

PENGANTAR KIMIA MATERIAL

**Suhirman
Dwi Setyorini
Kostiawan Sukamto
Fitri Junianti
Nyimas Yanqoritha
Ian Kurniawan
Yeslia Utubira
Fahmy Rinanda Saputri
Aliyah Fahmi
Fredy Picauly**



GET PRESS INDONESIA

PENGANTAR KIMIA MATERIAL

Penulis :

Suhirman
Dwi Setyorini
Kostiawan Sukanto
Fitri Junianti
Nyimas Yanqoritha
Ian Kurniawan
Yeslia Utubira
Fahmy Rinanda Saputri
Aliyah Fahmi
Fredy Picauly

ISBN :

Editor : Diana Purnama Sari,. S.E M.E

Penyunting : Tri Putri Wahyuni,S.Pd

Desain Sampul dan Tata Letak : Atyka Trianisa, S.Pd

Penerbit : GET PRESS INDONESIA

Anggota IKAPI No. 033/SBA/2022

Redaksi :

Jln. Palarik Air Pacah No 26 Kel. Air Pacah
Kec. Koto Tangah Kota Padang Sumatera Barat
Website : www.getpress.co.id
Email : adm.getpress@gmail.com

Cetakan pertama, September 2023

Hak cipta dilindungi undang-undang

Dilarang memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk dan
dengan cara apapun tanpa izin tertulis dari penerbit.

KATA PENGANTAR

Segala Puji dan syukur atas kehadiran Allah SWT dalam segala kesempatan. Sholawat beriring salam dan doa kita sampaikan kepada Nabi Muhammad SAW. Alhamdulillah atas Rahmat dan Karunia-Nya penulis telah menyelesaikan Buku Pengantar Kimia Material ini.

Buku ini membahas Fundamental material dan karakteristik material, Struktur atom dan ikatan antar atom padatan, Material logam, Material keramik, Material komposit, Material kristal cair, Material berpori (porus material) dan material berlapis (layered material), Material magnetikmagnetik, dielektrik, dan optik Biomaterial, Material beton dan kayu.

Proses penulisan buku ini berhasil diselesaikan atas kerjasama tim penulis. Demi kualitas yang lebih baik dan kepuasan para pembaca, saran dan masukan yang membangun dari pembaca sangat kami harapkan.

Penulis ucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah mendukung dalam penyelesaian buku ini. Terutama pihak yang telah membantu terbitnya buku ini dan telah mempercayakan mendorong, dan menginisiasi terbitnya buku ini. Semoga buku ini dapat bermanfaat bagi masyarakat Indonesia.

Padang, September 2023

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR TABEL	ix
BAB 1 FUDAMENTAL MATERIAL DAN KARAKTERISASI MATERIAL.....	1
1.1 Pendahuluan.....	1
1.2 Metode Karaktrisasi Material	4
1.2.1 Spektrofotometri UV-vis	6
1.2.2 Spektroskopi FTIR.....	7
1.2.3 SEM	8
1.2.4 TEM.....	11
1.2.5 Sinar-X.....	13
DAFTAR PUSTAKA.....	14
BAB 2 SRUKTUR ATOM DAN IKATAN ANTAR ATOM PADATAN.....	15
2.1 Struktur Atom.....	15
2.2 Ikatan Atom Antar Zat Padat.....	18
2.2.1 Ikatan Primer.....	20
2.2.2 Ikatan Sekunder.....	24
DAFTAR PUSTAKA.....	29
BAB 3 MATERIAL LOGAM.....	31
3.1 Pendahuluan.....	31
3.2 Sifat-Sifat Logam.....	31
3.2.1 Kekuatan dan Ketahanan.....	32
3.2.2 Duktilitas dan Kehalusan.....	34
3.2.3 Kekerasan.....	35
3.2.4 Konduktivitas Termal dan Listrik	36
3.2.5 Elastisitas.....	38
3.3 Struktur Kristal Material Logam.....	39
3.3.1 Body-Centered Cubic.....	39

