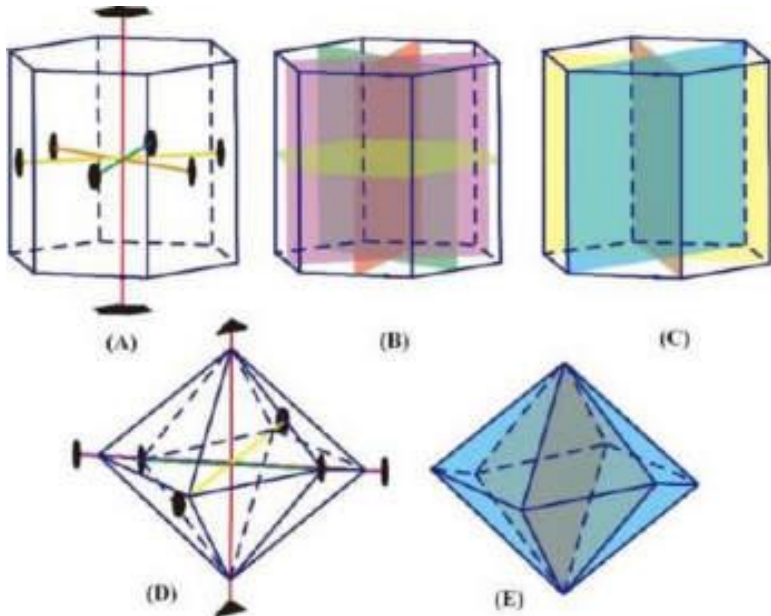
Gambar 3.16. (A) Sumbu Simetri Sistem Kristal Isometrik
(B) Bidang Simetri Sistem Kristal Isometri (Mira Meirawaty, 2021)

Sistem tetragonal memiliki satu sumbu simetri putar 4, juga memiliki empat sumbu simetri putar 2, pusat inversi, dan hingga memiliki lima bidang simetri. Sistem kristal heksagonal dibagi menjadi divisi heksagonal dan trigonal. Semua kristal dari divisi heksagonal memiliki satu sumbu simetri putar 6 dan memiliki hingga enam sumbu simetri putar 2. Sistem ini juga menunjukkan pusat simetri inversi dan memiliki tujuh bidang simetri. Kristal dari divisi trigonal semuanya memiliki satu sumbu simetri putar 3 dan memiliki hingga tiga sumbu simetri putar 2 dan dapat menunjukkan pusat inversi dan hingga tiga bidang simetri.

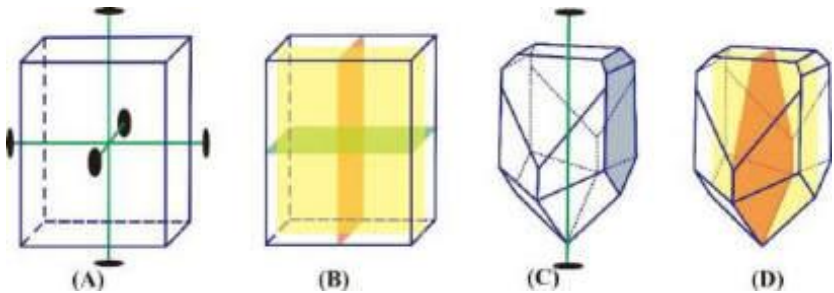
Kristal sistem ortorombik secara umum memiliki tiga sumbu simetri putar 2 dan atau tiga bidang cermin. Kelas holomorfik menunjukkan tiga sumbu simetri putar 2 dan tiga bidang cermin serta pusat inversi. Kelas lain mungkin menunjukkan dua sumbu simetri putar dua atau satu sumbu simetri putar 2 dan dua bidang simetri. Spesies yang termasuk dalam sistem ortorombik adalah olivin dan barit. Kristal dari sistem ini cenderung berbentuk prismatic, tabular, atau acicular. sistem kristal monoklinik memiliki satu sumbu simetri putar 2 dan/atau satu bidang simetri. Kelas holomorfik memiliki satu sumbu simetri putar 2, bidang simetri, dan pusat simetri. Kelas lain hanya menampilkan sumbu simetri putar 2 atau hanya memiliki bidang simetri. Kristal dengan sistem triklinik dapat dikatakan hanya memiliki satu sumbu simetri putar 1, yang setara dengan tidak memiliki simetri sama sekali. Kristal sistem ini tidak memiliki bidang simetri. Kelas holomorfik menunjukkan pusat simetri inversi.



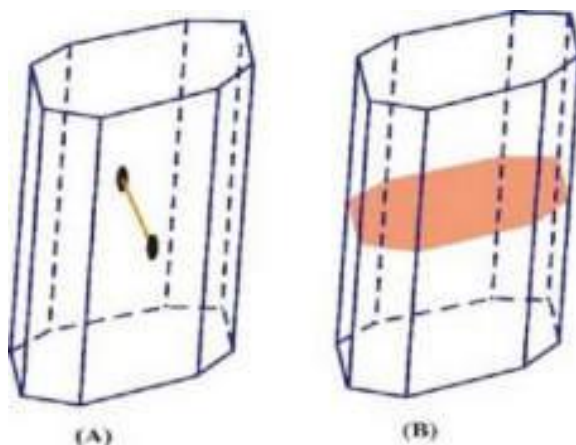
Gambar 3.17. Sumbu simetri (A) dan Bidang Simetri (B&C)
Sistem Kristal Tetragonal (Mira Meirawaty, 2021)



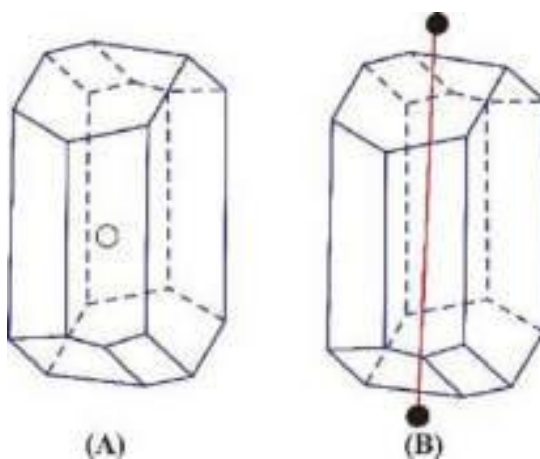
Gambar 3.18. Sumbu Simetri Sistem Kristal Heksagonal (A)& Trigonal (D) serta Bidang Simetri Heksagonal (B&C) & Trigonal (E) (Mira Meirawaty, 2021)



Gambar 3.18. Sumbu simetri (A & C) dan Bidang Simetri (B&D) Sistem Kristal Ortorombik (Mira Meirawaty, 2021)



Gambar 3.19. Sumbu simetri (A) dan Bidang Simetri (B) Sistem Kristal Monoklinik (Mira Meirawaty, 2021)



Gambar 3.20. Sumbu simetri (A) dan Bidang Simetri (B) Sistem Kristal Triklinik

DAFTAR PUSTAKA

- Bordner Research Web.* (n.d.). Retrieved from <https://chemed.chem.purdue.edu/genchem/topicreview/bp/ch13/unitcell.php>.
- Dr. Rahadian Zainul, S. M. (2021). *Kimia Material*. Padang: Berkah Prima.
- Mira Meirawaty, R. D. (2021). *Mineralogi*. Banyumas: CV. ZT Corpora.
- Mulyaningsih, S. (2018). *Kristalografi dan Mineralogi*. Yogyakarta: Akprind Press.
- Oxtoby, D. W., Gillis, H., & Nachtrieb, N. H. (2003). *Prinsip-Prinsip Kimia Modern Edisi IV Jilid 2*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Pramono, A. W., & Bouffette, J. (2022). *Pengantar Tekstur Kristalografi: Teori dan Aplikasi*. Jakarta: LIPI Press.

BAB 4

LATTICE DAN INDEKS MILLER

Oleh Aliyah Fahmi

4.1 Pendahuluan

Dalam mineralogi dan kristalografi, struktur kristal adalah suatu susunan khas atom-atom dalam suatu kristal. Suatu struktur kristal dibangun oleh sel unit, sekumpulan atom yang tersusun secara khusus, yang secara periodik berulang dalam tiga dimensi dalam suatu lattice (kisi). Spasi antar sel unit dalam segala arah disebut parameter lattice (kisi). Sifat simetri kristalnya terwadahi dalam gugus spasinya. Struktur dan simetri berperan penting dalam menentukan sifat-sifatnya, seperti sifat pembelahan, struktur pita listrik, dan optiknya.

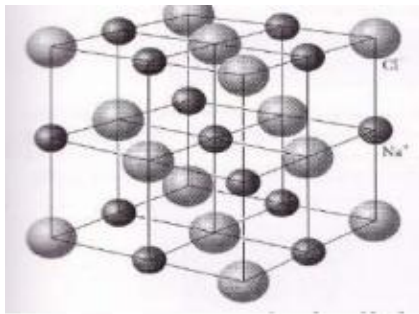
Satu sel unit adalah susunan spatial atom-atom yang mengekor secara tiga dimensi untuk menggambarkan kristalnya. Posisi atom dalam sel unit digambarkan sebagai unit asimetri atau basis, sekumpulan posisi atom yang diukur dari suatu titik lattice (kisi).

Setiap struktur kristal memiliki sel unit konvensional yang biasanya dipilih agar lattice (kisi) yang dihasilkan sesimetris mungkin. Meski begitu, sel unit konvensional tidak selalu pilihan terkecil yang mungkin. Suatu sel unit primitif dari suatu struktur kristal merupakan sel unit terkecil yang mungkin yang dapat dibangun, sehingga, ketika disusun, akan mengisi spasi/ruang secara sempurna. Sel Wigner-Seitz adalah suatu sel primitif khas yang memiliki simetri yang sama dengan lattice (kisi).

Sebagai contoh, struktur Natrium klorida, NaCl adalah sebagaimana diperlihatkan dikonstruksi oleh ion Na^+ dan Cl^- yang terletak berselang seling pada titik kisi dari kisi kubus. Dalam kristal setiap ion dikelilingi oleh enam ion lain terdekat dengan muatan berlawanan. Ruang kisinya adalah FCC dan basisnya terdiri dari ion Cl^- pada 000 dan ion Na^+ pada $\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, \frac{1}{2}$. Pada setiap unit kubus terdapat empat unit NaCl dengan atom-atom pada posisi :

$\text{Cl} : 0\ 0\ 0; \frac{1}{2}\ \frac{1}{2}\ 0; \frac{1}{2}\ 0\ \frac{1}{2}; 0\ \frac{1}{2}\ \frac{1}{2}$

$\text{Na} : \frac{1}{2}\ \frac{1}{2}\ \frac{1}{2}; 0\ 0\ \frac{1}{2}; 0\ \frac{1}{2}\ 0; \frac{1}{2}\ 0\ 0$



Gambar 4.1. Struktur Natrium Klorida

Suatu kristal mempunyai bidang-bidang atom yang mempengaruhi sifat dan perilaku bahan. Kelompok bidang tergantung pada sistem kristal. Dua bidang atau lebih dapat tergolong dalam kelompok bidang yang sama. Indeks Miller adalah harga kebalikan dari parameter numerik yang dinyatakan dengan simbol (hkl).

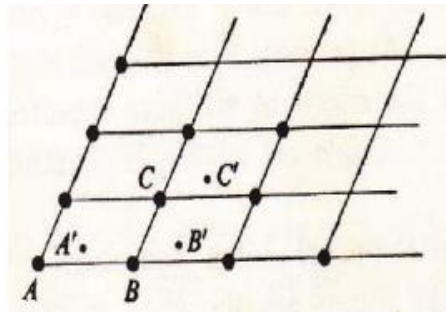
4.2 Lattice (kisi)

Sebagian besar materi zat padat adalah kristal dan elektron di dalamnya yang mulai dikembangkan pada awal abad ke 20, mengikuti penemuan difraksi sinar-x oleh kristal. Sebuah kristal

ideal disusun oleh satuan-satuan struktur yang identik secara berulang-ulang yang tak terhingga di dalam ruang. Semua struktur kristal dapat digambarkan dan dijelaskan dalam istilah-istilah lattice (kisi) dan sebuah basis yang ditempelkan pada setiap titik lattice (kisi).

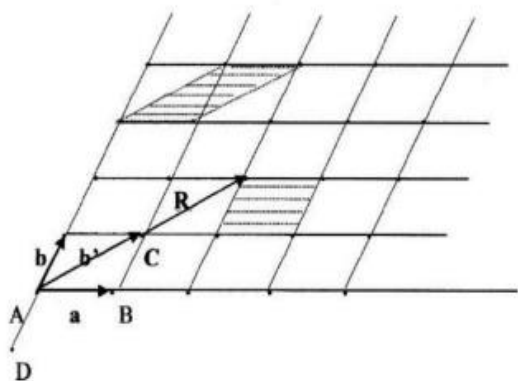
Lattice (kisi) adalah sebuah susunan titik yang teratur dan periodik di dalam ruang suatu abstraksi matematik. Struktur kristal merupakan suatu susunan khas atom-atom dalam suatu kristal. Suatu struktur kristal dibangun oleh sel unit, sekumpulan atom yang tersusun secara khusus, yang secara periodik berulang dalam tiga dimensi dalam suatu lattice (kisi). Spasi antar sel unit dalam segala arah disebut parameter lattice (kisi). Sifat simetri kristalnya terwadahi dalam gugus spasinya. Struktur dan simetri berperan penting dalam menentukan sifat-sifatnya, seperti sifat pembelahan, struktur pita listrik, dan optiknya.

Lattice (kisi) kristal terdiri dari lattice (kisi). Bravais dan non Bravais. Lattice (kisi) Bravais seluruh titik kisi adalah ekuivalen, oleh karenanya seluruh atom dalam kristal sama jenisnya. Sedangkan dalam lattice (kisi) non Bravais terdapat titik-titik kisi yang tidak ekuivalen. Seperti diperlihatkan pada Gambar 4.2, kisi tempat A, B, C adalah ekuivalen satu sama lain, sedangkan tempat A', B', C' juga ekuivalen satu sama lain. Tetapi dua tempat, A dan A' adalah titik ekuivalen. Atom pada A dapat sama atau tidak dengan atom pada A'. Misalnya dua atom H atau atom H dan Cl.



Gambar 4.2. Lattice (kisi) Bravais

Lattice (kisi) non-Bravais terkadang diungkapkan sebagai lattice (kisi) dengan basis.



Gambar 4.3. Vektor a dan b adalah vektor basis kisi. Vektor a dan b' membentuk satu set vektor basis yang lain. Daerah yang diarsir adalah satu unit sel untuk kedua basis

Lattice (kisi) non-Bravais terkadang diungkapkan sebagai kisi dengan basis. Pada Gambar 4.2, basisnya adalah A dan A' . Lattice (kisi) non-Bravais dapat dipandang sebagai kombinasi dari dua atau lebih lattice (kisi) Bravais dengan orientasi tertentu. Oleh karenanya, titik-titik A , B , C dan seterusnya membentuk lattice (kisi) Bravais, sedangkan titik-titik A' , B' , C' membentuk kisi Bravais yang lain. Struktur kristal real terbentuk bila atom-atom basis ditempatkan secara identik pada setiap titik kisi.

Relasi logikanya adalah

$$\text{Lattice (kisi)} + \text{Basis} = \text{Struktur Kristal}$$

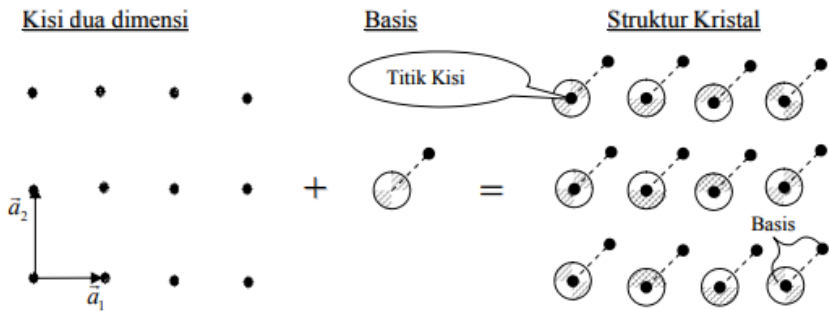
Setiap titik dalam kisi tiga dimensional dapat ditulis sebagai ujung dari vektor lattice (kisi). $R_n = n_1a + n_2b + n_3c$. a , b , dan c adalah vektor; n_1 , n_2 dan n_3 bilangan yang nilainya tergantung pada titik lattice (kisi) nya. Pada Gambar 4.3 menjelaskan tentang gambaran dua dimensi, titik asal berada pada titik kisi tertentu, A .

$$B, (n_1, n_2) = (1,0);$$

$$C, (n_1, n_2) = (1,1);$$

$$D, (n_1, n_2) = (0, -1).$$

Sebagai contoh yaitu keterkaitan antara lattice (Kisi) dua dimensi, basis dan struktur kristal dibawah ini.



Gambar 4.4. Keterkaitan antara lattice dua dimensi, basis dan struktur kristal

Jarak antar kisi dalam arah sumbu X = a_1 ρ Jarak antar kisi dalam arah sumbu Y = a_2 ρ . Jarak dari titik yang satu ke titik yang lain boleh sama atau berbeda, jika sama (dalam kisi dua dimensi) akan berbentuk bujur sangkar dan jika berbeda akan berbentuk 4 persegi panjang. Contoh : H_2O = 1 basis (ada 3 atom) H_2SO_4 = 1 basis (ada 7 atom)

Dalam mempelajari kristal, hanya sifat-sifat geometrinya yang lebih menarik daripada bentuk bangunan atom-atom tertentu yang ada dalam kristal. Karena itu sering diperjanjikan untuk mengabaikannya di dalam ruang, sebagai pengganti atom-atom dalam kristal digunakan kumpulan titik-titik yang diimanjinasikan mempunyai hubungan yang tetap di dalam ruang dan dapat dilihat seperti rupa kerangka dimana kristal yang sebenarnya dibentuk.

Susunan titik-titik tersebut dapat dibentuk sebagai berikut bayangkan ruangan dibagi atas tiga kumpulan bidang-bidang, bidang-bidang pada masing-masing set (kumpulan) sejajar dan sama jaraknya.

Pembagian dari ruangan ini akan menghasilkan suatu kumpulan sel-sel yang tiap-tiapnya identik ukurannya, bentuknya dan orientasinya terhadap tetangga terdekat. Setiap sel bentuknya belah ketupat, karena permukaan yang berhadapan sejajar dan masing-masing mukanya jajaran genjang. Bidang-bidang yang membagi ruangan ini akan berpotongan dan ini merupakan suatu kumpulan garis. Garis-garis ini akan berpotongan dan membentuk sekumpulan susunan titik-titik yang berkaitan.

Dalam ruang dua dimensi, terdapat 5 kisi Bravais, yang dikelompokkan dalam empat keluarga kristal. Hal itu dapat dilihat pada tabel berikut ini.

Tabel 4.1. Hubungan keluarga kristal dengan Lattice (kisi) Bravais

.Keluarga kristal	Schönflies	5 kisi Bravais	
		Primitif	Berpusat
Monoklinik	C ₂	Sadak	
Ortorombik	D ₂	Persegi panjang	Persegi panjang berpusat
Heksagonal	D ₆	Heksagonal	
Tetragonal	D ₄	Persegi	

Sel satuan ditentukan sesuai dengan panjang relatif tepi selnya (a dan b) serta sudut di antara keduanya (θ). Luas sel satuan dapat dihitung dengan menghitung $\mathbf{a} \times \mathbf{b}$, dengan $\mathbf{a}$ dan $\mathbf{b}$ adalah vektor kisi. Sifat-sifat keluarga kristal diberikan di bawah ini:

Tabel 4.2. Hubungan antara keluarga kristal, jarak sumbu dengan sudut sumbu

Keluarga kristal	Luas	Jarak sumbu (panjang tepi)	Sudut sumbu
Monoklinik		$a \neq b$	$\theta \neq 90^\circ$
Ortorombik		$a \neq b$	$\theta = 90^\circ$
Heksagonal		$a = b$	$\theta = 120^\circ$
Tetragonal		$a = b$	$\theta = 90^\circ$

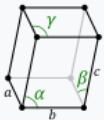
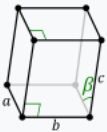
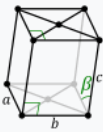
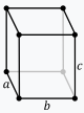
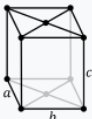
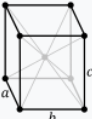
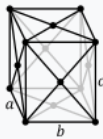
Sementara itu padaruang tiga dimensi, terdapat 14 Lattice (kisi) Bravais. Hal ini diperoleh dengan menggabungkan salah satu sistem kisi dengan salah satu tipe keterpusatan. Jenis keterpusatan mengidentifikasi lokasi titik kisi dalam sel satuan sebagai berikut:

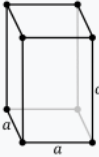
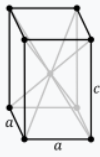
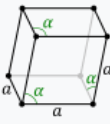
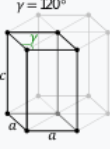
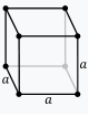
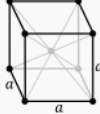
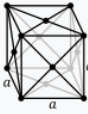
- Primitif (P): titik kisi di sudut sel saja (kadang disebut sederhana)
- Berpusat-dasar (A, B, atau C): titik kisi di sudut sel dengan satu titik tambahan di tengah setiap wajah sepasang muka paralel sel (kadang-kadang disebut berpusat-akhir)

- Berpusat-badan (I): titik kisi di sudut sel dengan satu titik tambahan di tengah sel
- Berpusat-muka (F): titik kisi di sudut sel dengan satu titik tambahan di tengah masing-masing muka sel.

Tidak semua kombinasi sistem kisi dan tipe keterpusatan diperlukan untuk menggambarkan semua kisi yang mungkin, karena dapat ditunjukkan bahwa beberapa di antaranya sebenarnya setara satu sama lain. Sebagai contoh, kisi monoklinik dapat digambarkan oleh kisi C monoklinik dengan pilihan sumbu kristal yang berbeda. Demikian pula, semua kisi yang berpusat-A atau -B dapat digambarkan baik oleh pemetaan berpusat-C atau -P. Hal ini mengurangi jumlah kombinasi menjadi 14 lattice (kisi) Bravais konvensional, yang ditunjukkan pada tabel di bawah ini.

Tabel 4.3. Hubungan antara keluarga kristal dan 14 kisi Bravais

Keluarga kristal	Sistem kisi	Schönflies	14 kisi Bravais			
			Primitif	Berpusat-dasar	Berpusat-badan	Berpusat-muka
triklinik		C_i				
monoklinik		C_{2h}				
ortorombik		D_{2h}				

Keluarga kristal	Sistem kisi	Schönflies	14 kisi Bravais			
			Primitif	Berpusat-dasar	Berpusat-badan	Berpusat-muka
tetragonal		D_{4h}				
heksagonal	Rombohedral	D_{3d}				
	Heksagonal	D_{6h}				
kubik		O_h				

Sel satuan ditentukan sesuai dengan panjang relatif tepi sel (a, b, c) dan sudut di antara ketiganya (α, β, γ). Volume sel satuan dapat dihitung dengan mengevaluasi perkalian ketiganya $\mathbf{a} \cdot (\mathbf{b} \times \mathbf{c})$, dengan $\mathbf{a}$, $\mathbf{b}$, dan $\mathbf{c}$ adalah vektor lattice (kisi) i. Sifat-sifat sistem lattice (kisi) diberikan di bawah ini:

Tabel 4.4. Hubungan antara keluarga kristal dengan jarak sumbu dan sudut sumbu.

Keluarga kristal	Sistem kisi	Volume	Jarak sumbu (panjang tepi)	Sudut sumbu	Contoh
Triklinik			(Semua kasus yang tersisa)		$\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, H_3BO_3
Monoklinik			$a \neq c$	$\alpha = \gamma = 90^\circ, \beta \neq 90^\circ$	Belerang monoklinik, $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$
Ortorombik			$a \neq b \neq c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	Belerang rombik, KNO_3 , BaSO_4
Tetragonal			$a = b \neq c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	Timah putih, SnO_2 , TiO_2 , CaSO_4
Heksagonal	Rombohedral		$a = b = c$	$\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$	Kalsit (CaCO_3), cinnabar (HgS)
	Heksagonal		$a = b$	$\alpha = \beta = 90^\circ, \gamma = 120^\circ$	Grafit, ZnO , CdS
Kubik			$a = b = c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	NaCl , sfalerit, logam tembaga

Dalam empat dimensi, terdapat 64 lattice (kisi) Bravais. Dari jumlah tersebut, 23 merupakan primitif dan 41 terpusat. Sepuluh kisi Bravais terpecah menjadi pasangan enansiomorfis.

Klasifikasi Lattice (kisi)

Lattice (kisi) diklasifikasikan sebagai berikut:

1. Kisi atom raksasa

Suatu kisi kristal yang terdiri dari atom yang saling berikatan dengan ikatan kovalen, misalnya, intan. Zat dengan kisi atomik raksasa sangat kuat serta mempunyai titik leleh dan didih yang sangat tinggi.

2. Kisi ion raksasa

Suatu kisi kristal yang terdiri dari ion yang terikat satu sama lain dengan ikatan ion, misalnya, natrium klorida. Ikatan ion sangat kuat, ini berarti zat akan mempunyai titik leleh dan titik didih yang tinggi.

3. Kisi logam raksasa

Suatu kisi kristal yang terdiri dari atom logam yang saling berikatan dengan ikatan logam, misalnya, zink. Elektron terdelokalisasi bebas bergerak, menjadikan logam penghantar listrik dan panas yang baik. Lapisan logam dapat saling melipat di atas yang lain, membuat logam dapat ditempa dan dapat ditarik.

4. Kisi molekular

Suatu kisi kristal yang terdiri dari molekul yang saling berikatan dengan gaya-gaya antarmolekul, misalnya, iodin. Gaya ini lemah, sehingga kristal mempunyai titik leleh dan didih yang rendah bila dibandingkan dengan senyawa ion dan dapat dengan mudah diputuskan. Ikatan kovalen di dalam molekulnya lebih kuat dan tidak terlalu mudah untuk diputuskan.