3.3.2 Face-Centered Cubic	40
3.3.3 Hexagonal Close-Packed	42
3.3.4 Struktur Kristal Campuran.....	43
3.4 Aplikasi Material Logam.....	44
3.4.1 Konstruksi	44
3.4.2 Transportasi.....	45
3.4.3 Industri Otomotif.....	45
3.4.4 Elektronik	46
3.4.5 Industri Energi	47
3.4.6 Industri Farmasi dan Kedokteran.....	47
3.4.7 Industri Pertahanan	48
DAFTAR PUSTAKA.....	50
BAB 4 MATERIAL KERAMIK	53
4.1 Pengertian.....	53
4.2 Struktur Keramik.....	54
4.2.1 Struktur kristal keramik	54
4.3 Sifat Keramik.....	58
4.3.1 Sifat Mekanik.....	58
4.3.2 Sifat Termal.....	58
4.3.3 Sifat Kimia.....	60
4.3.4 Sifat Listrik	61
4.4 Pengelompokan Keramik.....	62
4.5 Pembuatan Keramik.....	63
DAFTAR PUSTAKA.....	67
BAB 5 MATERIAL KOMPOSIT	69
5.1 Pendahuluan	69
5.2 Pembagian komposit berdasarkan matriks	72
5.2.1 <i>Polymer Matrix Composites</i> (PMC),	72
5.2.2 <i>Metal Matrix Composites</i>	76
5.2.3 <i>Ceramic Matrix Composites</i>	78
5.3 Komposit berdasarkan morfologi material	
penguat (<i>reinforcement</i>).....	80
5.3.1 Komposit Partikulat	81

5.3.2 Komposit Serat	81
5.3.3 Komposit Struktur	82
DAFTAR PUSTAKA	87
BAB 6 MATERIAL KRISTAL CAIR.....	89
6.1 Pendahuluan.....	89
6.1.1 Perkembangan Penelitian Material Kristal Cair	90
6.2 Susunan Molekul Material Kristal Cair	92
6.2.1 Jenis Material Kristal Cair	92
6.2.2 Bentuk Material Kristal Cair	93
6.3 Sifat Fisika dan Kimia Material Kristal Cair	94
6.3.1 Sifat Fisika Material Kristal Cair.....	94
6.3.2 Sifat Kimia Material Kristal Cair.....	95
6.4 Pembentukan Material Kristal Cair	95
6.5 Aplikasi Teknologi Material Kristal Cair	97
6.6 Aplikasi Material Kristal Cair dalam Bioteknologi dan Industri	98
DAFTAR PUSTAKA	103
BAB 7 MATERIAL BERPORI (POROUS MATERIAL) DAN MATERIAL BERLAPIS (LAYERED MATERIAL)	107
7.1 Material Berpori (Porous Material)	107
7.1.1 Pengertian Material Berpori.....	107
7.2 Jenis-Jenis Material Berpori	111
7.2.1 Zeolit.....	111
7.2.2 Karbon Aktif	114
7.2.3 Silika Mesopori	116
7.3 Material Berlapis (Layered Material).....	118
7.3.1 Pengertian material berlapis (Layered Material).....	118
7.3.2 Lempung	118
7.3.4 Material Berlapis Anorganik	121
7.3.5 Material Berlapis Organik	123
DAFTAR PUSTAKA	124