4.3 Indeks Miller

Indeks Miller membentuk sistem notasi dalam kristalografi untuk bidang kisi dalam kisi kristal (Bravais). Indeks Miller diperkenalkan pada tahun 1839 oleh ahli mineral Inggris William Hallowes Miller, meskipun sistem yang hampir identik (parameter Weiss) telah digunakan oleh ahli mineral Jerman Christian Samuel Weiss sejak 1817.[2] Metode ini juga secara historis dikenal sebagai sistem Millerian, dan indeksnya sebagai Millerian,[3] meskipun hal ini jarang terjadi.

Indeks Miller didefinisikan sehubungan dengan pilihan sel satuan apa pun dan tidak hanya sehubungan dengan vektor basis primitif, seperti yang kadang-kadang dinyatakan.

Ada dua cara yang setara untuk mendefinisikan arti dari indeks Miller:

1. melalui titik dalam kisi resiprokal
2. sebagai penyadapan invers sepanjang vektor kisi

Kedua definisi tersebut diberikan di bawah ini. Dalam kedua kasus, seseorang perlu memilih tiga vektor kisi a_1 , a_2 , dan a_3 yang menentukan sel satuan (perhatikan bahwa sel satuan konvensional mungkin lebih besar daripada sel primitif kisi Bravais, seperti contoh di bawah ini). Mengingat ini, tiga vektor kisi timbal balik primitif juga ditentukan (dilambangkan b_1 , b_2 , dan b_3).

Kemudian, mengingat tiga indeks Miller h , k , ℓ , (hkl) menunjukkan bidang ortogonal ke vektor kisi resiprokal:

$$\mathbf{g}_{hkl} = h\mathbf{b}_1 + k\mathbf{b}_2 + \ell\mathbf{b}_3.$$

Artinya, (hkl) hanya menunjukkan normal ke pesawat di dasar vektor kisi resiprokal primitif. Karena koordinat adalah bilangan bulat, normal ini sendiri selalu merupakan vektor kisi resiprokal. Persyaratan suku terendah berarti bahwa itu adalah vektor kisi resiprokal terpendek dalam arah yang diberikan.

Secara ekuivalen, (hkl) menunjukkan bidang yang memotong tiga titik a_1/h , a_2/k , dan a_3/ℓ , atau kelipatannya. Artinya, indeks Miller sebanding dengan kebalikan dari perpotongan bidang, berdasarkan vektor kisi. Jika salah satu indeks adalah nol, itu berarti bahwa bidang tidak memotong sumbu itu (perpotongannya adalah "di tak terhingga").

Mempertimbangkan hanya bidang (hkl) yang memotong satu atau lebih titik kisi (bidang kisi), jarak tegak lurus d antara bidang kisi yang berdekatan terkait dengan vektor kisi resiprokal (terpendek) ortogonal ke bidang dengan rumus:

$$d = 2\pi/|\mathbf{g}_{hkl}|.$$

Notasi terkait $[hkl]$ menunjukkan arah:

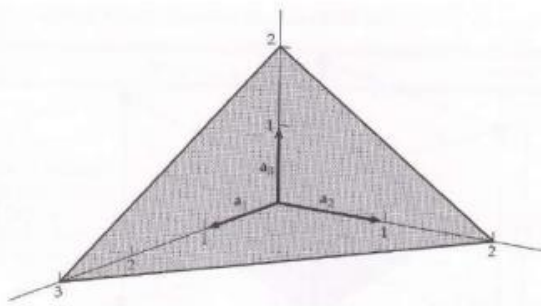
$$h\mathbf{a}_1 + k\mathbf{a}_2 + l\mathbf{a}_3$$

Melalui titik-titik kisi suatu kristal dapat dibentuk suatu bidang datar. Masing-masing bidang datar memiliki orientasi yang berbeda kecuali pada bidang yang sejajar orientasinya adalah identik. Untuk menentukan orientasi bidang tersebut digunakan sistem indeks yang dinamakan indeks Miller (hkl).

Cara menentukan indeks Miller:

1. Tentukan perpotongan bidang kristal dengan sumbu a , b dan c . Titik perpotongan pada a, b, c adalah $\frac{1}{4}$, $\frac{2}{3}$, $\frac{1}{2}$.
2. Tentukan bilangan resiprok (bilangan yang berbanding terbalik dengan nilai titik potong bidang dengan sumbu a, b, c). Titik potong : $\frac{1}{4}$, $\frac{2}{3}$, $\frac{1}{2}$. Bilangan resiprok : 4, $\frac{3}{2}$, 2.
3. Buatlah bilangan resiprok tersebut menjadi bilangan bulat terkecil. Bilangan resiprok : 4, $\frac{3}{2}$, 2. Bilangan bulat terkecil : 8, 3, 4. Maka Indeks Miller (hkl) = (834).

Perhatikan Gambar dibawah mengenai perpotongan pada vektor basis a , b , c dimana bidang ABC adalah pada $3a$, $2b$, $2c$.



Gambar 4.5. Bidang ABC : Indeks bidang (2 3 3) ; Bidang ADE : Indeks bidang (434) ; Bidang AD~ : Indeks bidang (4 3 0)

Resiprosks bilangan tersebut adalah $1/3, 1/2, 1/2$. Ini dapat dinyatakan dalam bentuk bilangan bulat dengan mengalikan ketiga bilangan tersebut dengan 6 sehingga diperoleh 2, 3, 3. Maka indeks bidang tersebut adalah $(h\ k\ l) = (2\ 3\ 3)$.

Indeks Miller secara matematis dapat diselesaikan : Tentukan perpotongan sepanjang sumbu vektor a, b, c dan andaikan perpotongan tersebut sebagai x, y, z masing-masing sebagai fraksi perkalian dari a, b dan c . dengan demikian kita dapatkan tiga fraksi : $c\ z\ b\ y\ a\ x, , (1.2)$ Cari kebalikan dari fraksi tersebut dan direduksi dengan suatu bilangan sehingga diperoleh bilangan bulat terkecil, yang dinyatakan sebagai indeks Miller (h, k, l) dengan Jika bidang memotong sumbu pada sisi negatif dengan titik asal, indeks Misalnya pada kasus di atas, $x = 3a, y = 2b, z = 2c$. kebalikan fraksionalnya adalah $z\ c\ l\ n\ y\ b\ k\ n\ x\ a\ h = n, = , (1.3)$

Jarak antara bidang dengan indeks Miller yang sama, $(h\ k\ l)$ dapat dinyatakan dalam bentuk persamaan yang tergantung pada struktur kristalnya.

Secara umum, jarak antara bidang $dh\ k\ l$:

$$d_{hkl} = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{x^2} + \frac{1}{y^2} + \frac{1}{z^2}}} = \frac{1}{\left[\frac{h^2}{a^2} + \frac{k^2}{b^2} + \frac{l^2}{c^2} \right]^{\frac{1}{2}}}$$

Pada umumnya, indeks Miller merupakan bilangan bulat menurut definisinya, dan batasan ini signifikan secara fisik. Untuk memahami ini, misalkan terdapat sebuah bidang (abc) di mana "indeks" Miller a, b dan c (didefinisikan seperti di atas) tidak harus bilangan bulat.

Jika a, b , dan c memiliki rasio rasional, maka keluarga bidang yang sama dapat ditulis dalam indeks bilangan bulat (hkl) dengan menskalakan a, b , dan c secara tepat: bagi dengan

bilangan terbesar dari ketiga bilangan tersebut, lalu kalikan dengan bilangan penyebut persekutuan terkecil. Jadi, indeks Miller bilangan bulat secara implisit menyertakan indeks dengan semua rasio rasional. Alasan mengapa bidang-bidang di mana komponen-komponennya (berbasis kisi-balik) memiliki rasio rasional menjadi perhatian khusus adalah bahwa bidang-bidang tersebut adalah bidang-bidang kisi: bidang-bidang tersebut adalah satu-satunya bidang yang perpotongannya dengan kristal adalah periodik-2d.

Untuk bidang (abc) di mana a , b , dan c memiliki rasio irasional, di sisi lain, perpotongan bidang dengan kristal tidak periodik. Ini membentuk pola aperiodik yang dikenal sebagai quasicrystal. Konstruksi ini sesuai persis dengan metode "potong-dan-proyek" standar untuk mendefinisikan quasicrystal, menggunakan bidang dengan indeks Miller rasio irasional. (Meskipun banyak quasicrystals, seperti ubin Penrose, dibentuk oleh "potongan" kisi periodik di lebih dari tiga dimensi, yang melibatkan perpotongan lebih dari satu hyperplane tersebut.)

DAFTAR PUSTAKA

- Ashcroft, N. W., & Mermin, N. D. (2005). Solid state physics (holt, rinehart and winston, new york, 1976). *Google Scholar*, 403.
- Hamid, A. (2021). *Pendahuluan Fisika Zat Padat*. Syiah Kuala University Press.
- Damanik, A. (2020). *Pengantar Fisika Zat Padat*. Sanata Dharma University Press.
- Wikipedia. https://id.wikipedia.org/wiki/Kisi_Bravais. Diakses pada tanggal 10 April 2023

BAB 5

KARAKTERISASI ZAT PADAT DENGAN TEKNIK DIFRAKSI

Oleh Jan Setiawan

5.1 Teknik Difraksi

Teknik difraksi merupakan metode karakterisasi zat padat yang umum dilakukan. Karakterisasi zat padat dengan teknik difraksi dapat memberikan informasi yang terkait struktur kristalnya. Difraksi merupakan pembelokan gelombang yang melalui celah kecil (Setiawan, 2022). Panjang gelombang (λ) dan lebar celah akan mempengaruhi pola difraksinya. Pola difraksi yang dihasilkan dalam karakterisasi zat padat merupakan hasil interaksi dari dua gelombang atau lebih yang berinterferensi menguatkan. Sebuah gelombang akan dihamburkan dari benda menyebar ke segala arah. Jika ada gelombang kedua yang menyebar dari benda lain, terpisah dari gelombang pertama sejauh panjang gelombang, maka akan ada beberapa sudut di mana akan terlihat dua gelombang yang dihamburkan berada dalam satu fasa. Apabila jarak celah hamburan tetap, sudut hamburan akan dipengaruhi oleh panjang gelombang, dengan panjang gelombang yang pendek akan menghamburkan pada sudut yang tinggi dibandingkan dengan panjang gelombang yang lebih panjang (Lifshin, 1999). Dalam karakterisasi zat padat kristalin, teknik difraksi dapat dilakukan menggunakan Sinar-X, neutron, atau elektron. Dengan demikian perlu diketahui bagaimana zat padat berinteraksi dengan Sinar-X, neutron maupun elektron. Pada Tabel 5.1 diberikan informasi

perbandingan difraksi yang menggunakan Sinar-X, neutron dan elektron.

Tabel 5.1. Perbandingan difraksi Sinar-X, neutron dan elektron

	Sinar-X	Neutron	Elektron
Metode hamburan	Sinar-X dihamburkan oleh bidang atom dalam kristal	Neutron dihamburkan oleh inti atom	Elektron yang dihamburkan oleh elektron dalam atom
Panjang gelombang difraksi- kristal	1 Å (mendekati ukuran atom)	2 Å	1 Å
Penetrasi ke dalam zat padat (mm)	$10^{-1} - 10^{-2}$	10	10^{-4}
Energi (eV)	10^4	0,03	40
Informasi yang diperoleh	Struktur kristal zat padat	Struktur atom dan atau struktur magnetik dari zat padat	Struktur kristal zat padat
Peralatan	Difraktometer Sinar-X	Reaktor nuklir	<i>Transmission Electron Microscope (TEM)</i>

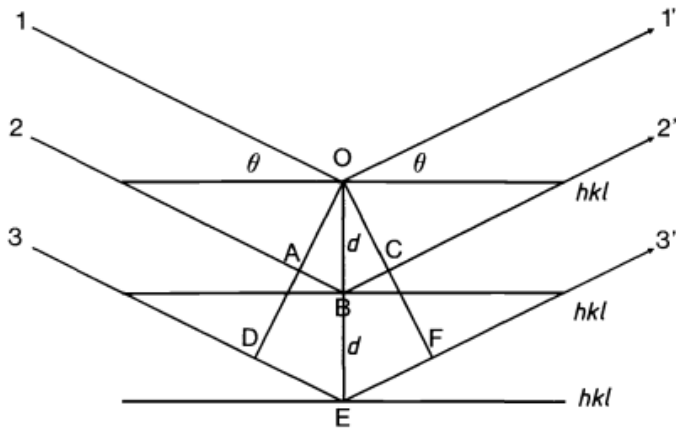
Sumber: (Lifshin, 1999; Geelen dkk, 2015; Li dkk, 2022)

Dari ketiga teknik difraksi ini, difraksi Sinar-X (XRD) merupakan teknik yang termurah dan telah digunakan sangat luas. Teknik difraksi yang paling mahal adalah difraksi neutron yang memerlukan sumber neutron dari hasil fisi. Dalam karakterisasi zat padat diperlukan pengetahuan yang cukup mengenai teknik difraksi yang akan digunakan. Setiap teknik memiliki keunggulan dan keterbatasan yang berbeda. Dalam karakterisasi zat padat diharapkan dapat memahami komposisi

unsur dan struktur atomnya. Dari pengetahuan ini dapat diyakini tingkat kemurnian, kesesuaian dalam penggunaan dan memungkinkan memberikan penjelasan atas sifat dan unjuk kerjanya.

5.2 Difraksi Sinar-X

Tahun 1913 W.L. Bragg dan W.H. Bragg menyatakan formulasi yang terkait atas temuan pada zat padat kristalin yang memberikan pola refleksi Sinar-X. Hukum Bragg dapat diilustrasikan pada Gambar 5.1,



Gambar 5.1 Difraksi Sinar-X dari bidang dalam sebuah kristal
(Sumber : Lifshin, 1999)

Dari Gambar 5.1 ini terdapat sekumpulan bidang atomik yang memiliki indeks ($h k l$). Berkas Sinar-X datang dari sisi kiri diberi tanda 1, 2 dan 3 membentuk sudut θ terhadap bidang tersebut. Jarak antar bidang adalah d_{hkl} . Selama proses pengujian, seluruh bidang atomik akan menghamburkan Sinar-X kesegala arah. Namun, pola difraksi hanya akan dibentuk oleh hamburan yang koheren. Apabila melihat pada berkas 1 dan berkas 2

terlihat berkas 2 menjalar dengan ABC lebih jauh dibandingkan dengan berkas 1. Bila berkas 1 dan berkas 2 berawal dalam satu fasa, maka dengan adanya penambahan jarak ABC akan menyebabkan berkas 2 tidak sejajar terhadap berkas 1 setelah refleksinya. Sudut dari pergeseran fasa atau ketidaksejajaran ini sebanding dengan jarak ABC. Interferensi membangun atau difraksi akan terjadi apabila dua gelombang yang terhambur berada dalam satu fasa. Dengan demikian jarak ABC yang memungkinkan sebesar 1λ , 2λ atau 3λ , yang secara umum dapat dituliskan menjadi,

$$n\lambda = ABC \quad (1)$$

dengan n adalah bilangan bulat. Selanjutnya adalah mengubah jarak ABC ke dalam bentuk sudut yang dapat ditentukan selama proses pengukuran. Perhatikan dari Gambar 5.1, dalam segitiga ABO dapat ditentukan $d \sin \theta = AB$ atau $2d \sin \theta = ABC$. Dengan demikian diperoleh,

$$n\lambda = 2d \sin \theta \quad (2)$$

atau dapat dituliskan menjadi

$$\lambda = 2d_{hkl} \sin \theta \quad (3)$$

Dalam proses pengujian, panjang gelombang dan sudut pengukuran diketahui sehingga d_{hkl} dapat ditentukan dan menentukan dimensi dari sel unitnya. Informasi yang dapat diambil dari pola difraksi sebagai berikut,

1. Posisi puncak difraksi

Posisi puncak ditentukan dari panjang gelombang sumber Sinar-X yang digunakan. Penyimpangan yang berasal dari peralatan difraktometer dan juga periodisitas struktur kristal. Posisi puncak digunakan untuk menentukan parameter kisi, penentuan simetri, analisis kandungan fasa dan pembuktian kemurniannya.

2. Intensitas puncak difraksi

Sangat ditentukan oleh intensitas sumber Sinar-X, penyimpangan yang berasal dari peralatan difraktometer dan karakter intrinsik dari sampel. Intensitas digunakan untuk identifikasi fasa, penentuan struktur kristal, analisis fasa kuantitatif, persentase kristalinitas, substitusi unsur dan tekstur.

3. Bentuk dari puncak difraksi

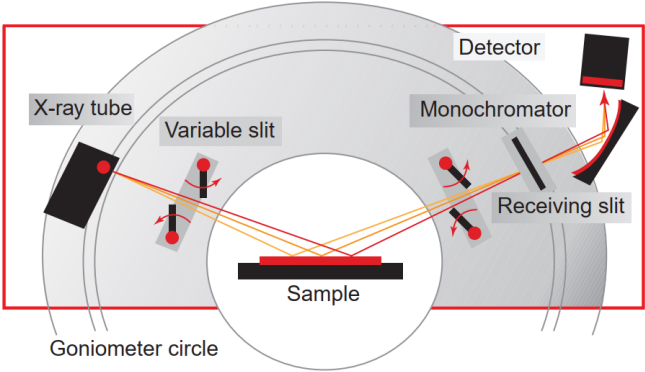
Sedangkan pada bentuk dari puncak difraksi ditentukan oleh distribusi dari intensitas sumber Sinar-X, penyimpangan yang berasal dari peralatan difraktometer dan pengaruh dari sampel. Bentuk dari puncak ini digunakan untuk menentukan ukuran kristalit, regangan kristalit, parameter kristalinitas ketidakhomogenan kimia, konsentrasi dari cacat lainnya.

Sinar-X dibangkitkan oleh sumber dengan bahan anoda yang diberikan pada Tabel 5.2. Sinar-X monokromatis digunakan dalam analisis sehingga hanya memiliki panjang gelombang tunggal. Konfigurasi dari pengujian difraksi Sinar-X serbuk diberikan pada Gambar 5.2. Susunan peralatan pada Gambar 5.2 mengilustrasikan pengujian difraksi serbuk untuk serbuk yang halus dan diletakan dalam pemegang sampel dengan permukaan datar, dengan sumber dan detektor akan bergerak untuk sudut 2θ . Pengujian difraksi dapat dilakukan juga untuk sudut difraksi yang rendah, di mana pengujian ini dikenal sebagai hamburan sudut kecil (*small-angle scattering*). Pengujian tersebut umumnya diperuntukan dalam menentukan dimensi dari partikel nano atau ukuran pori dalam karbon aktif.

Tabel 5.2 Jenis bahan anoda sebagai sumber Sinar-X

Bahan Anoda	Energi (keV)	K- α (Å)	Tegangan maksimum (kV)	Filter K- β
Cr	5,4	2,291	30	V
Fe	6,4	1,937	30	Mn
Cu	8,1	1,542	45	Ni
Co	6,9	1,790	40	Fe
Mo	17,5	0,710	60	Zr

Sumber: (Jenkins dan Snyder, 1996)



Gambar 5.2 Konfigurasi Bragg-Brentano untuk pengujian difraksi Sinar-X.

(Sumber : Dittrich dan Bieniok, 2009)

Langkah selanjutnya dari informasi posisi puncak, intensitas puncak dan bentuk puncak dapat ditentukan informasi mengenai,

1. Penentuan fasa dan impuritas.

Analisis awal dari yang dapat dilakukan terhadap pola difraksi adalah melakukan identifikasi fasa dan impuritasnya. Dalam penentuan fasa ini diawali dengan menentukan posisi

sudut dari puncak difraksi yang ada. Setelah memiliki data posisi sudut dari puncak difraksi, penentuan fasa dapat dilakukan dengan membandingkan informasi puncak dengan basis data. Untuk memudahkan proses pencocokan dengan basis data dapat dibantu menggunakan aplikasi. Aplikasi pencocokan dengan basis data yang berbayar seperti Highscore/Plus, PDXL, Diffrac.Eva dan Match! Sedangkan yang tidak berbayar dapat menggunakan QualX dan Profex. Dalam pemilihan kesesuaian fasa, harus memenuhi kandungan unsur sampel, dan kecocokan sampel dengan data minimal terdapat kecocokan 3 buah puncak tertingginya. Hasil dari pencocokan kurva ini data kristalografi setiap fasa akan digunakan untuk Analisis Rietveld.

2. Ukuran kristalit dan regangan mikro.

Penentuan ukuran kristalit dapat ditentukan menggunakan formula Debye-Scherrer sebagai berikut (Smart dan Moore, 2012; Clearfield, Reibenspies dan Bhuvanesh, 2009),

$$D = \frac{c\lambda}{B \cos \theta} \quad (4)$$

dengan D adalah ukuran kristalit, c adalah konstanta Scherrer yang dipilih nilainya sebesar 0,94, B adalah nilai *full-width at half maximum* (FWHM) dari puncak (dalam satuan radian) yang terkoreksi pelebaran instrumen. Nilai B dapat diperoleh dari FWHM sampel (B_M) dikurangi dengan FWHM standar (B_s). Untuk penentuan regangan mikro dapat menggunakan persamaan plot Williamson-Hall berikut ini (Setiawan, 2020),

$$B \cos \theta = \frac{c\lambda}{D} + 4\varepsilon \sin \theta \quad (5)$$

dengan ε adalah regangan mikro.

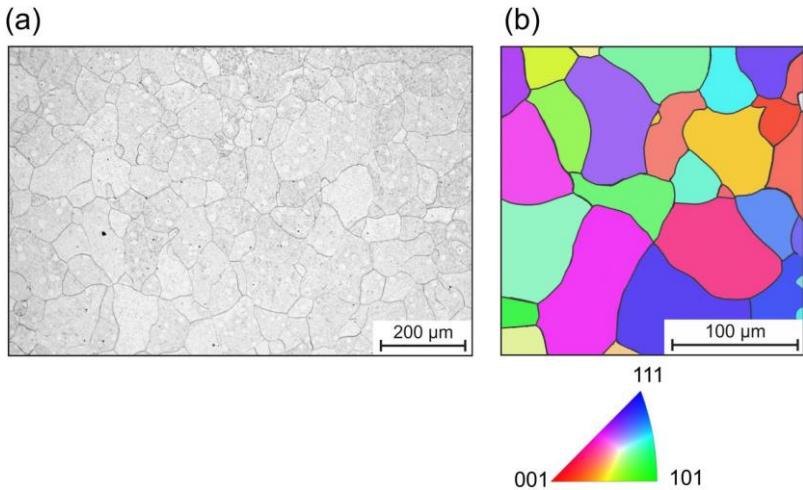
3. Metode Rietveld

Analisis Rietveld dikembangkan untuk menyelesaikan struktur kristal dari data difraksi serbuk. Metode Rietveld melibatkan interpretasi tidak hanya dari posisi puncak saja tetapi juga intensitasnya. Metode ini juga melakukan analisis pola secara menyeluruh. Untuk melakukan analisis Rietveld selain pola difraksi dibutuhkan juga parameter instrumen dan model kristalografi dari fasa yang terkandung dalam sampel. Proses yang dilakukan adalah melakukan penghalusan terhadap model melalui pengubahan satu atau beberapa parameter kristalografi maupun profil. Proses penghalusan dilakukan berulang-ulang hingga parameter statistik faktor-R dan *goodness of fit* (GOF) atau yang disampaikan berupa nilai chi-square (χ^2) telah memenuhi kriteria. Kriteria idealnya adalah χ^2 bernilai 1, namun sangat jarang terjadi. Apabila nilai $\chi^2 < 1$ sangat mungkin disebabkan oleh kesalahan konversi atau penskalaan data. Apabila nilai χ^2 yang mendekati 1 juga bukan jaminan model kristalografi yang digunakan adalah benar; ini hanya menunjukkan bahwa kesalahan didominasi oleh pengaruh statistik saja. Untuk χ^2 yang lebih dari 1 dapat disebabkan oleh, ada ketidaktepatan pada model yang diberikan (Clearfield, Reibenspies dan Bhuvanesh, 2009). Beberapa aplikasi berbayar yang dapat digunakan untuk melakukan analisis pola difraksi dengan metode Rietveld adalah Highscore Plus, PDXL, Diffraction.Eva, dan Match! Sedangkan yang tidak berbayar seperti *General Structure Analysis Software II* (GSAS II), FullProf, Rietica, MAUD, Profex, EXPO2014 dan Jana 2006.

5.3 Difraksi Elektron

Difraksi elektron serupa dengan XRD, hanya saja sumber yang didifraksikan adalah elektron. Peralatan yang dapat digunakan adalah *scanning electron microscope* (SEM) atau TEM. Dalam SEM menggunakan *back scattered electron diffraction*

(EBSD) untuk mempelajari struktur kristalografi dari zat padat. Citra dari EBSD diberikan pada Gambar 6.3

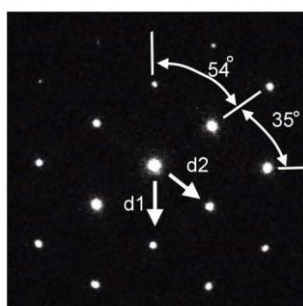


Gambar 5.3 Struktur mikro besi murni (a) yang diotomografi dan (b) citra EBSD (*inverse pole figure* (IPF) Z).
(Sumber : Pöhl, 2019)

Gambar 5.3.b menunjukkan orientasi kristalografi pada area tertentu dan warnanya menunjukkan orientasi sesuai dengan legenda warna yang diberikan.

Sedangkan dalam TEM elektron dilewatkan ke sampel yang akan dianalisis dan memiliki ketebalan yang sangat tipis. Pola difraksi yang dihasilkan kemudian diamati pada layar fluoresen atau direkam menggunakan kamera CCD. Jika sampel dimiringkan terhadap berkas elektron yang datang, maka akan diperoleh pola difraksi dari beberapa orientasi kristal, sehingga struktur kristalnya dapat dipetakan dalam tiga dimensi. Teknik difraksi elektron dalam TEM dikenal sebagai difraksi elektron area terseleksi (*Selected area electron diffraction* - SAED). Difraksi elektron dalam TEM mengharuskan preparasi sampel yang sangat ketat. Sampel yang diperoleh harus transparan elektron dengan ketebalan tidak lebih dari 100 nm. Preparasi

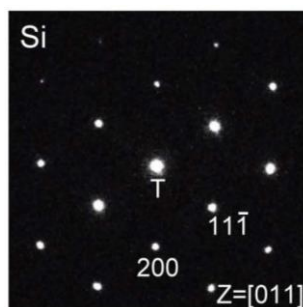
sampel harus dilakukan dengan sangat hati-hati dan memakan waktu. Selain itu, bagian tipis dari sampel dapat rusak selama berinteraksi dengan berkas elektron selama berada dalam TEM. Informasi struktur kristalografi dapat diperoleh dengan akurasi tinggi melalui difraksi elektron, tetapi kondisi eksperimental yang tepat sangat penting. Analisis zat padat dalam skala mikro, penggunaan XRD untuk menentukan parameter kisi dan posisi atom lebih disukai. Namun, pada skala nano, semakin penting untuk menentukan posisi atom dengan ketepatan orde 0,01 Å hingga 0,001 Å. Difraksi elektronpun disukai untuk molekul yang relatif sederhana (bahan kristal kecil) dan membutuhkan tingkat input pengguna yang jauh lebih tinggi atau elektron berenergi tinggi. Karena elektron berinteraksi secara aktif dengan materi, teknik ini membutuhkan sampel yang sangat tipis untuk mengamati pola difraksi dalam transmisi. Difraksi elektron nano area pada *scanning transmission electron microscope* (STEM) yang dikoreksi penyimpangan adalah teknik utama yang memiliki potensi untuk mencapai tingkat ketepatan ini. Bentuk citra dari SAED untuk silikon diberikan pada Gambar 6.4 berikut ini,



$$Rd = \lambda L$$

$$d1 = 2.70 \text{ \AA}, d2 = 3.04 \text{ \AA}$$

(a)



(b)

Gambar 5.4 (a) SAED dan (b) indeksasi akhir SAED dari silikon.
(Sumber : Lin, 2014)

Pada SAED, titik paling terang (yang disebut titik yang ditransmisikan) biasanya muncul di tengah pola difraksi; titik-titik lainnya adalah pola difraksi. Secara umum, sebuah proyeksi SAED dapat memberikan informasi kristalografi dua dimensi (2D), seperti dua sumbu pada parameter kisi. Untuk memperoleh informasi kristalografi yang lengkap, seperti parameter kisi (a , b , c , dan sudut relatif), cacat, dan hubungan orientasi, sampel perlu dimiringkan untuk mendapatkan serangkaian SAED.

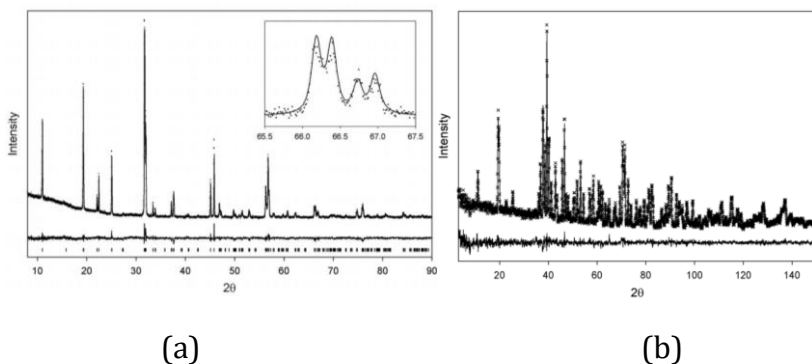
5.4 Difraksi Neutron

Dalam reaktor nuklir akan menghasilkan neutron dengan fluks yang sangat tinggi. Untuk teknik difraksi digunakan neutron termal sebagai sumbernya. Sedangkan panjang gelombangnya dapat dipilih menggunakan kristal monokromator dari spektrum energi kontinunya. Apabila dari sumber spalasi, sebuah pulsa dari berkas proton berenergi tinggi menumbuk target uranium, tungsten atau timbal. Inti logam yang tereksitasi akan melepaskan energi dengan memancarkan neutron spalasi. Beberapa neutron spalasi per proton tunggal dilepaskan dan membangkitkan sebuah pulsa fluks neutron sebesar $0,4 \mu\text{s}$. Proses spalasi ini tidak terjadi dalam reaksi berantai dalam reaktor fisi dan tidak menghasilkan reaksi berantai juga. Reaksi akan berhenti ketika berkas yang dipercepat dihentikan.

Dalam proses hamburan neutron, interaksi yang terjadi dengan zat padat adalah interaksi neutron dengan inti atom dan dengan momen magnetik elektron tak berpasangan akibat spin dari neutron. Difraksi neutron dapat mengungkapkan posisi inti dalam struktur kristal dan momen magnetik serta struktur spin magnetik atom dengan kulit elektron luar yang tidak terisi penuh. Hamburan tidak elastis dapat dideteksi juga karena energi neutron termal berada dalam orde energi getaran dalam zat padat. Hamburan neutron memiliki analogi dengan difraksi

Sinar-X, tetapi ada tambahan metode interaksi magnetik. Resolusi spasial pengukuran berada pada rentang 0,1 mm. Resolusi waktu yang dimiliki berada pada rentang sub detik memungkinkan melakukan pengukuran in-situ untuk mempelajari perilaku kinetik (Dittrich dan Bieniok, 2009). Perbandingan pola difraksi antara XRD dengan difraksi neutron diberikan pada Gambar 5.5.

Terlihat pola difraksi yang dihasilkan dari Sinar-X pada sudut yang tinggi intensitasnya menurun apabila dibandingkan pola difraksi yang diperoleh dari neutron. Perihal ini disebabkan adanya gerakan termal dan faktor bentuk. Dapat dikatakan pola difraksi dari hamburan neutron akan memberikan informasi parameter termal yang lebih baik.



Gambar 5.5 Pola (a) XRD dengan $\lambda=1,5406$ dan (b) difraksi neutron $\lambda=1,5403$ dari NaLaMnWO_6
(Sumber : King dkk, 2007)

DAFTAR PUSTAKA

- Clearfield, A., Reibenspies, J.H. and Bhuvanesh, N. eds., 2009. *Principles and Applications of Powder Diffraction*. Wiley. doi:<https://doi.org/10.1002/9781444305487>.
- Dittrich, H. and Bieniok, A., 2009. Measurement Methods | Structural Properties: X-Ray and Neutron Diffraction. *Encyclopedia of Electrochemical Power Sources*, pp.718–737. doi:<https://doi.org/10.1016/b978-044452745-5.00074-5>.
- Geelen, D., Thete, A., Schaff, O., Kaiser, A., van der Molen, S.J. and Tromp, R., 2015. eV-TEM: Transmission electron microscopy in a low energy cathode lens instrument. *Ultramicroscopy*, 159, pp.482–487. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ultramic.2015.06.014>.
- Jenkins, R. and Snyder, R.L., 1996. *Introduction to X-ray Powder Diffractometry*. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc. doi:<https://doi.org/10.1002/9781118520994>.
- King, G., Thimmaiah, S., Dwivedi, A. and Woodward, P.M., 2007. Synthesis and Characterization of New $AA'BWO_6$ Perovskites Exhibiting Simultaneous Ordering of *A*-Site and *B*-Site Cations. *Chemistry of Materials*, 19(26), pp.6451–6458. doi:<https://doi.org/10.1021/cm0716708>.
- Li, Y.-Q., Xu, D.-Y., Zha, M., Chen, D.-F., Liu, Y.-T., Li, M.-J., Sun, K., Zhu, G.-J., Wang, S.-Q., Wang, T., Gao, J.-B. and Liu, X.-L. 2022. Study on Bulk Texture and Mechanical Properties of As-Extruded Wide Mg-Al-Zn Alloy Sheets with Different Al Addition. *Materials*, 15(12), p.4147. doi:<https://doi.org/10.3390/ma15124147>.
- Lifshin, E. ed., 1999. *X-ray Characterization of Materials*. Wiley. doi:<https://doi.org/10.1002/9783527613748>.

- Lin, K.-L. 2014. Phase Identification Using Series of Selected Area Diffraction Patterns and Energy Dispersive Spectrometry within TEM. *Microscopy Research*, 02(04), pp.57–66. doi:<https://doi.org/10.4236/mr.2014.24008>.
- Pöhl, F., 2019. Pop-in behavior and elastic-to-plastic transition of polycrystalline pure iron during sharp nanoindentation. *Scientific reports*, 9(1), pp.1-12.
- Setiawan, J., 2022. Interferensi dan Difraksi. *Fisika Magnet Untuk Teknik*, p.162.
- Setiawan, J., Pribadi, S., Jamaludin, A., Sungkono and Al Hasa, M.H., 2020, September. Structural analysis of Al alloys for nuclear fuel cladding. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 2262, No. 1, p. 050002). AIP Publishing LLC.
- Smart, L.E. and Moore, E.A., 2012. *Solid state chemistry: an introduction*. CRC press.

BAB 6

KARAKTERISASI ZAT PADAT DENGAN TEKNIK TERMAL ANALISIS (TA)

Oleh Dimas Tungul Wardoyo

6.1 Pendahuluan

Analisis termal digunakan dalam pengukuran untuk penelitian dan pengembangan, tetapi akhir-akhir ini digunakan dalam banyak aplikasi praktis, misalnya, dalam kontrol kualitas di bidang produksi, kontrol proses, dan inspeksi penerimaan material. Bahan yang sering menggunakan termal analisis seperti bahan polimer, kaca, keramik, logam, bahan peledak, semikonduktor, obat-obatan, dan makanan.

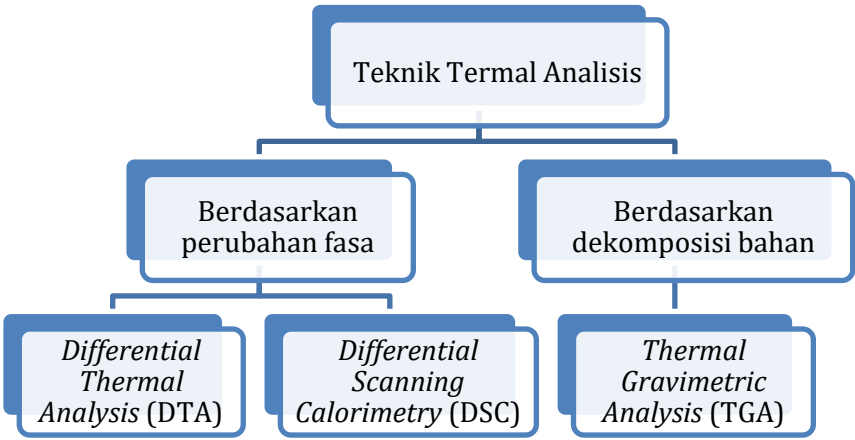
Karakteristik zat padat dengan teknik termal analisis merupakan berbagai macam teknik yang digunakan yang mengukur perubahan sifat-sifat bahan sebagai fungsi suhu. Sifat-sifat yang berubah diantaranya adalah dimensi bahan, berat, berat fase, dan lain-lain. Karakterisasi zat padat dengan analisis termal saat ini bisa menggunakan berbagai macam peralatan yang modern, adapun cakupannya meliputi dekomposisi termal, transisi fase, reaksi kondisi padat, serta menentukan diagram fase.

Percobaan yang dilakukan oleh Musyafaah, *et al* (2002) melakukan analisis termal terhadap bahan konduktor super ionik, bahwa komposisi bahan konduktor superionik berbasis gelas $(Ag_2S)_x$ dan $(AgPO_3)_{1-x}$ menggunakan DSC terdapat proses transisi yaitu transisi gelas, transisi fase dan kristalisasi. Jika suatu bahan berbentuk cair, atom-atom tidak mempunyai susunan yang teratur. Namun ketika suhu berkurang akan membuat energi atom semakin rendah, sehingga atom sulit untuk bergerak, kemudian atom akan mulai mengatur kedudukannya relatif terhadap atom lain. Hal ini bisa terjadi pada daerah yang memiliki kondisi suhu yang relatif rendah yang

merupakan daerah awal terjadinya inti kristal. Kristal akan mulai tumbuh dari suhu rendah ke suhu yang lebih tinggi. Sehingga dapat disimpulkan energi termal yang terus meningkat dapat mengakibatkan pertumbuhan kristal secara terus menerus sampai bentuk akhir, yaitu bentuk awal amorf menjadi kristal (Triwikantoro, 2002).

6.2 Teknik Termal Analisis

Semakin berkembangnya ilmu pengetahuan dan teknologi, saat ini banyak material yang bisa dipelajari karakteristiknya dengan menggunakan metode teknik analisis termal. Teknik analisa termal dibagi menjadi beberapa kategori sesuai dengan perubahan yang terjadi yaitu perubahan volume, perubahan berat, serta perubahan energi yang dilepaskan. Suatu bahan mempunyai sifat termal yang berbeda-beda, sifat termal tersebut menunjukkan respon material terhadap panas yang diterima. Untuk dapat mengetahui sifat termal suatu bahan, maka perlu dibedakan antara temperatur atau suhu dengan kandungan kalor, reaksi keadaan padat, dekomposisi termal/transisi fase, serta penentuan diagram fase.



Gambar 6.1. Instrumen Teknik Termal Analisis

Pada Gambar 6.1. dapat dilihat bahwa metode yang sering kali dipakai untuk teknik analisis termal terbagi menjadi 2 kriteria. Untuk TGA (*Thermal Gravimetric Analysis*) prinsip dasarnya termasuk dalam metode yang menganalisis dekomposisi bahan. Dekomposisi artinya terjadinya perubahan massa akibat dari terjadinya kenaikan suhu.

Untuk metode yang kedua adalah metode yang berdasarkan perubahan fase, yaitu DTA dan DSC. Perubahan fase diakibatkan oleh teknik analisis termal yang mengukur energi yang diserap atau diemisikan oleh sampel sebagai fungsi waktu atau suhu.

6.2.1 Peristiwa Termal

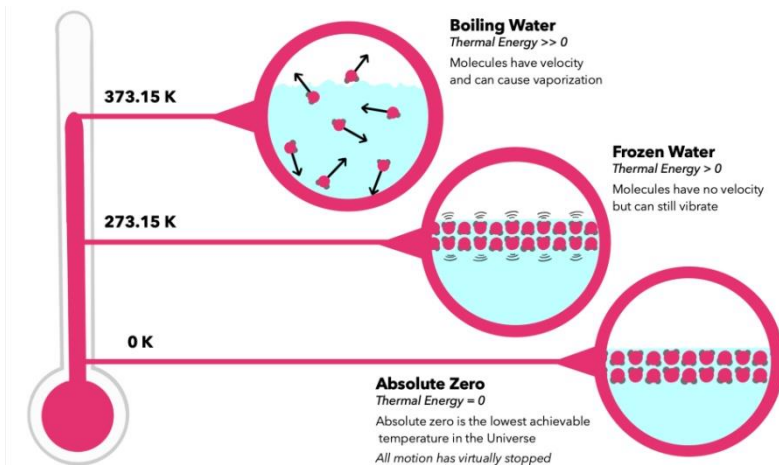
Peristiwa termal merupakan serangkaian proses analisis termal yang bergantung pada reaksi antara material dengan aliran energi panas yang masuk ataupun keluar dari fase padatnya. Pada dasarnya ada dua kondisi, yaitu pada kondisi nol mutlak dan kondisi penambahan kalor.

6.2.1.1 Nol Mutlak

Titik nol mutlak pada skala temperatur termodinamika seperti skala Kelvin, serta skala Rankine diatur pada nilai nol mutlak. Dalam kesepakatan internasional, nol mutlak adalah sebagai temperatur nol pada skala Kelvin, dan -273.15° pada skala Celsius (Arora, C. P. (2001)).

Pada kondisi nol mutlak, benda padat tidak memiliki energi panas, dan ini berarti atom-atomnya relatif tidak melakukan getaran atau statis. Pada kondisi nol mutlak sebenarnya semua gerakan molekuler suatu zat padat tidak berhenti akan tetapi zat padat tersebut tidak memiliki energi yang cukup untuk berpindah ke sistem lain atau bisa dikatakan energi molekuler yang dimiliki benda sangatlah kecil.

Ketika suhu benda (air) dalam kondisi 273°K atau 0°C akan mencapai titik beku, dalam kondisi ini molekul tidak bergerak tetapi melekulnya masih mengalami getaran. Namun ketika sudah mencapai titik didih, molekul bisa bergerak bebas, dan bisa mengalami penguapan.



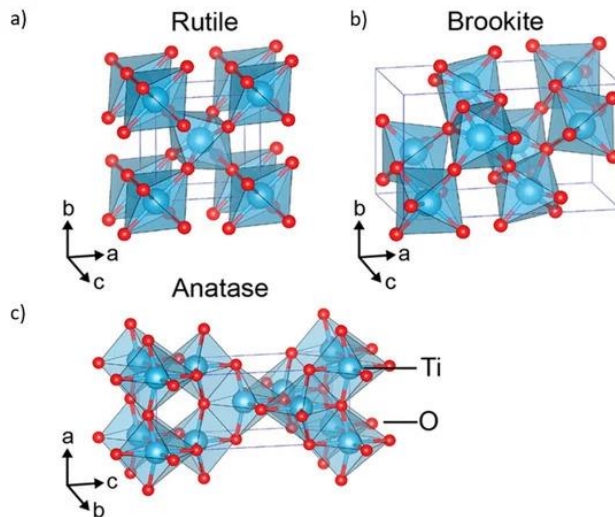
Gambar 6.2. Ilustrasi Kondisi Nol Mutlak
(Sumber : T. Gibbons, www.exp11.com)

6.2.1.2 Penambahan Kalor

Suatu bahan padat jika dinaikkan suhunya, maka energi panas yang didapatkan oleh bahan tersebut akan meningkatkan vibrasi dan rotasi dalam ikatan-ikatan atom dalam zat padat tersebut. Oleh sebab itu akan terjadi peningkatan amplitudo getaran yang pada tingkatan tertentu akan mengakibatkan transformasi fase padat, transisi kaca, peleburan, sublimasi, dan terjadinya dekomposisi termal.

Transformasi fase padat biasa terjadi pada perubahan bentuk kristal, seperti dalam pembentukan kristal katalis TiO_2 . Katalis TiO_2 memiliki 3 jenis struktur kristal yaitu anatase, rutil, dan brookite. Struktur kristal rutil dan anatase cukup stabil dan fase ini biasa digunakan sebagai bahan fotokatalis (Siti et al,

2013). Contoh dari transformasi fase padat dapat dilihat pada penelitian yang dilakukan oleh Rudi et al (2014) yang berjudul Pengaruh Temperatur Dan Waktu Kalsinasi Terhadap Perubahan Fase TiO_2 . Pada penelitian tersebut menyatakan bahwa fase anatase akan lebih mudah terbentuk pada suhu rendah, sedangkan bila suhu kalsinasi dinaikkan maka akan membuat fase anatase akan berubah menjadi rutil.



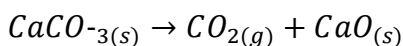
Gambar 6.3. Struktur Kristal TiO_2
(a) rutile; **(b)** anatase; **(c)** brookite
 (Sumber : www.mdpi.com)

Hasil penelitian Indarto Katim dan Rustiadi (1995) juga melaporkan hasil penelitian yang sejalan. Diketahui bahwa fase anatase dan rutil sudah mulai terbentuk pada saat titanium hidroksida mulai dipanaskan pada suhu $100^{\circ}C$ akan tetapi intensitas jumlah fasenya belum sempurna. Intensitas fase anatase sudah tampak jelas pada proses kalsinasi pada suhu $500^{\circ}C$ dan kenaikan suhu dari $500^{\circ}C$ sampai $1000^{\circ}C$, pada suhu ini akan meningkatkan fase rutil.

Transisi kaca terjadi pada padatan yang bersifat non-kristal dan merupakan sifat yang penting pada polimer. Bahan ini ketika mengalami kenaikan suhu yang awalnya padatan kaku dalam fase kaca dapat berubah menjadi padatan seperti karet. Transisi kaca juga sering disebut sebagai transisi fase orde kedua. Perbedaan yang mendasar adalah pada fase orde pertama dalam keadaan padat, yang merupakan transformasi fase dalam padatan kristal. Contoh dari transisi kaca adalah pada gelas yang terbuat dari bahan polimer yang mempunyai sifat keras dan rapuh ketika dipanaskan akan meleleh atau berubah sifat menjadi lunak.

Peristiwa termal yang terakhir adalah dekomposisi termal. Dekomposisi termal merupakan suatu perubahan yang dialami oleh padatan yang mengandung lebih dari satu jenis atom atau molekul. Jenis bahan ini jika mengalami peningkatan suhu, maka ikatan antar atom akan menjadi sangat lemah sehingga beberapa bagian tertentu akan terlepas dari padatan dan bagian yang tersisa akan membentuk ikatan baru atau jenis padatan yang baru.

Misalnya, CaCO_3 padat akan terurai menjadi CaO padat dan CO_2 gas pada rentang suhu tertentu.



Proses kalsinasi (pemanasan) CaCO_3 berjalan secara efektif jika dilakukan dalam suhu yang tinggi ($800 - 900^\circ\text{C}$) karena jenis reaksi nya merupakan reaksi endotermik (Stanmore et al, 2005).

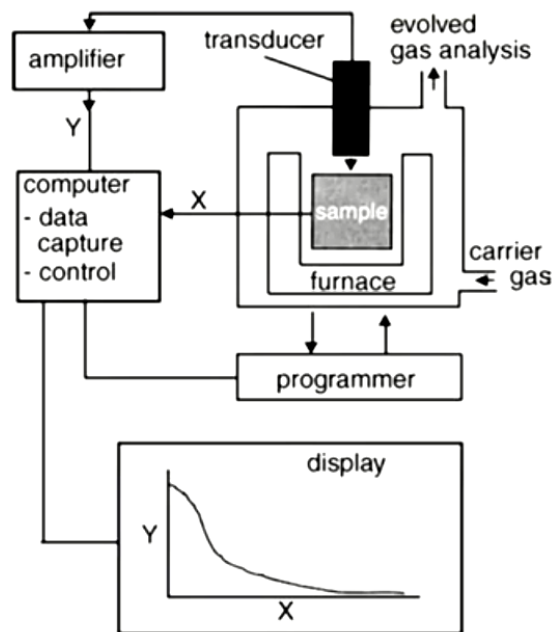
Dekomposisi termal karbonat biasanya diasumsikan sesuai dengan *Shrinking Core Model* (SCM) atau pendekatan model kinetika, dari model ini bisa memberi gambaran suatu reaksi mulai terjadi pada lapisan luar partikel kemudian bergerak ke padat yang akhirnya akan meninggalkan sepenuhnya bahan yang

dikonversi dan padatan inert yang dikenal sebagai 'abu' (Levienspiel, 1999).

6.2.2 Instrumentasi Analisis Termal

Instrumentasi yang dipakai dalam analisis termal pada dasarnya mempunyai fitur atau bagian yang sama, yaitu terketak pada bagian *Furnace* dan *Transduser*.

- *Furnace* atau bisa disebut dengan tungku merupakan bagian dari instrumen yang menjadi tempat pembakaran sampel (atau didinginkan) dengan lingkungan yang terkendali.
- *Transduser* merupakan bagian yang berfungsi sebagai pemantau hasil perubahan karakteristik bahan atau sample yang prinsipnya mengubah suatu bentuk energi ke bentuk energi lainnya.

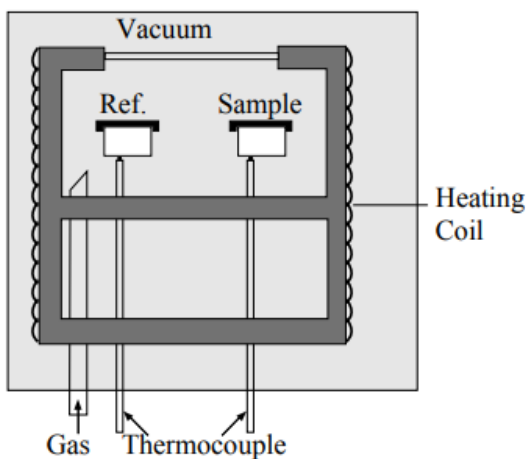


Gambar 6.4 Skema Instrumen Termal Analisis
(Sumber : Dr. Eng. Akhmad Ardian Korda, ST, MT)

6.2.2.1 Deferential Termal Analisis (DTA)

Differential Thermal Analysis (DTA) merupakan salah satu instrument yang dapat digunakan untuk memeriksa peristiwa termal dalam sampel dengan pemanasan atau pendinginan tanpa adanya perubahan massa. Adapun peristiwa termal yang dapat diperiksa oleh DTA meliputi transformasi fase padat, transisi kaca, kristalisasi, dan peleburan.

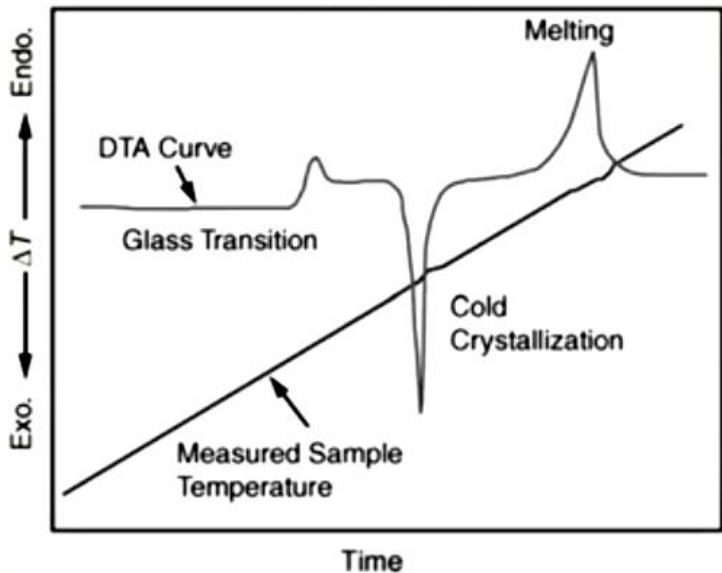
DTA merupakan suatu teknik pengukuran dengan cara mengukur perbedaan karakteristik antara sampel dengan *reference* (material pembanding yang bersifat inert secara thermal) sebagai fungsi waktu atau temperatur. Dari insrumen ini akan menghasilkan data berupa kurva temperatur sampel terhadap waktu atau temperatur dan kurva temperatur *reference* terhadap waktu atau temperatur.