BAB 8 MATERIAL MAGNETIK, DIELEKTRIK, DAN OPTIK	129
8.1 Pendahuluan.....	129
8.2 Material Magnetik.....	130
8.2.1 Klasifikasi Material Magnetik.....	131
8.2.2 Magnetisme Dasar.....	133
8.2.3 Permeabilitas Magnetik.....	134
8.2.4 Kurva Histeresis Magnetik.....	134
8.2.5 Aplikasi Material Magnetik.....	136
8.3 Material Dielektrik.....	137
8.3.1 Klasifikasi Material Dielektrik.....	138
8.3.2 Kegunaan Dasar Bahan Dielektrik	140
8.3.3 Konstanta Dilektrik.....	141
8.3.4 Kapasitansi dan Isolasi.....	143
8.3.5 Aplikasi Material Dilektrik.....	144
8.4 Material Optik.....	145
8.4.1 Karakteristik Material Optik.....	147
8.4.2 Aplikasi Material Optik.....	148
8.5 Pengujian dan Karakterisasi Material.....	150
DAFTAR PUSTAKA.....	152
BAB 9 BIOMATERIAL	153
9.1 Pengertian Biomaterial.....	153
9.2 Biopolimer	156
9.3 Biomaterial Logam	163
9.3.1 Paduan bebas nikel	163
9.3.2 Paduan bermodulus elastisitas rendah	164
9.3.3 Logam porus	164
9.3.4 Logam amorf.....	165
9.3.5 Logam biodegradabel	165
9.4 Biomaterial Non Logam.....	165
9.4.1 Keramik.....	165
9.4.2 Polimer.....	167
9.4.3 Komposit.....	169

9.5 Regulasi Biomaterial.....	170
DAFTAR PUSTAKA	171
BAB 10 MATERIAL BETON DAN KAYU	173
10.1 Pendahuluan	173
10.2 Material Beton dan Bahan Penyusunnya.....	173
10.2.1 Komponen Utama Penyusun Beton	175
10.3 Material Kayu.....	188
10.3.1 Anatomi Kayu.....	189
10.3.2 Sifat Fisis Kayu.....	190
10.3.3 Sifat Mekanis Kayu	192
10.4 Rangkuman	193
DAFTAR PUSTAKA	195
BIODATA PENULIS	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Hubungan Material yang akan dikarakterisasi dengan energi yang digunakan.....	2
Gambar 1.2. Sinar elektromagentik yang digunakan.....	4
Gambar 1.3. Spektrofotometri UV-vis	6
Gambar 1.4. Spektroskopi FTIR.....	7
Gambar 1.5. Hasil spektogram FTIR karbon aktif tempurung kelapa sawit dikenai pra-perlakuan oksidasi dengan H ₂ O ₂	8
Gambar 1.6. Skema SEM	10
Gambar 1.7. Distribusi KMnO ₄ pada permukaan karbon aktif tempurung kelapa sawit (a) tanpa pra-perlakuan oksidasi dengan konsentrasi massa 20% dan pra-perlakuan oksidasi dengan H ₂ O ₂ konsentrasi massa (b) 5% (c) 10% dan (d) 20%.....	11
Gambar 1.8. Skema TEM	12
Gambar 1.9. Hasil Snar X.....	13
Gambar 2.1. Struktur Atom	16
Gambar 2.2. (a) Ketergantungan Gaya Tolak-Menolak, Tarik-Menarik, dan Gaya Netto sebagai Fungsi Jarak Antaratom untuk Dua Atom Terisolasi (b) Ketergantungan Energi Potensial Tolak, Tarik-Menarik, dan Energi Potensial Netto sebagai Fungsi Jarak Antar atom untuk Dua Atom Terisolasi.....	19
Gambar 2.3. Ilustrasi ikatan ion pada NaCl.....	21
Gambar 2.4. Ilustrasi ikatan kovalen pada CH ₄	22
Gambar 2.5. Ilustrasi ikatan logam	24
Gambar 2.6. Ilustrasi ikatan van der waals.....	25