Gambar 6.5. Skema Instrumen DTA
(Sumber : Mohammad Lutful Arefin)

Bagian utama dari instrumen DTA terdiri dari tempat sampel yang terhubung dengan termokopel, wadah sampel memakai bahan keramik atau blok logam. Sampel dan *reference* ditempatkan secara simetris dalam Furnace. Perbedaan suhu antara sampel dan referensi diukur dengan dua termokopel yang berbeda.

Ketika dalam keadaan netral atau tidak terjadi peristiwa termal, maka perbedaan suhu (ΔT) di wadah sampel dan wadah *reference* sama dengan nol. Hal ini dikarenakan konduktivitas termal dan kapasitas panas yang sama antara sampel dan *reference*. Akan tetapi jika terjadi peristiwa termal pada sampel perbedaan suhu (ΔT) tidaklah sama dengan nol.



Gambar 6.6 Kurva DTA untuk sampel polimer dengan laju pemanasan konstan
(Sumber : Dr. Eng. Akhmad Ardian Korda, ST, MT)

ΔT akan bernilai negatif jika peristiwa termal bersifat endotermik (menyerap panas). ΔT akan bernilai positif jika

peristiwa termal bersifat eksoterm (melepaskan kalor). Peristiwa endotermik membuat suhu sampel lebih rendah dari suhu *reference*. Sedangkan peristiwa endotermik membuat suhu sampel lebih tinggi daripada suhu *reference*.

6.2.2.2 Thermal Gravimetric Analysis (TGA)

Thermal Gravimetric Analysis (TGA) adalah sebuah teknik yang digunakan untuk mengukur perubahan massa sampel yang disebabkan oleh kenaikan suhu. Aplikasi utama TG adalah untuk menganalisis dekomposisi material dan stabilitas termal melalui perubahan massa sebagai fungsi suhu dalam mode pemindaian atau sebagai fungsi waktu dalam mode isothermal.

TGA sendiri terdiri dari tiga jenis, yaitu :

1. *Dynamic* TGA

Massa sampel dibuat tetap sedangkan suhu ditingkatkan secara simultan. Digunakan untuk melihat seberapa banyak gas yang hilang.

2. *Isothermal* TGA

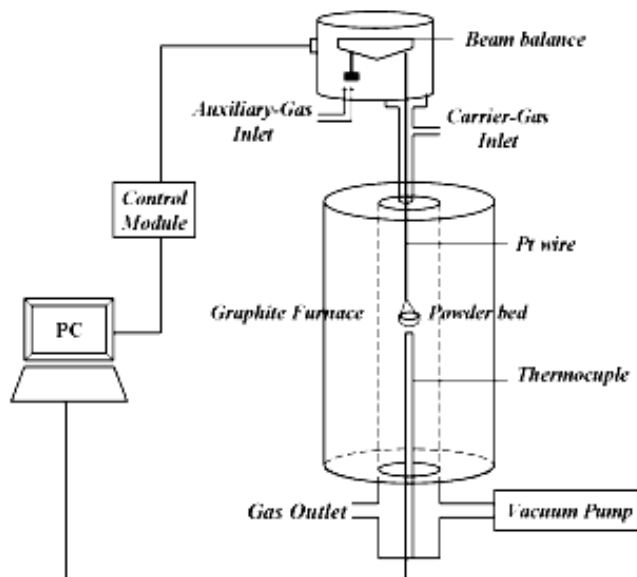
Termperatur dibuat konstan, digunakan untuk melihat informasi dekomposisi massa yang terjadi.

3. *Quasistatic* TGA

Sampel dipanaskan dalam beberapa interval suhu, dan ditahan pada interval tersebut untuk sementara waktu, seringkali sampai massa stabil.

Untuk analisis dengan Termogravimetry, sampel yang akan diukur ditempatkan dalam tungku dan perubahan massanya dipantau oleh bagian *thermobalance*. *Thermobalance* merupakan bagian paling penting dalam instrument TGA, karena pada bagian ini berfungsi sebagai alat untuk menimbang sampel secara terus menerus saat sedang dipanaskan atau didinginkan.

Sebelum menggunakan TGA, maka terlebih dahulu melakukan kalibrasi, dalam kalibrasi ini dikondisikan pada keadaan *Curie Point*. *Curie Point* atau sering disebut dengan titik curie adalah suhu di mana bahan magnetik mengalami transisi, yaitu transisi dari sampel yang mempunyai sifat feromagnetik menjadi paramagnetik.



Gambar 6.7 Diagram Skema TGA
(Sumber : SETARAM TGA 9)

Struktur *thermobalance* dalam TGA mencakup timbangan mikro, tungku, pemrogram suhu, dan juga komputer. Komponen kunci dari instrument ini adalah timbangan mikro, yang merupakan komponen yang berfungsi untuk mengukur perubahan massa.

Pada komponen timbangan mikro mampu mengukur perubahan massa sebesar $1 \pm \mu\text{g}$ sampai dengan massa maksimum 100 mg. Selain itu TGA dapat juga dijalankan baik dalam suasana

reaktif maupun non-reaktif, hal ini dikarenakan atmosfer reaktif bersifat korosif, pengoksidasi dan reduksi gas.

Bahan yang dianalisis oleh TGA meliputi sampel polimer, plastik, komposit, laminasi, perekat, makanan, pelapis, obat-obatan, bahan organik, karet, minyak bumi, bahan kimia, bahan peledak dan biologis. Kurva yang dihasilkan dari TGA menjelaskan tentang perubahan massa dari dehidrasi, dekomposisi, dan oksidasi sampel berdasarkan waktu dan suhu.



Gambar 6.8 Tipe Kurva TGA

(Sumber : Dr. Al-Garawi@Chemistry Department)

- Tipe (1)
Garis hampir horizontal yang menunjukkan bahwa tidak terjadi dekomposisi dengan hilangnya massa produk.
- Tipe (2)
Menunjukkan telah kehilangan massa yang cepat pada tahap awal kurva. Kemungkinan sampel telah melalui pengeringan atau desorpsi.
- Tipe (3)
Menunjukkan kurva dekomposisi yang khas pada suatu sampel. Sehingga tipe ini dapat menentukan batas stabilitas sampel.
- Tipe (4)
Kurva yang menunjukkan dekomposisi massa secara bertahap.
- Tipe (5)
Kurva yang menunjukkan dekomposisi secara bertahap, tetapi tidak ada perantara yang stabil. Tipe (5) merupakan versi tipe (4) dengan laju pemanasan yang tinggi.
- Tipe (6)
Menunjukkan bahwa telah terjadi reaksi kimia dengan penambahan massa pada sampel.

DAFTAR PUSTAKA

- Arora, C. P. (2001). Thermodynamics. Kelola McGraw-Hill. hlm. Table 2.4 page 43. ISBN 0-07-462014-2.
- Indarto Katim dan Rustiadi Purawiardi. 1995. „Proses kalsinasi titan hidroksida untuk menghasilkan pigmen TiO_2 Rutil”, Metalurgi, jilid 10, No. 1, Juni, hal 14 – 17.
- Stanmore, B.R.; and Gilot, P. (2005). Review: Calcination and carbonation of limestone during thermal cycling for CO_2 sequestration. Fuel Processing Technology, 86(16), 1707-1743.
- Levenspiel, O. (1999). Chemical reaction engineering, (3rd Ed.). John Wiley, New York

BAB 7

SIFAT LISTRIK ZAT PADAT

Oleh Linda Hevira

7.1 Sifat Listrik Zat Padat

Sifat listrik zat padat tergantung pada kemampuan zat tersebut untuk mengalirkan listrik. Beberapa zat padat memiliki kemampuan mengalirkan listrik (konduktivitas listrik) yang sangat baik, sedangkan zat lainnya tidak dapat mengalirkan listrik sama sekali.

Zat padat yang dapat mengalirkan listrik disebut konduktor listrik, seperti logam seperti tembaga, perak, dan emas. Ini karena konduktor listrik memiliki struktur kristal yang memungkinkan elektron untuk bergerak bebas melalui bahan. Ketika medan listrik diterapkan pada konduktor, elektron akan bergerak dan menghasilkan arus listrik.

Sifat listrik zat padat dapat berbeda-beda tergantung pada bahan atau materialnya. Ada beberapa bahan padat yang dapat menghantarkan listrik dengan baik, seperti logam, grafit, dan larutan elektrolit padat seperti garam dapur (NaCl) yang meleleh. Namun, ada juga bahan padat yang tidak dapat menghantarkan listrik sama sekali, seperti kayu atau plastik.

Sifat listrik dari bahan padat bergantung pada kemampuannya untuk mengalirkan elektron. Pada bahan yang menghantarkan listrik dengan baik, seperti logam, elektron bebas dapat bergerak dengan mudah melalui jaringan kristal padat. Sedangkan pada bahan yang tidak menghantarkan listrik, elektron tidak dapat bergerak bebas.

Selain itu, bahan padat juga dapat memiliki sifat dielektrik, yaitu kemampuan untuk menghambat aliran listrik. Bahan-bahan ini biasanya digunakan sebagai isolator listrik untuk melindungi dari kejut listrik, seperti kaca atau keramik.

Beberapa bahan padat juga dapat memiliki sifat piezoelektrik, yaitu kemampuan untuk menghasilkan listrik saat ditekan atau dijepit. Bahan-bahan seperti kuarsa, turmalin, dan barium titanat memiliki sifat piezoelektrik dan digunakan dalam berbagai aplikasi elektronik.

Zat padat bisa menghasilkan listrik jika memiliki sifat-sifat tertentu, seperti kemampuan untuk mengalirkan muatan listrik atau daya hantar listrik yang baik. Sifat ini umumnya terkait dengan struktur kristal zat padat dan kandungan muatan dalam bahan tersebut.

Contohnya adalah material semikonduktor seperti silikon atau germanium, yang memiliki kemampuan untuk menghantarkan listrik dalam jumlah kecil, namun dapat meningkatkan daya hantarnya dengan menambahkan sedikit tambahan zat lain. Hal ini memungkinkan material tersebut digunakan dalam berbagai aplikasi elektronik, termasuk pembuatan transistor, dioda, dan panel surya.

Sifat listrik zat padat dapat dibagi menjadi dua jenis, yaitu konduktor dan isolator. Konduktor adalah zat padat yang dapat mengalirkan arus listrik dengan mudah, sedangkan isolator adalah zat padat yang tidak dapat mengalirkan arus listrik dengan mudah.

Konduktor terbagi lagi menjadi dua jenis, yaitu konduktor logam dan konduktor elektrolit. Konduktor logam memiliki atom yang sangat mudah melepaskan elektron bebas, sehingga elektron-elektron tersebut dapat bergerak bebas di dalam struktur kristal logam. Contoh konduktor logam adalah tembaga,

perak, dan emas. Sedangkan konduktor elektrolit adalah zat padat yang dapat menghantarkan listrik karena mengandung ion-ion yang dapat bergerak bebas dalam larutan elektrolit. Contohnya adalah garam dapur (NaCl) dan asam sulfat (H₂SO₄).

Isolator juga terbagi menjadi dua jenis, yaitu isolator kovalen dan isolator ionik. Isolator kovalen terdiri dari ikatan kovalen yang sangat kuat, sehingga elektron-elektron tidak dapat bergerak bebas. Contohnya adalah berlian, silikon, dan grafit. Sedangkan isolator ionik terdiri dari ion-ion yang saling terikat melalui gaya elektrostatis yang kuat, sehingga elektron-elektron tidak dapat bergerak bebas. Contohnya adalah kristal natrium klorida (NaCl), magnesium oksida (MgO), dan kalsium karbonat (CaCO₃).

Sifat listrik pada zat padat tergantung pada kemampuan zat padat untuk menghantar listrik. Zat padat dapat dikategorikan menjadi konduktor, isolator, atau semikonduktor berdasarkan kemampuan mereka untuk menghantar listrik.

1. **Konduktor** Konduktor adalah zat padat yang dapat menghantarkan listrik dengan mudah. Elektron di dalam konduktor dapat dengan bebas bergerak melalui bahan, sehingga arus listrik dapat mengalir dengan mudah. Contoh konduktor termasuk logam seperti tembaga, perak, dan aluminium (Jamaaluddin, 2018)
2. **Isolator** Isolator adalah zat padat yang tidak dapat menghantarkan listrik dengan mudah. Elektron di dalam isolator tidak dapat bergerak dengan bebas melalui bahan, sehingga arus listrik tidak dapat mengalir melalui bahan tersebut. Contoh isolator termasuk kayu, kaca, dan plastik.
3. **Semikonduktor** Semikonduktor adalah zat padat yang memiliki sifat antara konduktor dan isolator. Pada suhu tertentu, semikonduktor dapat menghantarkan listrik dengan baik, sedangkan pada suhu yang berbeda, semikonduktor dapat bertindak sebagai isolator. Contoh

semikonduktor termasuk silikon dan germanium (Azriyenni, 2022)

7.2 Sifat konduktivitas

Sifat konduktivitas yaitu kemampuan suatu bahan untuk menghantarkan arus listrik.

1. Material Konduktor : ialah material zat padat yang memiliki sifat penghantar arus listrik yg baik. Konduktor yang baik mempunyai tahanan jenis yang kecil. Pada umumnya logam bersifat konduktif seperti emas, perak, tembaga, alumunium, zink, besi berturut-turut mempunyai tahanan jenis semakin besar. Emas merupakan penghantar yang sangat baik, namun karena harganya maka tembaga dan alumunium lebih sering digunakan.
2. Material Semikonduktor merupakan material yang mempunyai sifat isolator dan konduktor yang sama banyak. Bahan semikonduktor mempunyai sifat penghantar listrik yang paling baik sebab tidak memiliki hambatan atau mendekati nol. Semikonduktor akan menjadi isolator di suhu sangat rendah, dan akan menjadi konduktor pada suhu naik.

Unsur yang bersifat semikonduktor ada pada golongan IV A seperti silikon (Si), Germanium (Ge) dan Karbon (C). Karbon semikonduktor ditemukan dalam bentuk kristal intan, dimana pada suhu yang tinggi dapat digunakan untuk mengurangi imbas panas pada laser.

3. Material Isolator : merupakan material zat padat yg tidak bisa menghantarkan arus listrik seperti karet, kayu, kertas. Isolator sering kita dapatkan pada kabel dimana karet digunakan untuk melapisi logam tembaga sehingga kita tidak tersengat listrik. Isolator yang paling baik adalah tanah sebab bisa menetralkan arus listrik.

7.3 Kegunaan dan aplikasi sifat listrik zat padat

Sifat listrik zat padat dapat digunakan pada:

1. Penggunaan teknologi semikonduktor: Banyak zat padat, seperti silikon dan germanium, memiliki sifat listrik yang sangat berguna dalam teknologi semikonduktor. Sifat ini memungkinkan penggunaan zat padat sebagai bahan dasar dalam pembuatan transistor, mikroprosesor, dan chip komputer.
2. Pemrosesan dan penyimpanan informasi: Sifat listrik zat padat juga memungkinkan penggunaan bahan ini dalam memori komputer. Memori non-volatile seperti flash drive dan kartu memori adalah contoh teknologi yang memanfaatkan sifat listrik zat padat.
3. Pemanfaatan dalam listrik dan elektronik: Sifat listrik zat padat juga memungkinkan penggunaan bahan ini dalam pembuatan resistor, kapasitor, dan induktor dalam rangkaian listrik dan elektronik.
4. Aplikasi di bidang kelistrikan dan elektronik lainnya: Sifat listrik zat padat juga digunakan dalam pembuatan baterai dan sel surya, yang dapat menghasilkan energi listrik dari sumber energi alternatif seperti matahari.
5. Penggunaan dalam bidang medis: Sifat listrik zat padat digunakan dalam bidang medis, termasuk dalam pemindai pencitraan seperti CT scan dan MRI.
6. Penggunaan dalam bidang material: Sifat listrik zat padat juga digunakan dalam bidang material untuk menghasilkan bahan-bahan yang dapat digunakan dalam lingkungan yang memerlukan tahan lama dan kuat terhadap listrik, seperti kabel listrik dan bahan bangunan.

Dalam keseluruhan, sifat listrik zat padat memiliki aplikasi dan kegunaan yang sangat luas dan beragam dalam kehidupan sehari-hari dan industri, terutama dalam bidang teknologi, elektronik, material, dan medis.

Sifat listrik pada zat padat dapat dipengaruhi oleh banyak faktor, termasuk suhu, tekanan, dan konsentrasi zat dalam bahan. Misalnya, semikonduktor dapat diubah menjadi konduktor dengan menambahkan sejumlah kecil zat tertentu ke dalam bahan. Ini disebut doping, dan metode ini digunakan dalam pembuatan komponen elektronik seperti transistor dan dioda.

1. Suhu

Pada umumnya, ketika suhu suatu bahan meningkat, hambatan listriknya akan berkurang. Ini karena ketika suhu meningkat, atom-atom dalam bahan akan bergerak lebih cepat dan menghasilkan lebih banyak getaran. Getaran ini dapat menghalangi aliran elektron dan meningkatkan hambatan listrik.

Namun, ada juga beberapa bahan yang menunjukkan efek sebaliknya, yaitu hambatan listriknya meningkat ketika suhu meningkat (Muslim, 2008). Contohnya adalah semikonduktor tipe P (positive) seperti silikon dan germanium. Pada semikonduktor tipe P, ketika suhu meningkat, elektron dapat mendapatkan energi yang cukup untuk melepaskan diri dari ikatan dengan atom, sehingga meningkatkan hambatan listriknya (Julianto & Supriyadi, 2013).

Selain itu, suhu juga dapat mempengaruhi konduktivitas termal suatu bahan. Ketika suhu meningkat, konduktivitas termal suatu bahan cenderung meningkat karena atom-atom di dalamnya bergerak lebih cepat dan dapat mentransfer energi panas lebih efektif.

2. Tekanan

Tekanan dapat mempengaruhi sifat listrik pada bahan-bahan yang memiliki sifat piezoelektrik atau piezoresistif. Bahan-bahan ini mengalami perubahan dimensi atau bentuk ketika ditekan atau ditarik, dan perubahan ini dapat mempengaruhi sifat listriknya.

Pada bahan piezoelektrik, tekanan dapat menghasilkan muatan listrik pada permukaannya, atau sebaliknya, muatan listrik dapat menghasilkan perubahan dimensi pada bahan tersebut. Contoh bahan piezoelektrik adalah kuarsa dan turmalin, yang digunakan dalam berbagai aplikasi, seperti sensor getaran dan mikrofon.

Sementara itu, pada bahan piezoresistif, tekanan dapat mempengaruhi resistivitasnya. Ketika bahan piezoresistif ditekan, jarak antara atom-atom di dalam bahan berubah, yang dapat mempengaruhi jumlah elektron yang dapat mengalir melalui bahan. Contoh bahan piezoresistif adalah silikon dan germanium, yang digunakan dalam sensor tekanan dan pengukur gaya.

Namun, tidak semua bahan memperlihatkan sifat piezoelektrik atau piezoresistif. Sebagai contoh, logam umumnya kurang sensitif terhadap perubahan tekanan. Oleh karena itu, efek tekanan pada sifat listrik bahan harus dievaluasi terlebih dahulu sebelum digunakan dalam aplikasi teknologi tertentu.

3. Konsentrasi

Konsentrasi zat dapat mempengaruhi sifat listrik karena konsentrasi zat yang tinggi dapat meningkatkan atau menurunkan konduktivitas atau resistivitas bahan (Farandy et al., 2020). Konduktivitas adalah kemampuan suatu bahan untuk menghantarkan arus listrik, sedangkan resistivitas adalah kemampuan bahan untuk menahan aliran arus listrik. Semakin tinggi konsentrasi zat dalam suatu bahan, semakin banyak ion atau molekul yang tersedia untuk menghantarkan listrik, sehingga konduktivitas meningkat (Farandy et al., 2020).

Sebaliknya, jika konsentrasi zat dalam bahan sangat rendah, jumlah ion atau molekul yang tersedia untuk menghantarkan arus listrik akan sedikit, sehingga konduktivitas rendah dan

resistivitas tinggi. Selain itu, konsentrasi zat juga dapat mempengaruhi sifat medan listrik yang dihasilkan oleh bahan tersebut. Semakin tinggi konsentrasi zat dalam bahan, semakin kuat medan listrik yang dihasilkan, dan sebaliknya. Oleh karena itu, konsentrasi zat dapat mempengaruhi sifat listrik bahan secara signifikan.

7.4. Energi Penghasil Listrik

Atom dapat berperan dalam beberapa jenis pembangkit listrik. Pembangkit listrik tenaga nuklir menggunakan reaksi nuklir dari atom-atom radioaktif untuk menghasilkan panas, yang kemudian digunakan untuk menghasilkan uap yang akan memutar turbin dan menghasilkan listrik.

Pembangkit listrik tenaga surya menggunakan sel surya, yang terbuat dari bahan semikonduktor seperti silikon. Saat cahaya matahari mengenai sel surya, elektron di dalam bahan semikonduktor akan terlepas dari ikatan dengan atom dan menghasilkan arus listrik. Pembangkit listrik tenaga angin menggunakan turbin angin untuk menghasilkan listrik. Angin memutar bilah-bilah turbin, yang kemudian menggerakkan generator untuk menghasilkan listrik.

Dalam semua kasus ini, atom tidak langsung menghasilkan listrik, namun berperan dalam menghasilkan energi yang kemudian digunakan untuk menghasilkan listrik.

Ada beberapa cara untuk menghasilkan listrik, di antaranya (Muslim, 2008):

1. **Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA):** PLTA menggunakan air sebagai sumber energi untuk menghasilkan listrik. PLTA biasanya terletak di sungai atau waduk dan air yang mengalir diubah menjadi energi kinetik yang kemudian

digunakan untuk menggerakkan turbin yang menghasilkan listrik.

2. Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU): PLTU menggunakan batu bara sebagai bahan bakar untuk menghasilkan uap yang kemudian digunakan untuk menggerakkan turbin yang menghasilkan listrik.
3. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS): PLTS menggunakan panel surya untuk menangkap sinar matahari dan mengubahnya menjadi listrik. Panel surya dapat dipasang di atap rumah atau gedung untuk memanfaatkan energi matahari secara efektif.
4. Pembangkit Listrik Tenaga Angin (PLTA): PLTA menggunakan turbin angin untuk menghasilkan listrik. Turbin angin akan berputar ketika terkena angin dan menggerakkan generator yang menghasilkan listrik.
5. Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN): PLTN menggunakan reaksi nuklir untuk menghasilkan panas yang kemudian digunakan untuk menggerakkan turbin yang menghasilkan listrik. PLTN biasanya menggunakan uranium sebagai bahan bakar.
6. Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG): PLTG menggunakan gas alam atau minyak bumi sebagai bahan bakar untuk menghasilkan listrik. Gas atau minyak dibakar untuk menghasilkan uap yang kemudian digunakan untuk menggerakkan turbin yang menghasilkan listrik.

7.5 Listrik pada tubuh manusia

Tubuh manusia menghasilkan dan mengalami aliran listrik. Proses ini terjadi karena sel-sel tubuh mengandung muatan listrik dan berinteraksi dengan lingkungan sekitarnya yang juga mempunyai muatan listrik. Salah satu contoh aliran listrik dalam tubuh adalah impuls listrik yang terjadi dalam sistem saraf, di mana sinyal listrik dihasilkan dan dikirimkan dari satu neuron ke neuron lainnya untuk mengirimkan informasi dan mengontrol fungsi tubuh. Selain itu, sel-sel otot juga menghasilkan muatan

listrik saat kontraksi, yang dapat diukur menggunakan elektromiografi. Oleh karena itu, bisa dikatakan bahwa tubuh manusia memang mempunyai listrik dan ini merupakan bagian penting dari fungsi tubuh manusia (Muslim, 2008).

Saat tubuh terkena arus listrik, arus tersebut dapat mengalir melalui jaringan tubuh dan menyebabkan kerusakan atau cedera pada organ dan jaringan. Efeknya dapat bervariasi tergantung pada sejumlah faktor seperti kekuatan arus, durasi paparan, dan jalan arus melalui tubuh.

Beberapa efek umum yang dapat terjadi pada tubuh saat terkena arus listrik adalah:

1. Kerusakan jaringan: Arus listrik yang tinggi dapat menyebabkan kerusakan jaringan di sekitar area yang terkena. Hal ini bisa terjadi karena arus listrik dapat merusak sel-sel tubuh dan menyebabkan luka bakar atau kerusakan jaringan lainnya.
2. Gangguan jantung: Arus listrik yang melalui jantung dapat menyebabkan gangguan irama jantung atau bahkan berhentinya jantung. Ini dapat menyebabkan serangan jantung atau kematian.
3. Kerusakan saraf: Arus listrik yang melalui saraf dapat menyebabkan kerusakan pada saraf tersebut. Ini dapat menyebabkan kelemahan atau kehilangan fungsi di area yang dikendalikan oleh saraf tersebut.
4. Kontraksi otot: Arus listrik dapat menyebabkan kontraksi otot yang kuat dan tidak terkendali. Ini dapat menyebabkan kerusakan pada otot atau bahkan tulang jika kekuatan kontraksi cukup besar.
5. Efek termal: Arus listrik dapat menyebabkan pemanasan di sekitar area yang terkena. Hal ini dapat menyebabkan luka bakar atau kerusakan jaringan lainnya.

Dunia Kedokteran memanfaatkan peristiwa listrik tubuh untuk mendiagnosa (Muslim, 2008):

1. Otak, yang disebut Elektroensefalografi (EEG) untuk mendeteksi gejala epilepsi, tumor, geger otak dan kelainan otak lainnya.
2. Jantung, yang disebut Elektrokardiografi (EKG/ECG) untuk mengetahui aktivitas potensial listrik di jantung
3. Otot, yang disebut Elektromyografi (EMG) untuk mendeteksi potensial listrik yang dihasilkan oleh sel otot ketika otot berkontraksi dan berelaksasi. Otot akan menghasilkan arus listrik yang proporsional dengan tingkat aktifitas otot.

Demikianlah bab tentang Sifat listrik zat padat, semoga kita lebih paham tentang sifat listrik dan dapat dimanfaatkan serta dikelola dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Azriyenni. (2022). *Bahan-Bahan Listrik*. Deepublish.
- Farandy, G., Teknik, F., & Telkom, U. (2020). Pengaruh Konsentrasi Dan Temperatur Terhadap Daya Dan Tegangan Keluaran Listrik Pada Baterai Air Garam Dengan Metode Sel Elektrokimia. *E-Proceeding of Engineering*, 7(3), 9278–9285.
- Jamaaluddin. (2018). *Struktur Atom dan Jenis Bahan*. Umsida Press.
- Julianto, B., & Supriyadi. (2013). Pengaruh suhu terhadap hambatan rangkaian listrik. *Jurnal Fisika*, 3(2), 102–104.
- Muslim, S. (2008). *Teknik Pembangkit Tenaga Listrik*. Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan.
- Musyafaah, Eva et al. Sintesis, Karakterisasi Struktur dan Sifat Termal Bahan Konduktor Superionik Berbasis Gelas $(\text{Ag}_2\text{S})_x(\text{AgPO}_3)_{1-x}$. *Jurnal Sains Materi Indonesia*, [S.l.], v. 3, n. 3, p. 19 - 23, dec. 2018. ISSN 2614-087X.

BAB 8

SIFAT MAGNETIK ZAT PADAT

Oleh Neny Rochyani

8.1 Dasar Teori Magnet

Secara umum magnet adalah logam yang dapat menarik besi atau baja dan memiliki medan magnet. Magnet berasal dari kata magnesita yaitu nama suatu daerah di Asia kecil, ditemukan sejenis batu yang memiliki sifat dapat menarik besi atau baja atau campuran logam lainnya sekitar 4.000 tahun lalu. Benda yang dapat menarik besi atau baja inilah yang disebut magnet (Siswanto, J., 2018).

Hal yang sama menyatakan, material magnet merupakan suatu benda atau bahan yang mempunyai daya tarik terhadap benda yang mempunyai unsur logam atau besi di sekelilingnya. Sejak zaman dahulu telah diketahui beberapa bijih material atau batuan warna metalik bersifat partikel besi. Mineral atau batuan itu disebut magnetik atau batuan bermuatan (Lubis, Haryadi, 2010).

Dalam fisika, magnetik adalah hasil dari pergerakan partikel subatomik, elektron, dan juga muatan listrik di dalamnya menghasilkan gaya tarik-menarik atau tolak-menolak antar kedua benda yang berbeda. Ini adalah gaya 'non-kontak' yang mempengaruhi setiap objek yang berbeda di dunia, pada tingkat yang lebih besar atau lebih kecil.

Sebuah magnet memiliki dua kutub (utara-selatan) terdiri atas magnet-magnet kecil dengan arah yang sama dan tersusun teratur. Magnet-magnet kecil disebut magnet elementer.

Sebaliknya untuk logam bukan magnet, akan memiliki arah sembarang dan tidak teratur pada magnet elementernya, mengakibatkan tidak adanya kutub pada kedua ujungnya (Callister, W. and Rethwisch, D. 2007). Apabila kedua kutub magnet diarahkan berlawanan akan terjadi tarik menarik sedangkan jika kutub yang sama dihadapkan maka akan saling menolak.

Menurut Satuan Internasional (SI) dalam system metrik, satuan intensitas magnet Tesla dan total fluks magnetic adalah Weber per luas satu meter persegi ($1 \text{ Weber/m}^2 = 1 \text{ Tesla}$).

8.2 Unsur Magnetik Zat Padat

Unsur pembentuk magnet zat padat terbagi atas dua kelompok utama, yaitu feromagnetik dan paramagnetic. Akan tetapi ada beberapa unsur atau bahan lainnya sebagai pembentuk magnet zat padat seperti diamagnetik, antiiferomagnetik dan ferimagnetik. (German, Randall M. 1996)

- a. Unsur feromagnetik
Merupakan unsur yang menghasilkan kerentanan magnet yang tinggi karena memiliki momen magnet intristik yang kuat, seperti besi (Fe), nikel (Ni) dan kobalt (Co).
- b. Unsur paramagnetik
Unsur ini tidak memiliki elektron berpasangan sehingga menghasilkan momen magnet yang lemah dan kerentanan magnet yang rendah, yaitu aluminium (Al), tungsten (W) dan platina (Pt).
- c. Unsur diamagnetik
Adalah bahan yang ditolak dengan lemah oleh medan magnet karena tidak memiliki momen magnet intrinsik, misal tembaga (Cu), emas (Au), perak (Ag), dan karbon (C).
- d. Unsur antiiferomagnetik

Unsur yang tidak ada magnetisasi bersihnya sehingga momen magnetik intrinsik saling meniadakan, contoh mangan oksida (MgO) dan kromium (Cr).

e. Unsur ferrimagnetik

Memiliki dua subkisi magnetik dengan momen magnetik berbeda yang tidak membatalkan satu sama lain, menghasilkan momen magnetik bersih. Contoh bahan ferrimagnetik termasuk magnetit (Fe_3O_4) dan ferit ($\alpha\text{-Fe}$).

Momen magnetik merupakan kecenderungan suatu benda untuk berperilaku seperti magnet yang dihasilkan oleh arus listrik atau gerakan elektron. Momen magnetik akan terpolarisasi atau terorientasi sehingga diperoleh gaya magnetik apabila benda ditempatkan dalam medan magnet. Momen magnetik berkaitan erat dengan jenis sifat magnetik zat padat yang dimiliki oleh suatu bahan.

Momen magnetik biasanya dalam satuan magnetik, seperti tesla atau gauss. Akan tetapi, berdasarkan sifat magnetik zat padat, momen magnetik diukur dengan satuan magneton Bohr, yang setara dengan $\mu_B = e\hbar/2m_e$, di mana e adalah muatan elektron, $\hbar$ adalah konstanta Planck yang direduksi, dan m_e adalah massa elektron. (Halliday, D., Resnick, R. 1984).

8.3 Karakteristi Sifat Magnetik Zat Padat

Magnetisme adalah sifat dasar materi yang muncul dari gerakan partikel bermuatan, seperti elektron, dalam suatu material. Pada bahan padatan dapat menunjukkan berbagai sifat magnetik, termasuk klasifikasi unsur-unsur magnet. Apabila bertemu medan magnet respon bahan padat akan menjadi acuan sifat magnetik benda padat yang bergantung pada susunan atom, konfigurasi elektron dan struktur kristalnya. Di berbagai bidang, termasuk fisika, teknik dan ilmu material, menjadikan peranan sifat magnetik benda padat menjadi penting dipelajari

untuk memajukan teknologi. Karakterisasi dan pemahaman tentang perilaku magnetik bahan padat dapat diketahui sifat magnetnya dengan teknik magnometri, pencitraan resonansi magnetik dan pengukuran kerentanan magnetik.

Berbagai faktor, seperti suhu, tekanan, dan pengotor memengaruhi sifat magnetik elemen padat. Contoh sifat magnetik dan struktur kristal besi akan berubah karena adanya pengaruh kotoran. Atau karena penambahan sejumlah kecil unsur karbon atau mangan akan berpengaruh pada sifat magnetik besi. (Callister, William, D., Rethwisch., David, G. 1994)

8.4 Metode Pengukuran Magnetik

Pengukuran sifat magnetik zat padat tergantung pada tingkat ketelitian yang diperlukan dan jenis sifat magnetik yang ingin diukur. Secara umum metode yang digunakan sebagai berikut (Soebyakto . 2017):

- a. Spektroskopi NMR (Nuclear Magnetic Resonance)
Metode ini sangat berguna dalam penelitian kimia organik dan biokimia, dimana pengukuran magnetik digunakan untuk mempelajari sifat magnetik dari atom dan molekul. Di bidang kedokteran metode Spektroskopi NMR dimanfaatkan untuk mendeteksi masalah kesehatan seperti tumor.
- b. Spektroskopi ESR (Electron Spin Resonance)
Spektroskopi ESR adalah metode pengukuran sifat magnetik zat padat pada momen magnetik elektron dalam bahan radikal bebas dan bahan paramagnetik atau ferromagnetik. Metode ini memberi informasi tentang sifat magnetik zat padat dalam skala elektronik, misalnya jumlah elektron yang terlibat dalam momen magnetik.
- c. Magnetometri

Merupakan alat dengan metode pengukuran yang digunakan untuk mengukur induksi magnetik suatu benda yang ditempatkan dalam medan magnet, seperti magnet permanen dan bahan ferromagnetik. Dari hasil pengukuran ini, akan didapat informasi tentang magnitudo momen magnetik suatu benda dan jenis sifat magnetiknya. Magnetometri yang biasa digunakan adalah magnetometer Hall dan magnetometer SQUID (Superconducting Quantum Interference Device).

d. Permeabilitas magnetik

Adalah metode pengukuran untuk mengetahui sifat magnetic zat padat skala makroskopik dengan seberapa mudah suatu bahan dapat ditembus oleh medan magnet. Informasi berkenaan jenis sifat magnetik dan magnitudo momen magnetik bahan dapat diketahui pada pengukuran permeabilitas magnetik.

e. Pengukuran gaya magnetik

Untuk mengukur momen magnetik zat padat dengan tingkat ketelitian yang cukup tinggi dapat digunakan metode pengukuran gaya magnetik dengan memanfaatkan efek gaya magnetik pada benda. Dari pengukuran sifat magnetik zat padat dengan metode ini maka magnitudo momen magnetik suatu benda dapat diketahui.

f. Pengukuran suhu Curie

Yaitu metode pengukuran sifat magnetik zat padat yang dapat membedakan bahan ferromagnetik dari bahan paramagnetik atau diamagnetic dengan mengetahui perubahan sifat magnetik bahan pada suhu tertentu. Suhu Curie adalah suhu di mana bahan ferromagnetik kehilangan sifat magnetiknya dan menjadi paramagnetik.

8.5 Pengaruh Sifat Magnetik Zat Padat

Munculnya fenomena dari interaksi antara sifat magnetik zat padat dan momen magnetik elektron pada unsur lain merupakan pengaruh atau efek sifat magnetik zat padat pada suatu unsur. Pengaruh magnetik zat padat pada unsur lain tergantung dari beberapa faktor, yaitu: kekuatan medan magnet, jenis magnet yang ada pada zat padat dan jarak antara zat padat dan unsur lainnya. (Istiyono, E. 2000). Beberapa pengaruh dari hasil interaksi ini adalah sebagai berikut :

a. Magnetisasi

Magnetisasi terjadi saat padatan magnetik memagnetisasi elemen non-magnetik terdekat untuk menyesuaikan momen magnetiknya dengan medan magnet padatan, misal pada unsur feromagnetik atau ferrimagnetik. Magnetisasi dapat digunakan untuk membuat perangkat penyimpanan memori magnetik, seperti hard drive dan pita magnetik.

b. Peningkatan medan magnet

Adanya interaksi antara medan magnet benda padat dan medan magnet elemen dengan jaraknya yang dekat menyebabkan peningkatan medan magnet. Untuk meningkatkan sensitivitas beberapa detektor dan sensor perlu digunakan peningkatan medan magnet, misal pada sensor magnetik agar lebih mudah dideteksi maka medan magnet pada sumber magnet terdekat dapat ditingkatkan dari padatan magnet.

c. Induksi

Induksi merupakan salah satu pengaruh magnetik dari interaksi antara medan magnet benda padat dan momen magnet elektron dalam unsur non-magnetik yang mendeteksi sinyal sehingga dapat menghasilkan gambar. Hal inilah yang menjadi dasar bidang medis melalui sifat

magnetik jaringan untuk teknik pencitraan resonansi magnetik (MRI) yang dapat diterapkan pada tubuh.

d. Pelindung medan magnet

Akibat adanya interaksi antara medan magnet benda padat dan medan magnet sumber eksternal maka digunakan pelindung medan magnet. Padatan magnet dapat melindungi elemen magnet yang terdekat dari medan magnet eksternal. Contohnya, untuk mencegah interferensi medan magnet eksternal di saluran listrik, motor atau elektromagnetik lainnya pada sirkuit atau perangkat elektronika.

8.6 Implementasi dan Manfaat Sifat Magnetik Zat Padat

Implementasi sifat magnetik zat padat di bidang ilmu pengetahuan dan teknologi sebagai berikut (Soebyakto . 2017):

- a. Pengobatan, dalam terapi dengan alat magnetik digunakan untuk membantu meningkatkan aliran darah dan mengurangi rasa sakit/nyeri.
- b. Pemisahan material yang memiliki sifat magnetik zat padat dengan material lain, misal proses pemisahan bijih besi dengan material lain yang tidak diinginkan.
- c. Industri, untuk menghasilkan medan magnet yang digunakan pada pengoperasian mesin-mesin, contoh pembuatan transformator, motor dan generator.
- d. Pembuatan magnet permanen berbahan besi, kobalt dan nikel maupun magnet sementara dengan bahan aluminium dan tembaga.
- e. Pembuatan komponen elektronika, seperti induktor dan transformator, dimana sifat magnetik zat padat dapat memanipulasi medan magnet yang dihasilkan aliran listrik.
- f. Penyimpanan data, prosesnya informasi disimpan dalam medan magnet yang dapat ditulis dan dibaca pada kartu memori dan hard disk.

- g. Sensor dan detektor, sebagai alat petunjuk medis dan system navigasi. Misal sensor yang mendeteksi detak jantung dan pendeteksi posisi dan orientasi pada navigasi.

Dalam lingkungan kehidupan sehari-hari, beberapa manfaat sifat magnetik zat padat antara lain (Abdullah, M. 2017):

- a. Penunjuk arah, kompas
- b. Pengubah getaran suara, speaker dan headset
- c. Alat ukur listrik, voltmeter
- d. Dinamo sepeda, cahaya lampu sepeda
- e. Perekat penutup benda, tas, dompet, pintu kulkas
- f. Menarik benda, katrol dan mencari benda metal kecil (jarum, paku, dan lainnya)

DAFTAR PUSTAKA

- Dr. Priyono, M.Si. 2009. Karakterisasi Magnetik dan Absorpsi Gelombang Mikro Material Magnet Berbahan Dasar Barium Hexa Ferrite.
- German, Randall M. 1996. Sintering Theory and Practice. USA : Harvard.
- Lubis, Haryadi, Sri Ana Yulianti, dan Ika Ermayana. 2010. Sifat Magnetik Zat Padat. Universitas Lambung Mangkurat.
- Abdullah, M. 2017. *Fisika Dasar II*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Siswanto, J., Susantini, E., dan Jatmiko, B. 2018. Fisika Dasar, Seri: Listrik Arus Searah dan Kemagnetan. Semarang: UPGRIS Press.
- Soebyakto. 2017. *Fisika Terapan 2*. Tegal: Badan Penerbit Universitas Pancasakti Tegal.
- Callister, W. and Rethwisch, D. 2007. Materials Science and Engineering: An Introduction. 7th edn, Quebecor Versailles. 7th edn. United State of America: Quebecor Versailles.
- Callister, William, D., Rethwisch, & David, G. 1994. Material Science and Engineering. John Wiley & Sons. Singapura.
- Halliday, D & Resnick, R. 1984. Fisika Jilid 1. Erlangga. Jakarta
- Istiyono, E. 2000. Fisika Zat Padat. Yogyakarta. Universitas Negeri Yogyakarta.

BAB 9

CACAT KRISTAL DAN SENYAWA NON STOIKIOMETRI

Oleh Ani Qomariyah

9.1 Pengertian Cacat Kristal

Susunan atom pada kristal yang semuanya teratur mengikuti pola tertentu merupakan kristal yang sempurna. Cacat kristal yang dimaksudkan dalam bab ini merupakan susunan atom dalam kristal yang tidak sempurna atau cacat. Ketidaktepatan susunan atom dalam kristal (*latice*) dapat diakibatkan oleh adanya pendinginan (*solidifikasi*) maupun akibat adanya pengaruh dari luar. Pada faktanya, susunan atom dalam suatu kristal tidak selalu sempurna dan identik di seluruh bagiannya. Akan tetapi, biasanya kristal terdapat cacat, yang biasanya terjadi pada bagian kisi kristal (Andreev dan Lifshitz, 2010).

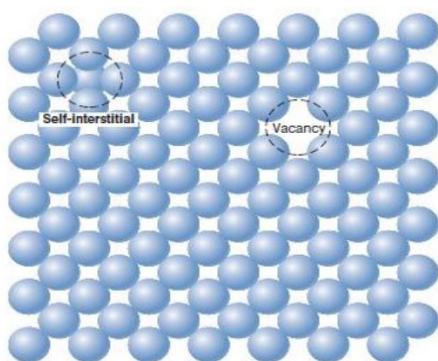
Konsep geometris merupakan suatu konsep yang mendefinisikan ketidaktepatan kristal, sehingga cacat kristal juga diklasifikasikan secara geometris. Cacat kristal secara geometris ada dalam beberapa jenis yaitu: cacat dimensi nol (cacat titik), cacat dimensi satu (cacat garis) dan cacat dimensi dua (cacat bidang), serta ada juga cacat volume (Rao dkk., 1995).

9.2 Jenis-jenis Catat Kristal

9.2.1 Cacat Titik

a. Vakansi dan Interstisi-Diri

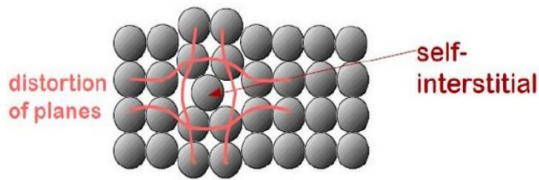
Vakansi merupakan sisi kisi yang kosong, terdapat kehilangan atom dikarenakan adanya perpindahan atom akibat getaran atom yang terbentuk selama proses pembekuan (Gambar 9.1).



Gambar 9.1 Representasi vakansi dan interstisi-diri dalam dua dimensi

(Sumber : A.G. Guy, Essentials of Materials Science, McGraw-Hill Book Company, New York, 1976, p.153)

Interstisi-Diri (*self-interstitial*) merupakan sebuah atom dari bahan kristal yang masuk berdesakan ke dalam sisi kristal, yaitu atom lain yang masuk ke dalam ruang kosong kecil yang dalam kondisi normal seharusnya tidak terdapat atom ini. Keadaan ini mengakibatkan adanya distorsi yang cukup besar di area kisi disebabkan ukuran atom interstisi yang lebih besar dibandingkan dengan ruang interstisi. Oleh karena itu, fenomena ini jarang terjadi dan kecil kemungkinannya.



Gambar 9.2 Representasi interstisi-diri

(Sumber : A.G. Guy, Essentials of Materials Science, McGraw-Hill Book Company, New York, 1976)

b. Ketidakmurnian pada Bahan Padat

Ketidakmurnian atau impuritas merupakan adanya atom asing yang lain yang berada di material. Tidak mungkin logam murni hanya terdiri dari satu jenis atom saja, akan tetapi dapat terjadi adanya impuritas yang menyebabkan cacat titik pada kristal tersebut. Namun, atom logam ada yang sengaja diberikan impuritas untuk meningkatkan karakteristik dari material, yang dinamakan paduan logam. Sebagai contoh, perak *sterling* merupakan paduan 7,5% tembaga dan 92,5% perak. Tembaga yang ditambahkan ke dalam perak ini akan mengakibatkan kekuatan mekanik naik.

Larutan padat dan atau fasa kedua yang baru dapat terbentuk apabila terdapat penambahan logam lain sebagai spesies impuritas. Hal ini tergantung juga pada konsentrasi impuritas, suhu paduan, serta jenis impuritas.

Terbentuknya larutan padat terjadi ketika atom ditambahkan pada material induk. Kondisi ini menyebabkan struktur kristal tetap dan tidak terbentuk struktur baru. Diibaratkan campuran air dan alkohol yang akan terbentuk larutan cair saat komposisinya homogen dan molekulnya bercampur. Ketidakmurnian cacat titik terdapat dalam dua jenis yaitu interstiti dan substitusi. Derajat kelarutan atom

solute pada atom pelarut dipengaruhi oleh ciri atom pelarut dan zat terlarut sebagai berikut:

1. Elektronegativitas

Apabila elektronegativitas atom lain naik, dan semakin elektropositif atom induk, maka semakin besar kecenderungan atom-atom ini menghasilkan senyawa logam dibandingkan dengan bentuk larutan padat substitusi

2. Struktur kristal

Struktur kristal kedua atom logam harus memiliki jenis sama agar terbentuk larutan padatan

3. Faktor ukuran atom

Jika perbedaan jari-jari atom antara kedua atom tidak lebih dari 15%, maka dapat terjadi larutan padat

4. Valensi

Logam yang valensinya tinggi akan memberikan peluang yang lebih besar untuk melarutkan logam lainnya, apabila faktor-faktor yang lain sama.

c. Spesifikasi Komposisi

Komposisi dari sebuah paduan dapat dituliskan dalam bentuk unsur-unsur pokoknya. Terdapat dua cara untuk menyatakan komposisi yaitu %wt (persen berat) dan persen atom. Berikut ini rumus untuk menentukan konsentrasi atom pertama dalam %wt (persen berat) di dalam campuran atom pertama dan atom kedua, dimana konsentrasi atom kedua (C_2) dapat dicari dengan menggunakan rumus yang sama dibawah ini:

$$C_1 = \frac{m_1}{m_1 + m_2} \times 100$$

Keterangan : C_1 = konsentrasi atom pertama

m_1 = massa (berat) atom pertama

m_2 = massa (berat) atom kedua

Konversi dari % atom ke % berat adalah sebagai berikut :

$$C_1 = \frac{C'_1 A_1}{C'_1 A_1 + C'_2 A_2} \times 100$$

$$C_2 = \frac{C'_2 A_2}{C'_1 A_1 + C'_2 A_2} \times 100$$

Konversi dari % berat ke % atom adalah sebagai berikut :

$$C'_1 = \frac{C_1 A_2}{C_1 A_2 + C_2 A_1} \times 100$$

$$C'_2 = \frac{C_2 A_1}{C_1 A_2 + C_2 A_1} \times 100$$

Berikut ini perhitungan berat atom paduan (A):

$$A_{ave} = \frac{C'_1 A_1 + C'_2 A_2}{100}$$

$$A_{ave} = \frac{100}{\frac{C_1}{A_1} + \frac{C_2}{A_2}}$$

Perhitungan massa jenis paduan (ρ) adalah sebagai berikut :

$$\rho_{ave} = \frac{C'_1 A_1 + C'_2 A_2}{\frac{C'_1 A_1}{\rho_1} + \frac{C'_2 A_2}{\rho_2}}$$

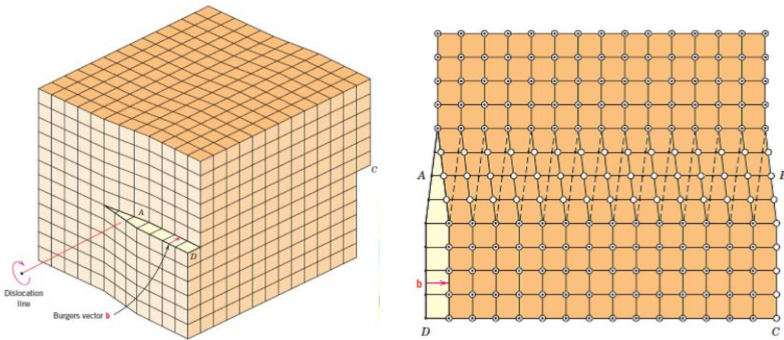
$$\rho_{ave} = \frac{100}{\frac{C_1}{\rho_1} + \frac{C_2}{\rho_2}}$$

9.2.2 Cacat Linier (Dislokasi)

Cacat linier atau dislokasi merupakan cacat kristal jenis satu **dimensi** yang terdapat beberapa atom dengan letak yang tidak segaris. Ada tiga macam cacat linier atau dislokasi, yaitu dislokasi ulir, dislokasi sisi, dan dislokasi campuran (Read, 1953).

a. Dislokasi Ulir

Jenis dislokasi ini dapat terjadi karena adanya gaya geser yang diberikan dan menghasilkan distorsi seperti Gambar 9.3 di bawah ini. Pada bagian atas kristal dan daerah depannya bergeser sebesar satu atom ke bagian kanan relatif terhadap bagian bawah. Simbol $\perp$ merupakan simbol dari dislokasi jenis ini.

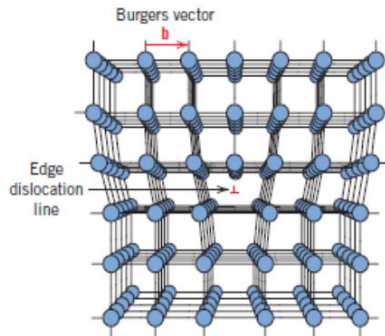


Gambar 9.3 (a) Dislokasi ulir pada sebuah kristal dan (b) Dislokasi sisi pada penampakan dari atas.

(Sumber: W.T.Read, Dislocations in Crystals, Mc.Graw-Hill Book Company, New York, 1953)

b. Dislokasi Sisi

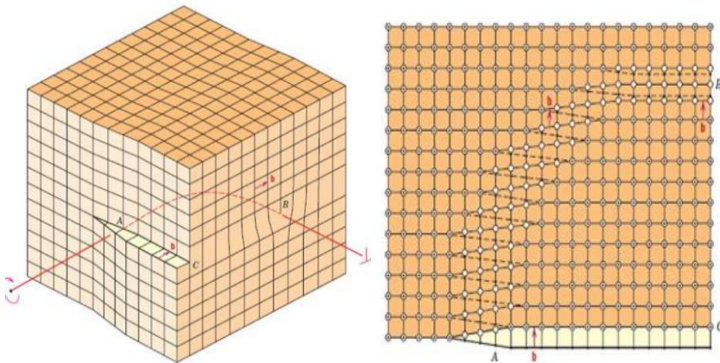
Disebut juga dislokasi pinggir, merupakan adanya bidang atom tambahan atau separo bidang yang sisi di dalam kristal putus. Berikut ini gambar skematik dari cacat linier (dislokasi) sisi. Simbol $\perp$ merupakan simbol dari dislokasi sisi (Guy, 1976).