Gambar 2.7. (a) atom yang simetris secara electric (b) dipol atom yang diinduksi	26
Gambar 2.8. ikatan pada molekul HCl.....	27
Gambar 2.9. Ikatan Hidrogen pada HF	27
Gambar 3.1. Struktur Kristal <i>Body-Centered Cubic</i> (BCC)	40
Gambar 3.2. Struktur Kristal <i>Face-Centered Cubic</i> (FCC).....	41
Gambar 3.3. Struktur Kristal <i>Hexagonal</i> <i>Close-Packed</i> (HCP)	42
Gambar 4.1. Piring Porselen.....	54
Gambar 4.2. Struktur <i>Simple Cubic</i>	55
Gambar 4.3. Struktur BCC	55
Gambar 4.4. Struktur FCC	56
Gambar 4.5. Struktur Kristal Tetragonal	56
Gambar 4.6. Struktur Monoklinik Kaolin.....	57
Gambar 5.1. Susunan geometri dan spasial fasa penguat yang mempengaruhi komponen (a) konsentrasi, (b) ukuran, (c) bentuk, (d) distribusi, (e) orientasi	70
Gambar 5.2. Pembagian komposit berdasarkan bahan matriksnya	71
Gambar 5.3. Komposit berdasarkan morfologi material penguatnya	71
Gambar 5.4. Demonstrasi skema transformasi yang sulit. (a) Retakan sebelumnya rangsangan ZrO ₂ transformasi fase partikel. (b) Penangkapan retak karena stres yang ditimbulkannya transformasi fase.	80
Gambar 5.5. Lay-up (skema) untuk laminar komposit. (a) Searah; (b) lapisan silang; (c) lapisan sudut; dan (d) multi arah.....	83
Gambar 5.6. Diagram skematik menunjukkan potongan melintang dari panel sandwich.....	85

Gambar 5.7. Diagram skematik menunjukkan konstruksi panel sandwich inti sarang lebah...	86
Gambar 7.1. Representasi Skema Penampang Material Padat berpori.....	110
Gambar 7.2. Struktur mordenit (a) dan klinoptilolit (b).	112
Gambar 7.3. Foto SEM Permukaan Pori-pori Karbon Aktif.....	115
Gambar 7.4. Struktur lempung montmorillonit	119
Gambar 7.5. Representasi pembentukan lempung terpillar.....	120
Gambar 8.1. Kurva Histerisis dalam Magnetisasi Ferromagnetik	135
Gambar 9.1. Peristiwa tingkat molekuler pada permukaan implan logam	154
Gambar 9.2. Implan sendi panggul dari baja tahan karat.....	159
Gambar 9.3. Logam pada Biomaterial.....	160
Gambar 9.4. Struktur molekul hidroksiapatit $(Ca_{10-x}(PO_4)_{6-x}(HPO_4)_x(OH)_{2-x} \text{ (} x=0-1 \text{)})$	167
Gambar 9.5. Aplikasi Polimer.....	165
Gambar 9.6. Komposit hidrogel injeksi biodegradable berbasis sitrat untuk aplikasi ortopedi	169
Gambar 10.1. Potongan Penampang Beton	174
Gambar 10.2. Jenis Semen Hidrolik	176
Gambar 10.3. Senyawa Kimia yang Terdapat Pada Semen	178
Gambar 10.4. Hubungan Umur dan Kuat Tekan Unsur-Unsur Semen	179
Gambar 10.5. Agregat Kasar (batu pecah).....	182
Gambar 10.6. Agregat Halus (pasir)	183
Gambar 10.7. Hubungan FAS dengan Kuat Tekan Beton.....	185
Gambar 10.8. Potongan Melintang Pohon Kayu.....	189

Gambar 10.9. Potongan Arah Serat Kayu.....190

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1. Hubungan Teknik dan karakterisasi material	5
Tabel 5.1. Sifat-sifat Komposit Matriks Logam yang Diperkuat dengan Serat Kontinyu dan Selaras	77
Tabel 7.1. Jenis – jenis zeolit berdasarkan rasio Si/Al	113
Tabel 7.2. Karakteristik Karbon Aktif.....	114
Tabel 8.1. Daftar Konstanta Dielektrik.....	142
Tabel 9.1. Jenis biomaterial dan aplikasinya.....	157
Tabel 9.2. Implan dan jenis logam yang dipakai	161
Tabel 10.1. Unsur Penting dari Semen portland.....	176
Tabel 10.2. Komponen Utama Semen Portland	177
Tabel 10.3. Kelas Berat Kayu Berdasarkan Berat Jenisnya	190