Gambar 9.4 Posisi atom di sekitar dislokasi sisi
(Sumber : A.G. Guy, *Essentials of Materials Science*, McGraw-Hill Book Company, New York, 1976)

c. Dislokasi Campuran

Merupakan campuran dari kedua jenis dislokasi di atas, yaitu campuran dari dislokasi ulir dan dislokasi sisi. Berikut ini contoh dislokasi sisi. Dislokasi jenis ini dapat terjadi dikarenakan adanya tegangan termal sebagai hasil pendinginan yang cepat.



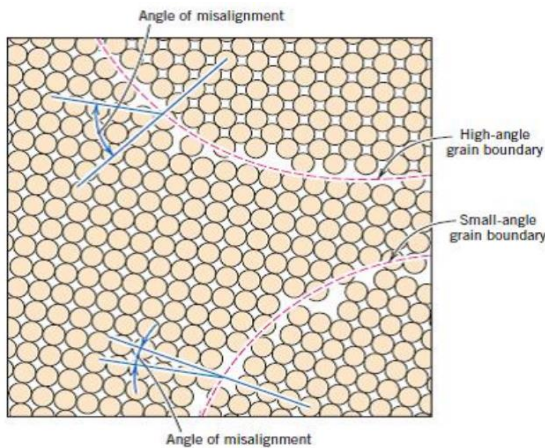
Gambar 9.5 (a) Representasi skematik dari dislokasi campuran dan (b) Dislokasi campuran yang tampak dari atas
(Sumber: W.T.Read, *Dislocations in Crystals*, Mc.Graw-Hill Book Company, New York, 1953)

9.2.3 Cacat Antar Muka

Cacat kristal dengan jenis cacat antar muka merupakan batas yang memiliki 2 dimensi yang pada umumnya memisahkan area-area pada perbedaan orientasi kristalografi dan atau padatan dengan struktur kristal. Macam-macam cacat antar muka yaitu batas butir, batas kembar, batas fasa, dan kesalahan tumpukan, permukaan luar.

a. Batas Butir

Pada polikristal, batas ini memisahkan 2 kristal kecil atau butiran kristal dengan orientasi kristalografi tidak sama. Batas butir diilustrasikan pada Gambar 9.6 di bawah ini di mana pada daerah transisi terdapat atom yang tidak seragam dari atom satu ke atom lain yang berdekatan.

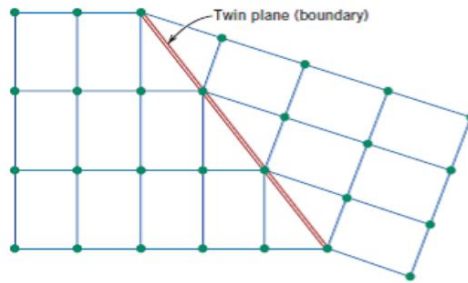


Gambar 9.6 Diagram skematik yang menunjukkan butir dengan sudut besar dan sudut kecil serta posisi atom kosong

(Sumber: W.T.Read, Dislocations in Crystals, Mc.Graw-Hill Book Company, New York, 1953)

b. Batas Kembar

Batas kembar merupakan batas butir dengan jenis khusus. Jenis khusus ini yaitu adanya simetri pada kisi cermin. Kisi cermin merupakan beberapa atom yang berada pada posisi cermin dibandingkan dengan atom lain pada sisi lain dari sebuah sisi batas. Daerah yang terbentuk dari batas butir jenis ini penampakkannya sama atau kembar sehingga disebut dengan batas kembar.

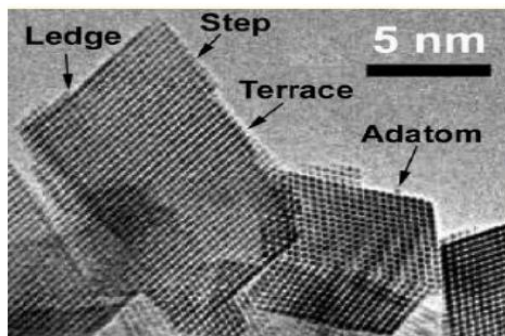


Gambar 9.7. Diagram skematik yang menunjukkan batas kembar

(Sumber: W.T.Read, *Dislocations in Crystals*, Mc.Graw-Hill Book Company, New York, 1953)

c. Permukaan Luar

Struktur kristal akan berakhir jika terdapat batas permukaan luar. Pada area ini, atom-atom bebas dan tidak membentuk ikatan dengan atom didekatnya. Hal ini dikarenakan, apabila atom berikatan dengan atom lain maka akan terbentuk energi yang lebih tinggi dibandingkan dengan atom-atom yang terletak di bagian dalam. Tidak terbentuknya ikatan antar atom pada atom permukaan ini menyebabkan adanya kenaikan energi permukaan. Energi ini dinyatakan dengan J/m^2 (satuan energi per satuan luas). Dari rumus ini terlihat bahwa agar energi atom tersebut dapat diturunkan, maka atom-atom harus mempersempit luas permukaan total.



Gambar 9.8 Penampakan HR-TEM (*High Resolution – Transmission Electron Microscopy*) dari kristal tunggal ($\text{Ce}_{0,5}\text{Zr}_{0,5}\text{O}_2$) yang merupakan material untuk konversi katalis pada automobil. Cacat permukaan terlihat pada kristal ini.

(Sumber: W.T.Read, *Dislocations in Crystals*, Mc.Graw-Hill Book Company, New York, 1953)

9.2.4 Cacat Volume atau *Bulk*

Cacat ini merupakan cacat jenis lain dari kristal. Cacat ini penampakkannya lebih besar dibandingkan dengan cacat lain di atas, yaitu retak, pori, fasa lain, dan masuknya benda asing. Cacat volume atau *bulk* ini paling umum dapat terjadi pada saat kristal padat melewati tahapan fabrikasi dan tahapan proses.

9.3 Manfaat Cacat Kristal

Cacat pada kristal padatan ternyata memiliki banyak manfaat diantaranya yaitu sifat listrik material dapat berubah dikarenakan adanya kekosongan pada kristal. Selain dapat mengubah sifat listrik pada material, sifat mekanik material juga dapat berubah dikarenakan adanya cacat kristal seperti dislokasi, kekosongan, dan batas. Contohnya adalah pembuatan semikonduktor tipe n yang memanfaatkan cacat kristal ini, dimana kristal fosfor didoping oleh kristal silikon.

9.4 Senyawa Non-Stoikiometri

Bagian sebelumnya dari bab ini telah menunjukkan adanya kemungkinan untuk memasukkan cacat ke dalam kristal sempurna dengan menambahkan pengotor. Penambahan seperti itu menyebabkan terbentuknya cacat titik. Diinduksi oleh kotoran cacat dikatakan ekstrinsik. Penting untuk diketahui bahwa ketika menilai cacat apa telah dibuat dalam kristal, penting untuk diingat bahwa muatan keseluruhan pada kristal harus selalu nol.

Pusat warna terbentuk jika kristal NaCl dipanaskan dalam uap natrium; natrium dimasukkan ke dalam kristal, dan rumusnya menjadi Na_{1+x}Cl . Atom natrium menempati situs kation, menciptakan jumlah lowongan anion yang setara; mereka kemudian terionisasi untuk membentuk kation natrium dengan elektron yang terperangkap pada kekosongan anion. Zat padat yang terbentuk adalah senyawa non-stoikiometri karena rasio komponen atom tidak lagi bilangan bulat sederhana yang kita harapkan untuk senyawa yang terkarakterisasi dengan baik. Sebuah analisis yang cermat terhadap banyak zat, terutama padatan anorganik, menunjukkan hal itu umum untuk rasio atom menjadi non-integral. Uranium dioksida, misalnya, bisa rentang komposisi dari $\text{UO}_{1.65}$ hingga $\text{UO}_{2.25}$, tentu saja bukan UO_2 sempurna yang mungkin kita mengharapakan. Ada banyak contoh lain, beberapa di antaranya kita bahas secara mendetail.

Singkatnya, senyawa non-stoikiometri dapat memiliki formula yang tidak memiliki rasio bilangan bulat sederhana dari atom; mereka juga biasanya menunjukkan berbagai komposisi. Mereka bisa dibuat dengan memasukkan ketidakmurnian ke dalam suatu sistem, tetapi seringkali merupakan konsekuensi dari kemampuan logam untuk menunjukkan valensi variabel. Tabel 9.1 mencantumkan beberapa non-stoikiometri senyawa beserta rentang komposisinya (Smart dan Moore, 2005).

Tabel 9.1 Perkiraan Rentang Komposisi untuk Beberapa Senyawa Non-Stoikiometri

Senyawa		Rentang Komposisi
TiO_x	TiO	$0.65 < x < 1.25$
	TiO_2	$1.998 < x < 2.000$
VO_x	VO	$0.79 < x < 1.29$
Mn_xO	MnO	$0.848 < x < 1.000$
Fe_xO	FeO	$0.833 < x < 0.957$
Co_xO	CoO	$0.988 < x < 1.000$
Ni_xO	NiO	$0.999 < x < 1.000$
CeO_x	Ce_2O_3	$1.50 < x < 1.52$
ZrO_x	ZrO_2	$1.700 < x < 2.004$
UO_x	UO_2	$1.65 < x < 2.25$
$\text{Li}_x\text{V}_2\text{O}_5$	-	$0.2 < x < 0.33$
Li_xWO_3	-	$0 < x < 0.50$
TiS_x	TiS	$0.971 < x < 1.064$
Nb_xS	NbS	$0.92 < x < 1.00$
Y_xSe	Yse	$1.00 < x < 1.33$
V_xTe_2	VTe_2	$1.03 < x < 1.14$

Sumber: Smart, L.E., Moore, E.A., Solid State Chemistry: An Introduction, Taylor & Francais Group, London, 3th Edition, 2005

Pada cacat kristal stoikiometrik dan non-stoikiometrik, cacat titik didistribusikan secara acak. Namun, cacat titik terisolasi dan tidak tersebar secara acak dalam senyawa non-stoikiometri tetapi tersebar di seluruh struktur dalam beberapa jenis pola biasa.

Sulit untuk menentukan struktur senyawa yang terdapat cacat. Difraksi sinar-X adalah metode yang sudah biasa digunakan dalam penentuan struktur kristal. Namun, metode ini menghasilkan sebuah struktur rata-rata untuk kristal. Untuk struktur yang murni dan relatif bebas cacat, representasi difraksi sinar-X ini menunjukkan hasil yang baik. Akan tetapi, untuk

kristal dengan struktur non-stoikiometri dan cacat, hasil tersebut kurang baik. Untuk penentuan struktur semacam ini, sebuah teknik yang peka terhadap struktur lokal diperlukan, dan teknik semacam itu sangat langka. Struktur sering dijelaskan dari berbagai sumber bukti: sinar-X dan neutron difraksi, pengukuran densitas, spektroskopi (bila berlaku), dan resolusi tinggi mikroskop elektron (HREM); pengukuran magnetik juga telah terbukti berguna dalam kasus FeO. HREM mungkin telah melakukan yang terbaik untuk mengklarifikasi pemahaman tentang cacat struktur karena mampu dalam keadaan yang menguntungkan memberikan informasi tentang skala atom dengan 'pencitraan kisi langsung'.

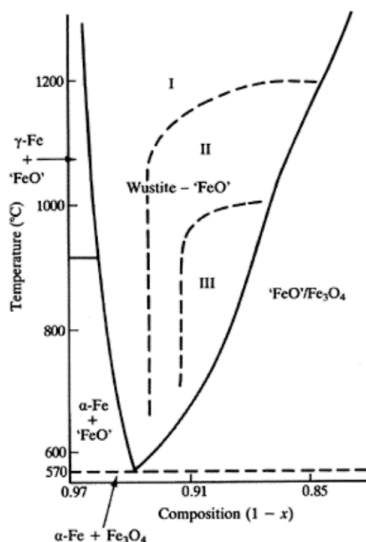
Senyawa non-stoikiometri berpotensi digunakan untuk industri karena sifat elektronik, optik, magnetik, dan mekanik dapat dimodifikasi dengan mengubah proporsi unsur-unsur atom. Hal ini banyak dimanfaatkan dan diteliti oleh elektronik dan industri lainnya. Saat ini, contoh senyawa non-stoikiometri yang paling terkenal untuk mengisi kekosongan oksigen dalam superkonduktor suhu tinggi seperti YBCO (1-2-3) ($\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$).

9.4.1 Non-Stoikiometri pada Wustite

Besi oksida dikenal sebagai wustite (FeO), dan memiliki struktur kristal NaCl (garam batu). Analisis kimia yang akurat menunjukkan bahwa kristal tersebut termasuk dalam golongan kristal non-stoikiometri dikarenakan selalu kekurangan unsur besi. Diagram fasa FeO (Gambar 9.9) menggambarkan komposisi tersebut pada kisaran wustite yang meningkat dengan suhu dan FeO stoikiometri tidak berada dalam kisaran stabilitas. Di bawah 570°C , wustite tidak sebanding dengan α -besi dan Fe_3O_4 . Defisiensi besi dapat diakomodasi oleh struktur yang cacat dengan dua cara: 1) Dengan melakukan pengosongan besi yang memberikan rumus Fe_{1-x}O dan 2) Dimungkinkan ada kelebihan

oksigen pada posisi interstisial, dengan rumus FeO_{1+x} (Rowan dkk., 2009).

Perbandingan teoretis dari sebuah kristal dapat ditentukan dengan pengukuran kerapatan (massa jenis). Metode pengukuran massa jenis kristal yang paling mudah adalah metode flotasi. Pada metode ini, cairan yang berbeda kerapatan yang larut satu sama lain, dicampur bersama-sama sampai campuran ditemukan dalam keadaan stabil yang tidak mengapung atau tenggelam. Kepadatan cairan tersebut harus sama dengan kristal, dan dapat ditentukan dengan menimbang dan diukur volumenya secara akurat (Fontcuberta dkk., 2007).



Gambar 9.9 Diagram fase dari sistem FeO dimana I, II, III merupakan wilayah wustite.

Sumber: Smart, L.E., Moore, E.A., Solid State Chemistry: An Introduction, Taylor & Francais Group, London, 3th Edition, 2005

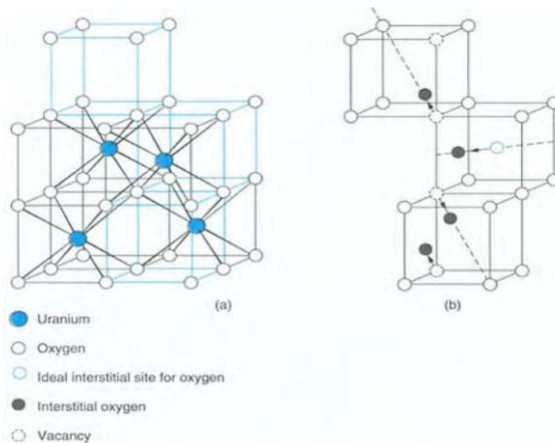
Sebagai ringkasan, senyawa non-stoikiometri ditemukan ada pada rentang komposisi, dan sepanjang rentang itu panjang sel satuan bervariasi tanpa perubahan simetri. Dimungkinkan untuk menentukan apakah non-stoikiometri itu diakomodasi

oleh kekosongan atau cacat *interstitial* menggunakan pengukuran kepadatan.

9.4.2 Non-Stoikiometri pada Uranium Dioksida

Di atas suhu 1127°C , satu fase UO_2 non-stoikiometri yang kaya oksigen ditemukan dengan rumus UO_{2+x} , mulai dari UO_2 sampai $\text{UO}_{2.25}$. Tidak seperti FeO , di mana oksida yang kekurangan logam dicapai melalui kekosongan kation, dalam contoh ini defisiensi logam muncul dari anion interstisial (Rao dkk., 1995).

$\text{UO}_{2.25}$ sesuai dengan U_4O_9 , yang merupakan oksida uranium yang dikarakterisasi dengan baik yang dikenal di suhu rendah. UO_2 memiliki struktur fluorit. Sel satuan digambarkan pada Gambar 9.10(a) dan berisi empat satuan rumus UO_2 . (Ada empat ion uranium yang terkandung di dalamnya batas sel; delapan ion oksida berasal dari: $(8 \times \frac{1}{8}) = 1$ di sudut; $(6 \times \frac{1}{2}) = 3$ di bagian tengah muka; $(12 \times \frac{1}{4}) = 3$ pada tepi sel; dan 1 di pusat badan sel).



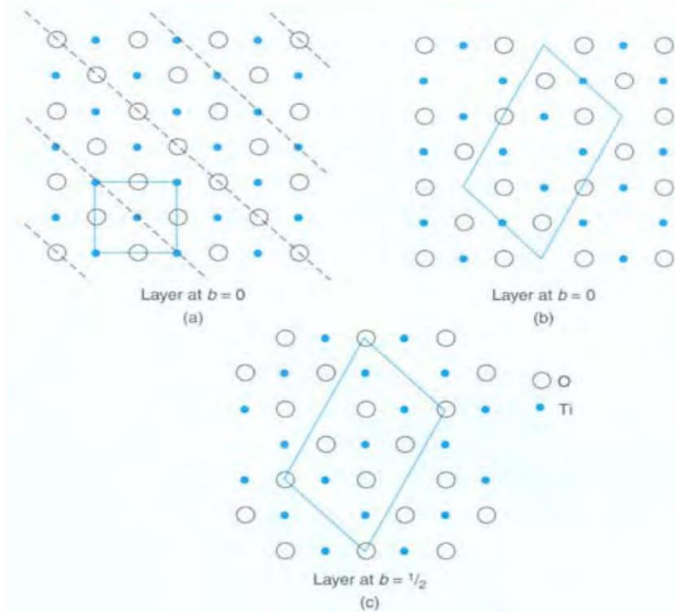
Gambar 9.10 a) Struktur fluorit dari UO_2 , b) Kluster cacat interstisi pada UO_{2+x}

Sumber: Smart, L.E., Moore, E.A., Solid State Chemistry: An Introduction, Taylor & Francis Group, London, 3th Edition, 2005

9.4.3 Non-Stoikiometri pada Titanium Monoksida

Titanium dan oksigen membentuk fase non-stoikiometri yang ada pada rentang komposisi 1:1, dari $\text{TiO}_{0.65}$ ke $\text{TiO}_{1.25}$. Kita harus melihat apa yang terjadi pada kisaran atas dari $\text{TiO}_{1.00}$ hingga $\text{TiO}_{1.25}$. Pada komposisi stoikiometri $\text{TiO}_{1.00}$ struktur kristal dapat dianggap sebagai struktur tipe NaCl dengan kekosongan di subkisi logam dan oksigen: seperenam titanium dan seperenam oksigen hilang. Di atas suhu 900°C , kekosongan didistribusikan secara acak, tetapi di bawah suhu ini, kekosongan tersebut teratur seperti ditunjukkan pada Gambar 9.11 (Smart and Moore, 2005).

Pada Gambar 9.11(a) ditunjukkan lapisan melalui struktur tipe NaCl. Setiap bidang diagonal vertikal ketiga ditandai oleh garis putus-putus. Pada struktur $\text{TiO}_{1.00}$, satu sama lain atom di sepanjang garis putus-putus itu hilang. Hal ini diilustrasikan pada Gambar 9.11(b). Jika kita bandingkan kedua diagram tersebut, maka pada diagram pertama ini, terlihat struktur sepanjang sumbu y, dan lapisan ini adalah bagian atas sel satuan, $b=0$ atau 1, lalu lapisan di bawahnya dan sejajar dengan itu akan menjadi bidang horizontal pusat sel satuan di $b=\frac{1}{2}$. Ini ditarik masuk Gambar 9.11(c), dan sekali lagi kita perhatikan bahwa setiap atom lain sepanjang setiap diagonal ketiga pesawat hilang. Ini berlaku di seluruh struktur. Pada gambar, sel satuan dari a struktur tipe NaCl sempurna ditandai pada (a), sedangkan batas-batas sel satuan baru, dengan mempertimbangkan cacat yang teratur, diberi tanda pada (b) dan (c). Sel satuan baru dari superlattice bersifat monoklinik karena sudut pada bidang xz (β) tidak sama dengan 90° . Struktur ini tidak biasa karena tampak stoikiometrik, tetapi kenyataannya, mengandung kekosongan cacat pada subkisi anion dan kation (Zhao dkk., 2015).



Gambar 9.11 a) Struktur TiO_2 hipotetis dari tipe NaCl, b) Bidang yang sama pada struktur observasi TiO_2 , dan c) Bidang tepat di bawah lapisan, diindikasikan terdapat unit sel monoklinik dari potongan melintang

Sumber: Smart, L.E., Moore, E.A., Solid State Chemistry: An Introduction, Taylor & Francis Group, London, 3th Edition, 2005

Dalam bab ini, telah diberikan gambaran tentang ukuran dan kompleksitas bahan kajian ini dan juga daya tariknya. Poin utama yang muncul dari penjelasan pada bab ini adalah bahwa konsep acak dan cacat titik terisolasi tidak dapat menunjukkan struktur kompleks senyawa non-stoikiometrik, tetapi cacat itu mengelompok bersama dan menjadi teratur, atau bahkan dihilangkan dengan berbagai macam cara yang berbeda. Cacat inilah yang dapat dimanfaatkan untuk memberikan sifat padat yang berguna bagi pengembangan teknologi berbagai macam perangkat (Bridges dkk., 1990).

DAFTAR PUSTAKA

- Andreev, A.F., Lifshitz, I.M., 2010. Quantum Theory of Defects in Crystals.
- Antony Guess, G., 1976. Essentials of Materials Science. McGraww-Hill Book Company, New York.
- Bridges, F., Davies, G., Robertson, J., Stoneham, A.M., 1990. The spectroscopy of crystal defects: a compendium of defect nomenclature. J. Phys.: Condens. Matter 2, 2875–2928. <https://doi.org/10.1088/0953-8984/2/13/001>
- Fontcuberta Morral, A., Arbiol, J., Prades, J.D., Cirera, A., Morante, J.R., 2007. Synthesis of Silicon Nanowires with Wurtzite Crystalline Structure by Using Standard Chemical Vapor Deposition. Adv. Mater. 19, 1347–1351. <https://doi.org/10.1002/adma.200602318>
- Rao, C.N.R., Joshi, S.K., Mashelkar, R.A., 1995. Solid State Chemistry. World Scientific, Singapore.
- Rowan, A.D., Patterson, C.H., Gasparov, L.V., 2009. Hybrid density functional theory applied to magnetite: Crystal structure, charge order, and phonons. Phys. Rev. B 79, 205103. <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.79.205103>
- Smart, L.E., M., E.A., 2005. Solid State Chemistry: An Introduction, 3rd ed. Taylor & Francais Group, London.
- WT. Ray, 1953. Dislocations in Crystals. Mc.Graw Hill Book Company, New York.
- Zhao, Z., Tian, J., Sang, Y., Cabot, A., Liu, H., 2015. Structure, Synthesis, and Applications of TiO₂ Nanobelts. Adv. Mater. 27, 2557–2582. <https://doi.org/10.1002/adma.201405589>

BAB 10

CARA-CARA PREPARATIF ZAT PADAT

Oleh Wiwin Rewini Kunusa

10.1 Pendahuluan

Kimia analitik ialah kegiatan disiplin ilmu yang menyediakan informasi yang diperlukan untuk penalaran, pengambilan keputusan, serta pertanggung jawaban hasil analisis. Untuk mencapai ketiga aspek tersebut, diperlukan data serta hasil analisis kimia yang konsisten serta akurat. Hasil analisis hanya akan akurat jika prosedurnya dilakukan melalui pemilihan metode yang tepat serta benar. Validasi suatu metode analisis ditetapkan melalui kriteria yang dapat dijadikan pedoman, yakni: akurasi, presisi, sensitivitas, selektivitas, batas deteksi, linearitas, batas pengukuran (rentang pengukuran). (Khopkar, 2003).

Preparasi sampel ialah suatu proses mengubah matriks sebenarnya misalkan (sediaan obat) dalam sampel yang siap dianalisis. Preparasi yang salah akan menghasilkan analisis yang salah. Dalam proses preparasi sampel perlu memahami sifat kimia suatu sampel yakni sifat polaritas, keasaman, kelarutan analit dari berbagai rujukan/literatur yang ada, sebagai dasar/rujukan kita dalam memilih jenis pelarut yang akan digunakan. (Wiberg, E.; Holleman, AF; Wiberg, N.; Eagleson, M.; Brewer, W.; Aylett, BJ (2001).

Sebagai contoh dalam persiapan treatment sampel batuan ialah proses dimana sampel batuan yang dipilih selama pengambilan sampel diubah menjadi bahan yang siap untuk dianalisis. Homogenitas sampel bentuk padat rendah sehingga perlunya langkah analisis untuk penggilingan sampel hingga pencampuran bersifat homogen. Salah satu tujuan preparasi sampel ialah untuk menghilangkan matriks yang menjadi pengganggu saat analisis sehingga diperoleh senyawa analit dari suatu sampel padat: padat/agregat (tanah, lumpur, sedimen, tumbuhan, batuan, makanan, dll).

Preparasi sampel ialah suatu proses mengubah matriks aslinya misalkan (sediaan obat) dalam sampel yang siap dianalisis. Preparasi yang salah akan menghasilkan analisis yang salah. Dalam proses preparasi perlu memahami sifat kimianya, yakni sifat polaritas, keasaman, kelarutan analit dari literatur yang ada. Karena tidak mungkin kita memilih melalui asal- asalan pelarutnya.

Replikasi wajib dilakukan untuk meminimalisir kesalahan dalam analisis. Replikasi tidak boleh dilakukan melalui variable yang berbeda, misal dalam waktu yang berbeda. Yang masih menjadi masalah utama dalam preparasi ialah matriks. Matriks harus dibebaskan dari sampel. Matriks ialah zat tambahan lain yang kehadirannya tidak diperlukan. Misal ingin mempreparasi tablet parasetamol, maka peneliti harus menyingkirkan bahan-bahan tambahan dalam tablet tersebut. Matriks ini dapat membuat pelarut tidak jernih saat ingin dilakukan pengukuran dengan menggunakan teknik spektrofotometri. Dalam pengukuran spektrofotometri kehadiran matriks ini dapat mengganggu sinyal absorbansi. Mengubah analit menjadi bentuk yang sesuai, misalnya melalui proses derivatisasi misalnya ingin menganalisis bahan dgn spektro UV-vis dimana hanya bisa menganalisis senyawa yang berkromofor, tapi bahan itu tidak memiliki gugus kromofor jd harus mengubah analit menjadi

senyawa yang berkromofor tanpa merusak analit tersebut agar memiliki kromofor sehingga dapat terdeteksi oleh spektrofotometri). Contoh lain, misalnya melalui proses KLT dimana bentuknya harus agak pekat yang ditololkan di KLT, maka perlu proses preparasi agar analitnya sesuai.

XRD (X-Ray Diffraction) ialah metode analitik yang efektif untuk memvisualisasikan padatan serta karakteristik kandungan kimia tertentu dalam bentuk padat melalui kromatogram dari sinar-X untuk penentuan sifat kristalisasi dari suatu sampel yang dianalisis. (Moore and Reynold, 1997).

Analisis mineralogi serta kristalografi menggunakan difraksi sinar-X melambangkan metode analisis yang efektif untuk menunjukkan spesifikasi sifat kristabilitas suatu senyawaan dalam bentuk padat. Selain karena proses produksinya sederhana, murah serta cepat, metode analisis menggunakan XRD banyak dikembangkan tidak saja pada bidang geologi, tetapi termasuk ilmu-ilmu batuan, teknik sipil, teknik kimia, teknik material, serta kedokteran dan memiliki keunggulan dibandingkan instrumen lain. (*Wiberg, E.; Holleman, AF; Wiberg, N.; Eagleson, M.; Brewer, W.; Aylett, BJ (2001).*

10.2 Tujuan Treatmen Sampel

Treatmen sampel ialah proses dimana sampel batuan yang dipilih dimodifikasi. ketika sampel menjadi bahan yang siap untuk dianalisis. Tujuan preparasi sampel ialah untuk meminimalkan adanya pengotor yang mempengaruhi proses analitik melalui menghilangkan komponen selain analit. Preparasi sampel ialah proses mengubah ukuran sampel dari > 50 mm menjadi 0,250 mm untuk analisis laboratorium.

Saat memilih metode atau teknik analitik, sebaiknya memiliki akurasi dan presisi serta selektifitas sehingga akurat dalam mengukur jumlah zat yang diinginkan serta selektif. Namun, karena ketidakmurnian, hal ini seringkali sulit dicapai. Setiap saat dalam analisis kimia, dapat terjadi gangguan pada matriks yang memberikan sinyal yang sama dengan sinyal pembacaan analit, bahkan gangguan tersebut dapat menekan respon karakter dari suatu analit yang dituju. Akibatnya, proses analisis membutuhkan satu atau lebih langkah awal untuk menghilangkan interferensi. (Khopkar, 2003).

Dalam melakukan suatu analisis perlunya memahami beberapa kriteria pemilihan suatu metode analisis sebelum memulai pekerjaan dilaboratorium:

- (1) Ketersediaan banyaknya jumlah sampel
- (2) Sensitifitas cek metode ini
- (3) Memiliki Resolusi yang baik dari metode yang digunakan
- (4) Penerapan metode yang mudah dipahami peneliti
- (5) Memiliki akurasi dan presisi yang tinggi dalam proses analisis
- (6) Dapat menghindari gangguan matriks lain dalam sampel
- (7) Modifikasi dari beberapa metode dapat dipahami
- (8) Penerapan karakteristik fisiko kimia analit yang dicari.

Sebelum melakukan analisis melalui menggunakan teknik atau metode analisis yang sesuai, sampel harus disiapkan terlebih dahulu. Konsep dasar metode penyiapan sampel ialah mengubah matriks sampel aktual menjadi bentuk sampel yang sesuai untuk analisis lebih lanjut:

- 1) Menghilangkan kemungkinan gangguan yang dapat mengganggu selama analisis sampel baik pada tahap pemisahan sampel maupun pada tahap deteksi, serta dapat meningkatkan selektivitas dari suatu metode;

- 2) Menambah konsentrasi analit untuk meningkatkan sensitivitas tes karena pengukuran konsentrasi analit yang terlalu encer akan memberikan hasil analisis yang buruk. Misalnya pada teknik spektroskopi Uv-Vis memberikan nilai absorbansi yang baik jika rentang nilai absorbansinya berkisar pada 0,2 - 0,8. Kepekatan dari suatu larutan akan mempengaruhi hasil pembacaan absorbansi sampel sehingga tidak memenuhi kriteria yang valid sesuai Hukum Lambert Beer;
- 3) Penyiapan sampel dapat mengubah analit menjadi bentuk yang sesuai untuk pemisahan atau deteksi;
- 4) Pemilihan metode analisis sebaiknya metode yang umum digunakan dengan akurasi dan presisi yang tinggi.

10.3 Tahapan dalam Preparatif Zat Padat

10.2.1 Teknik Preparasi

Tahapan tahapan yang mendukung dalam persiapan treatment sampel melalui empat tahapan kerja antara lain : (Khopkar, 2003).

- 1) Mengusahkan sampel dalam keadaan kering untuk memudahkan proses penggilingan.
- 2) Mengurangi ukuran partikel, melalui cara menggiling (menghancurkan serta menggiling). disebut reduksi.
- 3) Mencampur (mix) sehingga sampel menjadi homogen.



Gambar 10.1. Salah satu teknik treatment sampel padat
(Sumber : Sudjadi et al, 2008)

Kriteria dasar pemisahan menurut ukuran, massa serta kerapatan, terbentuknya senyawa sepiit khelat, karakteristik fisiko kimia, pemisahan antar fasa, ditunjukkan pada data berikut ini :

Tabel 10.1. Dasar Pemisahan dan Teknik Pemisahan

Dasar Pemisahan	Teknik Pemisahan
Ukuran	Filtrasi
	Dialisis
	Kromatografi size-eksklusi
Massa serta Densitas	Centrifugasi
Pembentukkan Kompleks	Penopengan
Perubahan Fisika	Destilasi
	Sublimasi
	Rekristalisasi
Perubahan Kimia	Pengendapan
	Pertukaran Ion
	Elektrodeposisi
Pembagian Antar Fasa	Ekstraksi
	Kromatografi

Teknik persiapan sampel berikut dapat digunakan untuk mengisolasi analit. (Khopkar, 2003)(*Wiberg, E.; Holleman, AF; Wiberg, N.; Eagleson, M.; Brewer, W.; Aylett, BJ (2001).*

1. Filtrasi

Filtrasi sampel melambangkan bagian penting dari penyiapan sampel, terutama bila analisis dilakukan melalui kromatografi cair kinerja tinggi, di mana keberadaan partikel yang tidak larut dapat menyumbat kolom. Kinerja filter ditetapkan oleh porositas filter. Berbagai filter dapat digunakan, seperti kertas fiberglass atau filter membran.

2. Digesti

Pemanasan sampel dalam sistem tertutup, melalui penambahan reagen untuk melarutkan serta/atau mengoksidasi sampel organik, telah dikenal sejak sekitar tahun 1834. Pemanasan dapat dilakukan dalam oven. Pemanasan melalui proses gelombang mikro atau microwave

dengan penambahan asam seperti asam nitrat atau asam sulfat untuk melarutkan serta mengoksidasi senyawa organik ini untuk menghasilkan ion bebas. Dekomposisi gelombang mikro lebih cepat daripada destruksi basah. Dekomposisi juga dapat dicapai melalui fotolisis UV serta penggunaan hidrogen peroksida untuk menghancurkan radikal hidroksil untuk mendapatkan ion bebas. Teknik ini membutuhkan sedikit reagen tetapi sangat memakan waktu.

3. Ekstraksi

Teknik ini sangat populer di masyarakat. Pembahasan lebih detail akan dibahas pada artikel selanjutnya.

4. Kromatografi

Proses pemisahan didasarkan pada distribusi sampel pada dua fasa yakni fasa diam dan fasa gerak, tergantung pada polaritas eluen, kepolaran fasa diam yang digunakan dan karakteristik sampel yang akan dipisahkan.

5. Sentrifugasi

Teknik pemisahan sentrifugal dapat dilakukan melalui mengatur gaya sentrifugal; dimana partikel melalui gaya sentrifugal tinggi memiliki laju pengendapan yang lebih cepat.

6. Destilasi serta Sublimasi

Suatu metode penentuan analisis yang didasarkan atas perubahan fisik pada saat analit dan matriks pada karakter sifat fisik difase yang sama. Jika dalam fase cair dapat dibuat melalui distilasi, serta jika dalam fase padat dapat dibuat melalui sublimasi atau rekristalisasi.

7. Rekristalisasi

Rekristalisasi ialah teknik untuk memurnikan padatan dari pengotornya melalui rekristalisasi zat tersebut dengan zat pelarut yang cocok. Prinsip dasar rekristalisasi ialah perbedaan kelarutan antara analit dan matriks

8. Pengendapan

Pengendapan ialah proses pembentukan endapan, yakni suatu padatan yang tidak larut dalam air, meskipun sebenarnya endapan tersebut mempunyai kelarutan yang paling rendah.

9. Elektrokimia

Elektrokimia ialah studi tentang hubungan reaksi redoks dalam suatu sel elektrokimia

10. Ekstraksi

Ekstraksi ialah metode pemisahan suatu campuran melalui menggunakan pelarut, dimana pelarut yang digunakan harus dapat mengekstraksi zat yang diinginkan tanpa melarutkan bahan lain.

10.2.1 Destruksi Basah serta Destruksi Kering

A. Destruksi basah

Destruksi basah ialah destruksi sampel melalui asam kuat, baik tunggal maupun campuran, menggunakan pelarut yang bersifat oksidator kuat, antara lain asam nitrat, asam sulfat, asam perklorat serta asam klorida. Pelarut-pelarut ini dalam proses destruksi basah dapat digunakan secara bercampur ataupun dalam keadaan pelarut tunggal pada saat proses analisis terjadi.

(Khopkar, 2003). (Wiberg, E.; Holleman, AF; Wiberg, N.; Eagleson, M.; Brewer, W.; Aylett, BJ (2001).

Prosedur kerja destruksi sampel dengan menggunakan pelarut asam yakni :

1. Sebanyak 1 gr sampel sayuran dimasukkan ke dalam gelas beker 100 mL
2. Ditambahkan larutan aqua regia atau campuran HNO_3 pekat : HCl pekat (1:3) sebanyak 3 mL.
3. Dipanaskan di atas hotplate selama kurang lebih 30 menit sampai tidak terbentuk gas.

4. Setelah destruksi selesai dimana semua sampel telah homogen dengan pelarut dan membentuk larutan yang jernih, maka dilakukan penyaringan
5. Larutan sampel yang diperoleh dari treatment dengan pelarutan pelarut-pelarut asam yang bersifat oksidator kuat, siap untuk dianalisis.

B. Destruksi Kering

- 1) Treatment sampel dalam keadaan kering tanpa menggunakan pelarut dan dilakukan dalam furnace bertujuan untuk menghilangkan zat-zat organik pada suhu pemanasan tertentu sehingga yang tersisa dalam sampel hanyalah zat-zat mineral yang menjadi tujuan analisis.
- 2) Pada umumnya, Treatment sampel dalam keadaan kering memerlukan suhu pemanasan antara 400 serta 800°C, akan tetapi tinggi rendahnya pemanasan yang digunakan ditentukan oleh karakteristik fisiko kimia jenis sampel yang akan dianalisis.
(Khopkar, 2003). (Wiberg, E.; Holleman, AF; Wiberg, N.; Eagleson, M.; Brewer, W.; Aylett, BJ (2001).

Contoh cara destruksi kering

- a. Timbang sampel 1 gram serta masukkan ke dalam gelas beker porselen.
- b. Uapkan dalam oven pada suhu 105 – 110 oC selama 30 menit.
- c. Diinkubasi dalam oven pada suhu 450 oC selama 8 jam sampai sampel mengering.
- d. Spesi abu kemudian direaksikan melalui 2 mL HCl 10 M.
- e. Selanjutnya pemanasan di atas penangas sampai abu larut.

- f. Abu yang telah terlarut dimasukkan dalam labu ukur 50 mL dengan penambahan larutan HNO_3 0,1 M dokocok sampai tanda batas.
- g. Filtrat yang dihasilkan digunakan untuk tahap pengukuran selanjutnya menggunakan instrumen dalam penentuan analit.

10.2.2 Analisis mineralogi serta kristalografi (X-Ray Diffraction)

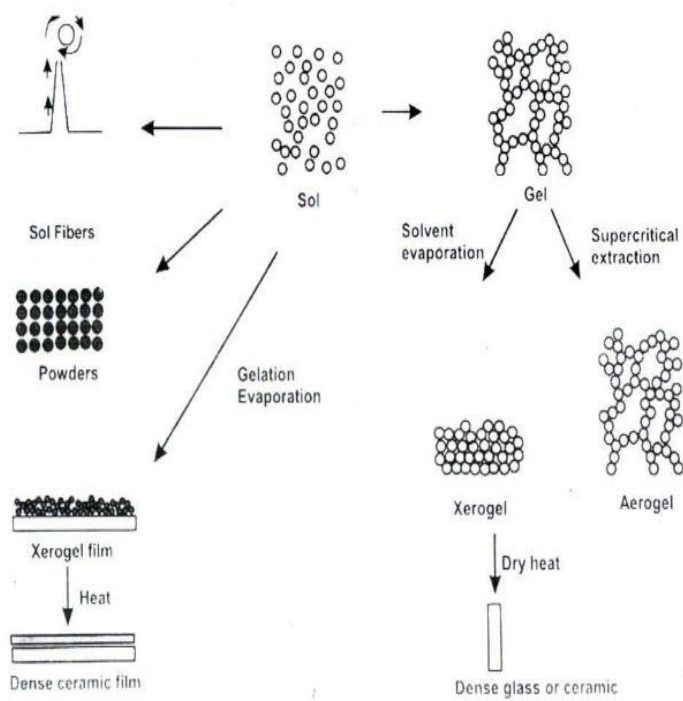
Analisis mineralogi serta kristalografi difraksi sinar-X melambangkan metode analisis yang efektif untuk batuan serta senyawa kimia tertentu dalam bentuk padat karena proses produksinya sederhana, serta cepat. Analisis di mana XRD dikembangkan juga digunakan dalam sains selain geologi, termasuk arkeologi, teknik sipil, teknik kimia, serta kedokteran. Analisis Mineralogi XRD memiliki keunggulan dibandingkan analisis petrografi karena secara unik mengidentifikasi jenis mineral lempung (clay). Persiapan sampel XRD juga dapat diterapkan untuk analisis kimia mineral terperinci termasuk SEM-EDS, EPMA, Raman, XRF serta ICP-MS (Khopkar, 2003). (W. Müller-Warmuth; R. Schöllhorn.2012).

Teknik preparasi sampel XRD Laboratorium Pusat Geologi sebaiknya menggunakan bahan serta peralatan yang terstandarisasi, dengan tenaga analis yang terampil dan profesional. Standar bahan yang digunakan ialah: air suling kemurnian tinggi, 1% NaOH, etanol atau alkohol 70 n natrium heksametafosfat sebagai zat pendispersi. Peralatan standar yang digunakan meliputi: Mortar serta alu batu akik, filter ASTM No. 230 uk 0,062 mm, kaca depan, centrifuge, serta pengocok ultrasonik. Teknik penyiapan sampel XRD bergantung pada sifat serta tujuan analisis, mineral mana yang kemungkinan muncul dalam pola XRD, yakni. mineral primer atau mineral sekunder. Mineral primer dianalisis melalui analisis serbuk, sedangkan

mineral sekunder (lempung) biasanya dianalisis melalui analisis agregat mineral lempung. Preparasi sampel melalui agregat mineral lempung di Laboratorium meliputi langkah-langkah sebagai berikut: tanah liat kering udara (AD), pelarutan melalui etilena glikol (EG) serta dilanjutkan dengan pemanasan hingga 550°C. Setelah persiapan treatment sampel selesai, maka analisis agregat mineral lempung siap untuk dianalisis menggunakan instrumen XRD. Hasil analisis di tunjukkan oleh pola-pola XRD. (Wiberg, E.; Holleman, AF; Wiberg, N.; Eagleson, M.; Brewer, W.; Aylett, BJ (2001).

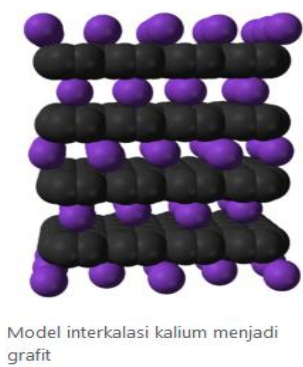
10.2.3 Metode SOL – GEL

Ekstraksi fase padat (SPE) ialah metode preparasi sampel untuk pemekatan serta pemurnian analit melalui cara mengekstraksi analit dari larutan ke dalam absorber fase padat, dilanjutkan melalui proses elusi analit ke dalam pelarut yang sesuai. Proses sol-gel melibatkan transisi sistem dari sol cair ke fase padat. Gel Sun ialah sistem koloid melalui ukuran 0,1 - 1,0 nm, terdispersi dalam cairan. Gel sistem koloid ialah cairan serta padatan terdispersi satu sama lain (dapat juga diartikan sebagai sistem pori cairan).



Gambar 10.1 Ekstraksi fasa Padat
(Sumber : Sudjadi et al, 2008)

10.2.4 Metode Interkalasi



Gambar 10.3. Model interkalasi kalium menjadi grafit
(Sumber : Atwood, JL (2012)

Dalam ilmu kimia, interkalasi adalah penyertaan atau penyisipan molekul (atau ion) yang dapat dibalik ke dalam bahan berlapis dengan struktur berlapis. Contohnya ditemukan dalam grafit dan dikalkogenida logam transisi. Seperti contoh gambar di atas, yang menunjukkan Model interkalasi kalium menjadi grafit. (*Kikkawa, S.; Kanamaru, F.; Koizumi, M. (1983).*

Teknik produksi material melalui menambahkan spesies (atom/ion) ke struktur untuk menggantikan spesies lain dalam struktur (kekosongan) melalui ion lain dari larutan atau sumber lain. Bahan yang dibentuk harus memiliki sifat struktural yang unik. Secara khas, interkalasi dianalisis dengan difraksi sinar-X, karena jarak antar lembaran meningkat, dan dengan konduktivitas listrik, karena transfer muatan mengubah jumlah pembawa muatan. (*Kikkawa, S.; Kanamaru, F.; Koizumi, M. (1983).*

DAFTAR PUSTAKA

- Atwood, JL (2012). "Senyawa Inklusi". Ensiklopedia Kimia Industri Ullmann. Weinheim: Wiley-VCH. doi : 10.1002/14356007.a14_119 .
- Khpkar, SM.2003. Konsep dasar Kimia Analitik. Penerbit Universitas Indonesia
- Kikkawa, S.; Kanamaru, F.; Koizumi, M. (1983). "Senyawa Interkalasi Berlapis". Sintesis Anorganik . Vol. 22. hal. 86. doi : 10.1002/9780470132531.ch17 . ISBN 0-471-88887-7.
- Nicolosi, V.; et al. (2013). "Pengelupasan Cair Bahan Berlapis". Sains. 340 (6139). doi : 10.1126/science.1226419 . hdl : 2262/69769 .
- Sudjadi, Ibnu Gholib Ganjar, Abdul Rohma. 2008. Kimia Farmasi Analisis. Jokjakarta: Pustaka Pelajar Yokjakarta .
- Stanley M Whittingham. Kimia Interkalasi. Elsevier. ISBN 978-0-323-14040-9.
- W. Müller-Warmuth; R. Schöllhorn.2012. Kemajuan dalam Penelitian Interkalasi . Fisika dan Kimia Material dengan Struktur Berdimensi Rendah 17. Springer Science & Business Media. ISBN 978-94-011-0890-4.
- Wiberg, E.; Holleman, AF; Wiberg, N.; Eagleson, M.; Brewer, W.; Aylett, BJ (2001). Kimia Anorganik . Pers Akademik. P. 794. ISBN 978-0-12-352651-9.

BAB 11

KUARSA (ZEOLIT, LEMPUNG, BENTONIT)

Oleh Suhirman

11.1 Kuarsa

Kuarsa merupakan sumber daya alam yang sangat melimpah dan memiliki manfaat dalam kehidupan. Sebagai salah satu mineral kuarsa bersumber dari dalam permukaan bumi. Kuarsa merupakan senyawa kimia yaitu SiO_2 yang artinya tersusun dari satu silikon dan dua unsur oksigen. Perlu diketahui bahwa kuarsa merupakan batuan kedua yang melimpah di muka bumi setelah feldspar karena kuarsa hampir ditemukan pada semua batuan yang berifat sedimen, metamorf dan batuan beku hal ini karena dapat terbentuk pada berbagai kondisi suhu. Kuarsa digolongkan sebagai batuan mineral felsik yang mengandung silika dalam jumlah besar. Silika yang terkandung tersebut berupa riolit, granodiorite dan granit.

Kuarsa memiliki sifat tahan dari kondisi kimia, fisika, dan proses pelapukan mekanik sehingga dapat ditemukan di beberapa bagian permukaan bumi seperti permukaan gurun pasir, kedalaman sungai, dasar laut serta permukaan atas gunung.

Material kuarsa terdiri dari beberapa jenis, khususnya dari silika dan silika oksida dimana dalam campurannya biasanya terdapat pengotor atau impuritis dalam jumlah kecil seperti kalium (K), natrium (Na), litium (Li) dan titanium (Ti). Contoh material berharga seperti permata pada dasarnya tersusun atas

material kuarsa yang diantaranya adalah quartz (rose dan smoky), batu kecubung dan citrine.

Sejarah kuarsa pada mulanya ditemukan dalam bentuk murni oleh orang Yunani kuno yang dinamai “Krystallos”. Berdasarkan alasan tersebut juga akhirnya kristal merupakan salassatu varietas kuarsa. Nama kuarsa atau Quartz berasal dari kata jerman kuno yang dipakai pada tahun 1530 oleh Georgius Agricola.

Berdasarkan keberadaan kuarsa yang melimpah maka masyarakat memanfaatkan batuan kuarsa untuk pembuatan bangunan seperti pasir silika untuk pembuatan keramik, gelas dan cetakan dalam pengecoran logam. Secara fisik kuarsa sesuai Gambar 11.1.



Gambar 11.1 Kuarsa (Sumber: Geoinside)

Pemanfaatan Kuarsa

Kuarsa berasal dari alam yang memiliki sifat kimia dan fisika. Dimana kuarsa memiliki nilai kekerasan yaitu 7 skala mohr yang diakibatkan oleh sifatnya yang dapat berikatan dengan berbagai unsur kimia lainnya.

Salah satu sifat dari kuarsa adalah menghantarkan mampu tahan terhaap kondisi panas dan mampu menghantarkan listrik (konduktor). Kursa yang secara fisik memang terlihat berkilau

dan halus kemudian sering dimanfaatkan bahan pembuatan kaca pada bangunan megah dan sebagai perhiasan permata.

Material kuarsa dengan krsital tunggal merupakan jenis yang paling berkualitas tinggi dengan sifat optik ataupun elektronik. Pemanfaatan kristal kuarsa tunggal diperkirakan sekitar sepuluh miliar setiap tahun. Dalam proses pemanfaatannya kristal kuarsa untuk komponen utama pada hanphone, *receiver* televisi, arloji, komputer, laser dan lensa.

Ada beberapa batuan yang sangat penting yang masih tergolong kedalam jenis kuarsa yaitu zeolite yang biasanya digunakan dalam pengolahan *water treatment*. Zeolit dapat dikatakan kuarsa hal tersebut karena juga terdapat unsur silika dan oksigen dalam sebuah ikatan senyawa seperti (SiO_4^{4-}). Disamping itu yang termasuk kedalam kuarsa karena kadungan silikanya adalah lempung dan bentonit.

11.2 Zeolit

Batuan zeolite pada umumnya di Indonesia di temukan di beberapa tempat seperti lampung, lebak-Banten dan gunung kidul Yogyakarta. Dimana zeolite itu sendiri merupakan mineral alumina silikat hidrat yang memiliki pori-pori serta bermuatan negatif. Adapun penyusun zeolite adalah tetrahedral (AlO_4^{5-}) dan (SiO_4^{4-}).

Secara umum zeolit memiliki banyak manfaat dalam kehidupan masyarakat dan dalam dunia Industri. Pada saat ini di bidang industry biasanya zeolite untuk penukar kation, *water softening*, *molecular sieves*, *drying agent*, adsorben, katalis dan material berpori sebagai pengemban dan material untuk mempercepat reaksi diberbagai reaktor.

Dalam struktur zeolite terdapat alumina dan silika yang secara kimia berikatan dengan atom oksigen. Dimana alumina berikatan dengan atom oksigen yang memiliki valensi 4 (AlO_4)⁻⁵ dan silika berikatan dengan atom oksigen yang bervalensi 4 (SiO_4)⁻⁴. Pada permukaan zeolite tersebut akhirnya memiliki muatan negative berlebih sehingga ketika bertemu dengan air yang mengandung mineral seperti kation Na, K, dan Ca akan mengakibatkan setimbang yang secara tidak langsung mineral yang terkandung dalam air tersebut berkurang.



Gambar 11.2 Zeolit (Sumber: Zeomedic)

Dalam rongga zeolite maka ion-ion bermuatan terus bergerak bebas sebagai *counter ion* sehingga ketika ada muatan kation yang berkontak secara langsung akan berikatan. Secara mikroskopis inilah bahwa akhirnya zeolit biasanya dimanfaatkan untuk penukar kation dan anion pada pengolahan air boiler dan air bersih, dibeberapa penelitian justru digunakan sebagai adsorben untuk mengurangi logam berat pencemar dan sebagai katalis sebagai percepatan reaksi untuk membuat reaktan bereaksi satu sama lain membuat produk.

Pada umumnya material zeolit ditemukan berdasarkan sumbernya dibedakan menjadi dua macam yaitu zeolite alam yang secara natural ditemukan dari alam dan yang kedua adalah zeolit sintesis yang merupakan hasil rekayasa material dari senyawa atau unsur kimia.

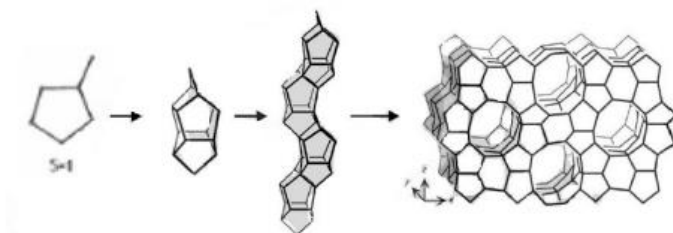
Pada umumnya zeolit alam mengandung lebih banyak kation seperti kation kalium, kation natrium, dan kation kalsium serta natrium. Adapun kation yang terkandung dalam zeolite sitesisi yaitu lebih sedikit biasanya kation kalium dan natrium. Zeolit berasal dari alam misalnya adalah zeolit silikalit-1. Dimana zeolite jenis ini tidak memiliki kandungan aluminium (Al) melainkan hanya tersusun dari unit pentasil yang membentuk rantai kerangka zeolit 1. Berdasarkan Gambar 13.3 bahwa zeolit silikat-1 tersusun atas pori yang berukuran 5,1 sampai 5,5, amstrong dengan sifat asam dan stabil pada suhu yang tinggi.

Zeolit sintesa dibuat dengan menggunakan komponen utama silika dari sumber aluminium yang kondisi operasinya menggunakan metode hidrotermal. Adapun senyawa *tetraethyl* Na_2SiO_3 , *Orthosilicate*, Silika Ludox biasanya digunakan untuk mensintesa silika. Secara umum sumber silika ketiga metode ini tergolong mahal sehingga membutuhkan metode yang lebih efisien. Salah satu metode yang menjadi alternatif yang berpotensi untuk menghasilkan silika adalah menggunakan bahan bersumber dari bahan organik yaitu limbah agrikultur seperti daun bamboo, tongkol jagung, batang tebu, limbah sekam padi dan jerami padi.

Karakteristik Zeolit

Karakteristik zeolite yang memiliki pusat aktif dan memiliki kation tersebutlah yang mengakibatkan kemampuannya sebagai katalis, adsorben, dan penukar ion serta dehidrasi. Salah satu sifat dehidrasi yang berpengaruh pada saat dipanaskan maka kandungan molekul H_2O dapat menguap. Permukaan zeolite yang berongga memungkinkan dapat mengabsorpsi partikel yang lebih kecil atau sama dengan ukuran pori pada permukaan zeolite tersebut.

Zeolit selama ini dimanfaatkan sebagai katalis. Dikarenakan memiliki pusat aktif pada rongga permukaan zeolit. Jika diumpamakan permukaan zeolite tersebut seperti urat-urat pada tubuh manusia yang membentuk saluran pipa pembuluh maka pada bagian tersebut terdapat pusat aktif yang dapat mempercepat reaksi ketika bertemu dengan senyawa lainnya.



Gambar 11.3 Skema penyusun kerangka zeolit silikalit-1

11.3 Lempung

Lempung atau tanah liat sebuah batuan mineral dengan menggunakan rumus kimia $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot y\text{SiO}_2 \cdot z\text{H}_2\text{O}$ yang juga dikenal silika hidrat alumina. Pada rumus kimia tersebut y dan z merupakan valensi pada senyawa tersebut untuk membedakan massa yang sama.

Berdasarkan asalnya bahwa lempung berasal dari hasil proses pelapukan batuan feldspatik yang ada dalam perut bumi. Dimana kandungan utama dari lempung adalah silika, aluminium dan oksigen.

Secara mikroskopis bahwa lempung tersusun atas partikel mineral dengan kerangka dasar silika. Adapun ukuran silika pada lempung mempunyai ukuran diameter partikel $< 4 \mu\text{m}$ (Hardiyatmo, 1996). Lempung memiliki luas permukaan yang tinggi sehingga berdasarkan sifat tersebut mampu menyerap air dan menyesuaikan dengan kondisi kelembapan. Adapun ukuran partikel dari tanah lempung adalah $0,002 \text{ mm}$ yang tergolong

kedalam ukuran mikrokonis. Dalam kandungannya terdapat ion positif yang dapat bertukar dengan ion lain (Bowles,1991).



Gambar 11.4 Lempung (Ilmu Geografi.com)

Disamping sifatnya yang mudah menyesuaikan dengan kondisi air, maka tanah lempung juga akan menjadi sangat keras dalam kondisi kering atau tanpa kandungan air, dimana memiliki sifat permeabilitas sangat rendah dan bersifat plastis pada kadar air sedang. Dalam kadang kita menemukan tanah liat dalam kondisi sudah berbentuk bongkahan atau granul hal ini dikarenakan mineral lempung memiliki daya tarik individu yang mampu menyerap 100 kali volume partikelnya.

Beberapa sifat lempung seperti lengket, rendah menyerap air, dapat hancur dan memiliki warna hitam atau abu-abu yang berpotensi menjadi kerajinan tangan. Adapun sifat lain dari lempung adalah memiliki ukuran partikel $< 0,002$ mm, kohesif dan nilai permeabilitas rendah.

Sama seperti zeolit bahwa lempung diklasifikasikan berdasarkan unsur silika yang membentuknya menjadi kristal maka lempung juga digolongkan berdasarkan oksida alumina dan oksida silika. Adapun lempung digolongkan menjadi 2 yaitu lempung 1:1 dan 2:1.

Lempung yang tergolong dengan perbandingan 1:1 memiliki 1 buah oksida silika dan satu buah oksida. Sedangkan Lempung yang memiliki perbandingan 2:1 maka memiliki oksida

1 alumina dan 2 buah oksida silika. Jumlah perbandingan yang berbeda tersebut mengakibatkan perbedaan karater yaitu 2:1 lebih mudah menyusut.

Karakterisasi tanah liat memiliki sifat yang berbeda dengan jenis tanah lain. Ahli geologi membedakan berdasarkan ukuran yaitu ukuran partikel 1 pM tergolong kedalam koloid kimia, ukuran partikel 2 pM tergolong tanah liat halus, ukuran 4-5 pM tergolong sedimentologists. Sedangkan ISO 14688 partikel < 2 pM tergolong lempung dan partikel > 2 pM tergolong silt.

Jenis-Jenis lempung digolongkan menjadi lempung primer dan sekunder. Dimana lempung sekunder terdiri dari lempung tahan api, *stoneware*, *erthewale*, *ballclay* dan lempung lainnya.

11.3.1 Lempung Primer

Lempung primer merupakan hasil tenaga endogen yang tetap berada didaerah batuan induk/pembentuknya yang kemudian terjadi pelapukan oleh batuan feldspatik. Mekanismenya adalah dalam permukaan bumi terdapat tekanan yang tinggi seperti tenaga uap ataupun tenaga air yang cenderung membawa hasil pelapukan batuan feldspatik yaitu lempung primer. Lalu terkontaminasi dengan humus (ranting, daun dan organik lainnya). Hal tersebut yang mengakibatkan lempung memiliki warna putih.

Pada umumnya lempung primer memiliki warna yang beragam seperti merah dan putih kekusaman. Untuk ukuran lempung primer tergolong butiran yang kasar karena masih dekat dengan batuan induk dan tahan terhadap api serta memiliki kekuatan yang tinggi. Meskipun begitu dalam kondisi kering yang diakibatkan oleh pemanasan maka lempung primer akan mulai rapuh karena kondisi airnya yang menguap.

11.3.2 Lempung sekunder

Lempung sekunder atau tanah sedimen merupakan sisa dari proses pelapukan feldspatik berbeda dengan keberadaan batuan induk pembentuknya. Penyebab pindahnya lokasi lempung sekunder diakibatkan tenaga eksogen hingga berpindah menuju danau, rawa, lebah, sungai dan cekungan bagian bumi lainnya. Menghabiskan waktu yang lama akhirnya mengendap pada lokasi cekungan bumi sehingga bercampur dengan bahan hasil pelapukan mikroorganisme yaitu bahan organik dan anorganik yang mengakibatkan terjadi perubahan sifat baik secara fisik ataupun secara kimia.

Siklus pembentukan lempung sekunder berasal dari beberapa sumber sehingga bercampur. Selama pergerakan dalam aliran sungai contohnya adalah arus air mengakibatkan partikel lempung menipis/berkurang, kecepatan lambat maka partikel berat dari lempung mengendap sedangkan yang halus ikut terbawa arus, maka dalam kondisi arus tenang terjadi proses sedimentasi atau pengendapan partikel halus tersebut. Adapun pembentukan lempung sekunder yang berukuran halus hal tersebut diakibatkan selama proses pengendapan bercampur dengan bahan organik yang terdekomposisi oleh mikro organisme seperti dedaunan dan lumut pada umunya.

Lempung sekunder berbagai jenis warna seperti merah, abu bau dan warna lainnya. Pembentukan warna pada lempung sekunder diakibatkan oleh beberapa faktor seperti unsur Fe, mikroorganisme dan natrium oksida, kalsium peroksida dan oksida lainnya. Warna yang terbentuk pada tanah lempung sekunder bisa memberikan gambaran oksida besi seperti kandungan oksida besi kisaran 2-5% biasanya warnanya cenderung gelap. Lempung memiliki suhu pemasakan/kematangan yang berbeda-beda tergantung kandungannya. Dimana lempung sekunder berdasarkan titik leburnya dibedakan menjadi 5 (lima) kelompok yaitu seperti pada Table 11.1.

Tabel 11.1. Klasifikasi lempung sekunder berdasarkan suhu

Kelompok	Karakteristik
Lempung Tahan Api	Warna putih dan abu-abu; bongkahan besar; kaya alumina dan rendah kandungan alkali ; Titik leburnya $\pm 1500^{\circ}\text{C}$
Lempung Stoneware	warna abu-abu; Titik lebur mencapai suhu 1400°C ; plastis; ukuran butir tidak terlalu halus
Lempung Ballclay	butiran halus; plastisitas dan daya susut tinggi; warna abu-abu; titik lebur rentang dari 1250°C - 1350°C .
Lempung Earthenware	Plastisitas cukup baik; warna merah kecoklat; titik lebur dari 1100°C , 1200°C ; kadar besi 8%.
Lempung Lain	lempungmonmorilinitcontohnya bentonit

11.4 Bentonit

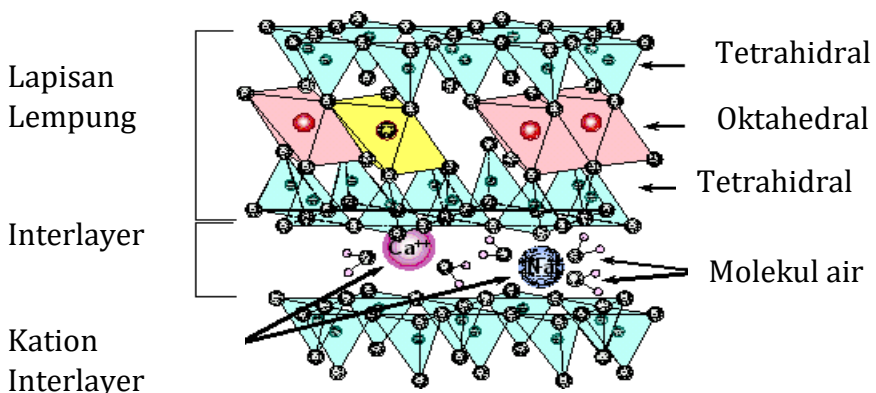
Setelah mengkalsifikasikan zeolit, lempung dan Bentonit kedalam jenis kurasa berdasarkan kandungan silika. Ternyata bentonite juga merupakan bagian dari lempung hanya proses pembentukannya yang berbeda.

Bentonit adalah lempung yang mengandung kandungan monmorillonit (ama dagang) dan dalam jumlah kecil adalah clay, dolomit dan kalsit serta kuarsa. Pada awalnya Bentonit ditemukan dalam beton yang kemudian diberi nama bentonite. Bentonit sediri sama seperti lempung merupakan hasil pelapukan abu vulkanik.



Gambar 11.5. Bentonit (Sumber: Esan)

Pemberian nama bentonit merupakan istilah pertama yang diberikan oleh Knight pada akhir abad ke 19. Di dekat Fort Benton, Wyoming. Bentonit sendiri saat itu berasal dari lempung yang digunakan oleh tantara tentara penghuni banteng sebagai bahan pencuci. Mineral bentonit memiliki struktur monmorilonit yaitu sejumlah satu octahedral dan 4 tetrahedral. Dimana pada ujung struktur terdapat 4 atom oksigen yang berikatan dengan silika (sumber: Othmer, 2005).



Gambar 11.6 Struktur Montmorillonit

Adapun kandungan bentonite secara umum seperti disajikan pada Tabel 11.2. Sedangkan bentonite sediri digolongkan menjadi 2 (dua) bagian kalsium bentonite dan

Natrium bentonit. Sifat dari bentonite yaitu memiliki warna putih pada kondisi kering dan warna bening ketika tersinar oleh matahari. Cairan yang mengandung tinggi bentonite dengan perbandingan yang tinggi antara natrium dan kalsium pada umumnya memiliki pH yaitu 8,5 sampau dengan 9,8. Sedangkan ketika perbadingan antara natrium dan kalsium rendah dalam koloid maka warna bentonite bevariasi yaitu merah, abu-abu dan kuning.

Tabel 11.2 Kandungan Mineral Bentonit

Senyawa	Komposisi
CaO	0,0%
MgO	0,0%
Al ₂ O ₃	22,9%
Fe ₂ O ₃	5,1%
SiO ₂	55,5%

DAFTAR PUSTAKA

- Mursi sutarsi, Minta Rahmawati. 1994. *Zeolit: tinjauan literatur*. Jakrata: Erlangga.
- Anton J Hartomo. 1994. *Mengenal keramik modern: mineral lempung, kimia keramik dan kristal, proses pembentukan keramik, penyidikan struktur sifat, rekayasa canggih elektronika*. Yogyakarta: Andi offset.
- Teuku Rihayat. 2022. *Material dan nanokomposit*. Jakarta: Andi.
- Restu K Widi. 2018. *Pemanfaatan Material Anorganik: Pengenalan dan Beberapa Inovasi di Bidang Penelitian*. Jakrata: Erlangga.

BIODATA PENULIS

Dr. Rakhmad Armus, S.T., M.Si.

Dosen Program Studi Teknik Lingkungan
STT Nusindo Makassar

Penulis lahir di Enrekang, Sulawesi Selatan 1972. Beliau menyelesaikan pendidikan Ahli Madya pada Jurusan Teknik Kimia Politeknik Universitas Hasanuddin pada 1995, melanjutkan pendidikan sarjana dari Jurusan Teknik Kimia Universitas "45" Makassar. Pernah bekerja di Industri Plastik sebagai quality control (1995-1998), pernah bekerja pada Industri Pengolahan Air minum (1998-2004), pernah bekerja pada industri tambang emas sebagai quality controll (2010). Penulis menyelesaikan program Magister bidang Teknik lingkungan Universitas Hasanuddin (2008-2010). Sebagai dosen tamu dalam bidang laboratorium limbah Industri dan laboratorium Kimia fisika pada jurusan teknik kimia Politeknik Negeri Ujung Pandang. Saat ini sebagai Dosen tamu pengampu mata kuliah K3 & Lingkungan di Universitas Fajar Makassar (2013-2022), penulis juga telah menyelesaikan studi pada Program Doktor Ilmu Kimia di Universitas Hasanuddin (2020). Saat ini penulis bekerja sebagai peneliti dan dosen di Stitek Nusindo Makassar.

BIODATA PENULIS



Dr. Waode Rustiah, S.Si., M.Si.

Dosen Program Studi Teknologi Laboratorium Medis
Politeknik Kesehatan Muhammadiyah Makassar

Penulis lahir di Pangkep pada tanggal 30 Januari 1979. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Teknologi Laboratorium Medis, Politeknik Kesehatan Muhammadiyah Makassar. Menyelesaikan pendidikan S1 tahun 2002 pada Jurusan Kimia di Universitas Hasanuddin, dan melanjutkan S2 pada tahun 2005 di Institut Teknologi Bandung (ITB) pada bidang konsentrasi Kimia Analitik. Pada tahun 2019 telah menyelesaikan pendidikan S3 pada Program Doktor Ilmu Kimia di Universitas Hasanuddin.

BIODATA PENULIS

Yulianti Malik, S.Si., M.T.

Dosen Program Studi Teknik Kimia Mineral
Politeknik Industri Logam Morowali

Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Studi Teknik Kimia Mineral Politeknik Industri Logam Morowali. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Fisika-FMIPA Universitas Halu Oleo Kendari dan melanjutkan S2 pada Program Studi Teknik Material dan Metalurgi Fakultas Teknik Industri-Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS). Selain mengajar, penulis juga aktif menulis yang berkaitan dengan bidang ilmu yang ditekuni. Beberapa karya tulis yang telah diselesaikan antara lain *book chapter* Fisika Mekanika, Fisika Listrik Magnet, Geometri dan Ruang, Perpindahan Panas dan Mekanika Teknik. Hingga saat ini, penulis sedang menyelesaikan tulisan untuk karya-karya lainnya serta melaksanakan penelitian yang berkaitan dengan Pengolahan Mineral dan Metalurgi laterit nikel.

BIODATA PENULIS



Aliyah Fahmi S.Si, M.Si.

Dosen Kimia di Universitas Efarina, Pematang Siantar

Ketertarikan penulis terhadap ilmu kimia zat padat sejalan dengan studi Penulis yang berkaitan dengan Ilmu Kimia. Penulis memulai perkuliahan pada program studi D3 Analis Kimia di Universitas Sumatera Utara, yang dilanjutkan S1 Kimia pada tahun 2005 s/d 2007. Penulis kemudian melanjutkan perkuliahan pada jenjang magister di tahun 2014 s/d 2016 dan menjadi Dosen Kimia di Universitas Efarina, Pematang Siantar. Penulis ditempatkan di Fakultas Kesehatan, tepatnya di Program Studi D3 Analis Kesehatan atau Analis Teknik Laboratorium Medik. Saat ini, Penulis sedang dalam studi S3 terkait Ilmu Kimia. Beberapa penelitian yang telah dilakukan oleh Penulis didanai oleh LPDP dan Kemenristek DIKTI. Selain menjadi Peneliti, Penulis juga aktif menulis buku dengan harapan dapat memberikan kontribusi positif bagi bangsa dan negara Indonesia. Email Penulis: aliyahfahmi0984@gmail.com

BIODATA PENULIS**Dr. Jan Setiawan, S.Si., M.Si.**

Staf Dosen Prodi Teknik Elektro Universitas Pamulang
Staf Periset Badan Riset dan Inovasi Nasional

Penulis lahir di Jakarta pada tahun 1980. Saat ini penulis adalah staf Peneliti Ahli Madya pada Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN). Penulis menyelesaikan studi S1 di prodi Fisika Institut Pertanian Bogor pada tahun 2003. Penulis melanjutkan studi S2 di prodi Ilmu Bahan-bahan Universitas Indonesia yang diselesaikan pada tahun 2010. Penulis menyelesaikan studi S3 pada tahun 2015 di prodi Ilmu Bahan-bahan Universitas Indonesia. Bidang kepakaran penelitian Penulis adalah teknik material. Selain berkarir sebagai peneliti Penulis juga aktif menjadi pengajar pada Program Studi Teknik Elektro - Universitas Pamulang. Penulis juga aktif menjadi mitra bestari untuk jurnal ilmiah baik nasional maupun internasional. Penulis mulai berkecimpung dalam penulisan buku untuk bidang MIPA dan keteknikan semenjak tahun 2020.

Email Penulis: jansetiawan.lecturer@gmail.com

BIODATA PENULIS



Dimas Tunggul Wardoyo, S.Si., M.Pd.

Dosen Program Studi Kimia Industri
Politeknik Santo Paulus Surakarta

Penulis lahir di Sragen tanggal 8 Oktober 1988. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Dosen Program Studi Kimia Industri, Politeknik Santo Paulus Surakarta. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Kimia MIPA dan melanjutkan S2 pada Jurusan Pendidikan IPA.

BIODATA PENULIS



Dr. Linda Hevira, S.Si, M.Si

Dosen Program Studi Farmasi

Fakultas Kesehatan Universitas Mohammad Natsir YARSI
Bukittinggi

Penulis lahir di Dumai tanggal 2 Oktober 1974. Menyelesaikan pendidikan S1, S2 dan S3 pada Jurusan Kimia Universitas Andalas dan melanjutkan Post Doc di Pusat Riset BRIN Cibinong, Jawa Barat.

BIODATA PENULIS**Neny Rochyani**

Dosen Program Studi Teknik Kimia
Fakultas Teknik Universitas PGRI Palembang

Penulis lahir di Palembang tanggal 09 Juni 1971. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Teknik kimia Fakultas Teknik, Universitas PGRI Palembang. Menyelesaikan pendidikan S1, S2 pada Jurusan Teknik kimia dan melanjutkan S3 pada program studi ilmu lingkungan dengan bidang kajian utama : Agro Industri Energi. Penulis juga telah menempuh pendidikan profesi keinsinyuran (Ir.) pada Unika Atmajaya Jakarta dan memegang registrasi sebagai Insinyur Profesional Madya (IPM). Pada bidang penulisan karya ilmiah, sampai dengan saat ini telah menghasilkan karya ilmiah utamanya penelitian yang berhubungan dengan materi ilmu kimia dan lingkungan dengan kajian utama berfokus terhadap restorasi dan pendalaman karakteristik lingkungan sebagai objek penelitian yang menjadi kekuatan pengelolaan lingkungan. Dalam ranah penulisan buku, sampai dengan saat ini telah menghasilkan buku materi ajar dan modul paktikum yang dipakai dan diaplikasikan pada lingkungan perguruan tinggi.

BIODATA PENULIS**Ani Qomariyah, S.Si., M.Sc.**

Dosen Program Studi D-IV Teknologi Laboratorium Medik
STIKES Banyuwangi

Penulis lahir di Jombang tanggal 20 Desember 1991. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi D-IV Teknologi Laboratorium Medik STIKES Banyuwangi. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Kimia dan S2 pada Jurusan Ilmu Kimia di kampus yang sama yaitu Universitas Gadjah Mada Yogyakarta. Pada saat kuliah S2, penulis terpilih dalam kegiatan Internasional seperti mengikuti kegiatan *Spring School* di *Kyoto University* Jepang selama tiga minggu dan terpilih mengikuti penelitian dan perkuliahan di *Hokkaido University* Jepang selama enam bulan dengan beasiswa dari Pemerintah Jepang (JASSO). Penulis mendapatkan beasiswa Bidik Misi dari Kemdikbud RI untuk menyelesaikan studi S1, dan mendapatkan beasiswa LPDP dari Kemenkeu RI untuk menyelesaikan studi S2.

Penulis menekuni bidang Menulis. Tulisan-tulisan yang dihasilkan sudah dipublikasikan dalam bentuk jurnal ilmiah internasional dan nasional, serta dimuat dalam media massa (koran). Tulisan yang berhasil dipublikasikan pada Jurnal Internasional Bereputasi (Q1) berjudul "*Octyl and propylsulfonic acid co-fixed Fe₃O₄@ SiO₂ as a magnetically separable, highly active and reusable solid acid catalyst in water*" (*Molecular Catalyst* 475, 110248, 2019). Tulisan yang berhasil dipublikasikan pada Jurnal

Internasional yaitu *“An Analysis of Mercury (Hg) Levels in River Water Around the Gold Mining Area in Banyuwangi Regency”* (*International Journal of Medicine and Health*, 1 (4), 16-22, 2022). Tulisan yang berhasil dipublikasikan pada Jurnal Nasional terakreditasi Dikti berjumlah 6 judul dan tulisan yang dipublikasikan pada Jurnal Nasional berjumlah 4 judul. Selain aktif menulis sebagai bagian dari Tri Dharma Perguruan Tinggi, penulis juga aktif mengikuti berbagai organisasi kemasyarakatan, membimbing mahasiswa dalam mengikuti hibah kompetisi, mengikuti berbagai seminar atau *workshop* serta mengikuti berbagai pelatihan.

BIODATA PENULIS

Wiwin Rewini Kunusa, S.Pd., M.Si.

DosenProgram Studi Kimia

Fakultas matematika dan IPA Universitas Negeri Gorontalo

Wiwin Rewini Kunusa lahir di Gorontalo, pada 8 November 1970.Ia tercatat sebagai lulusan Universitas Negeri Gorontalo S1 Jurusan Kimia dan S2 di Universitas Brawijaya, Malang Jawa Timur. Wanita yang kerap disapa Wiwin ini adalah anak dari pasangan Hasan Kunusa/alm (ayah) dan Haina H. Kunusa/alm (ibu). Wiwin Rewini Kunusa telah banyak menghasilkan jurnal-jurnal penelitian dan pengabdian pada masyarakat serta banyak membimbing mahasiswa dalam PKM baik melalui pendanaan DIKTI, PNPB Universitas ataupun Fakultas. Dan juga sebagai Dosen Pembimbing lapangan pada Program MBKM. Ditahun 2021 sebagai reviewer tingkat nasional proposal PKM Mahasiswa tingkat MIPA - LPTK. Pada 2022, Wiwin berhasil meraih penghargaan Dosen Favorit dalam Program DIKTI yakni Abdidaya 2022 dalam kategori pemilihan dosen pembimbing lapangan pada Program PHP2D.

BIODATA PENULIS



Suhirman S.T., M. Eng

Dosen Program Studi Teknik Kimia
Sekolah Tinggi Teknologi Fatahillah-Cilegon

Penulis Lahir di Lebak-Banten tanggal 02 April 1993. Penulis adalah dosen Tetap dan Ketua Program Studi Teknik Kimia di Sekolah Tinggi Teknologi Fatahillah-Cilegon. Menyelesaikan Pendidikan Sarjana Teknik Kimia di Daerah Asal yaitu Universitas Sultan Ageng Tirtayasa pada tahun 2017. Melanjutkan Magister Teknik Kimia di Universitas Gadjah Mada pada 2018-2020. Penulis Pernah Bekerja dan *Part Time* di Perusahaan Pengolahan Air dan Limbah PT. Rofis Jaya Perkasa-Bogor dari 2017. Saat ini penulis selain menikmati mengajar juga menekuni bidang menulis buku dan jurnal serta Pengabdian Masyarakat. Sambil menikmati dunia Pendidikan, penulis menghabiskan waktu dengan istri tercinta (Indah Miftahul Jannah Praptiwi) serta sedang mempersiapkan mimpinya yaitu lanjut kuliah S3 di Twente University Belanda (Aamiin).