BAB 1

FUDAMENTAL MATERIAL DAN

KARAKTERISASI MATERIAL

Oleh Suhirman

1.1 Pendahuluan

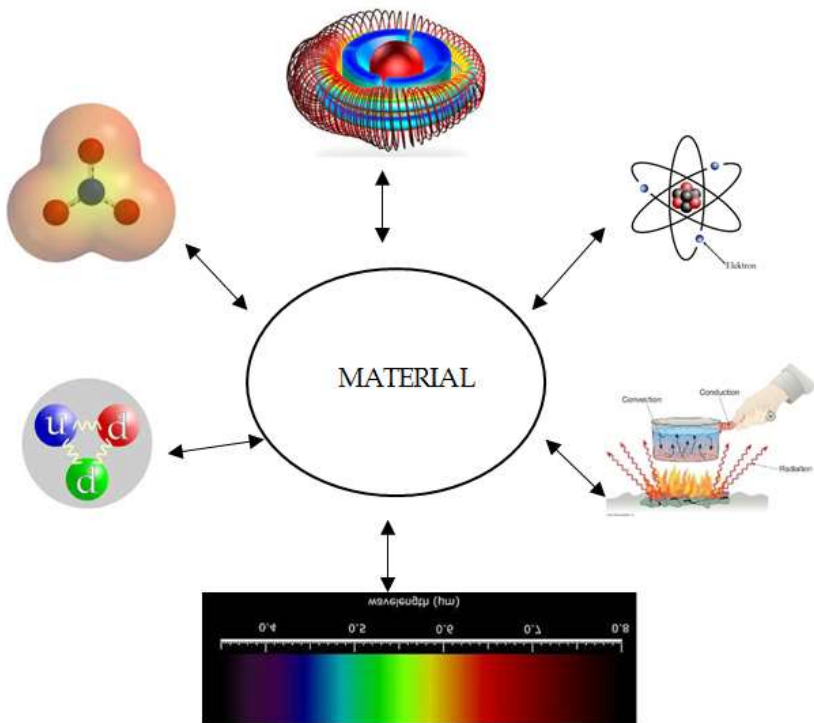
Bagi seorang akademisi dan praktisi atau bahkan bagi seorang peneliti ketika melihat atau menemukan suatu material maka yang pertama terpikirkan adalah material apa, kandungannya seperti apa serta karakteristiknya seperti apa. Pertanyaan-pertanyaan tersebut hanya akan terjawab dengan melakukan serangkaian kegiatan yaitu berupa melakukan karakterisasi terhadap material tersebut. Karakterisasi material memiliki banyak sekali jenisnya baik secara kimia ataupun fisika yang bahkan dapat digambarkan hasilnya dalam bentuk gambar (JPG).

Biasanya hal yang muncul sebagai pertanyaan adalah jenis material apa, berapakah kemurniannya, gugus fungsi atau sneyawa apa, bagaimana komposisinya (Berat molekul, densitas, viskositas), bagaimana bentuk kristalnya.

Karakterisasi material tidak hanya dibutuhkan oleh seorang akandemisi dalam memberikan informasi dalam penemuannya melainkan bagi seorang industri yang memang menggunakan bahan material. Contoh kasus adalah PT. Rofis Jaya Perkasa (Bogor-Indonesia) yang saat ini menjadi seorang kontraktor pengolahan limbah dan air bersih menggunakan material anoda dan katoda sebagai pengganti bahan kimia. Pada umumnya ketika membeli material anoda maka harus dianalisa kandungannya seperti berapa persen berat/berat kandungan logam dalam satu buah anode.

Maka perlu melakukan karakterisasi dan analisa terhadap material tersebut untuk mengetahui massa dari anode tersebut.

Dalam pengolahan limbah ataupun industri petrokimia biasanya menggunakan material zeolit seperti zeolit alam bayah dan lampung. Pada sadarnya material seperti zeolit, karbon aktif, tanah liat, magnesium anode, aluminium anode, tanah, kapur dan material lainnya memiliki luas permukaan, pori, tingkat keasaman yang yang dapat dianalisa atau dikarakterisasi dengan memanfaatkan kombinasi energi seperti elektron, ion, kalor, medan magnet dan energi lainnya. Pada dasarnya intergrasi dan keterhubungan karakterisasi tersebut ditunjukkan pada Gambar 1.1.



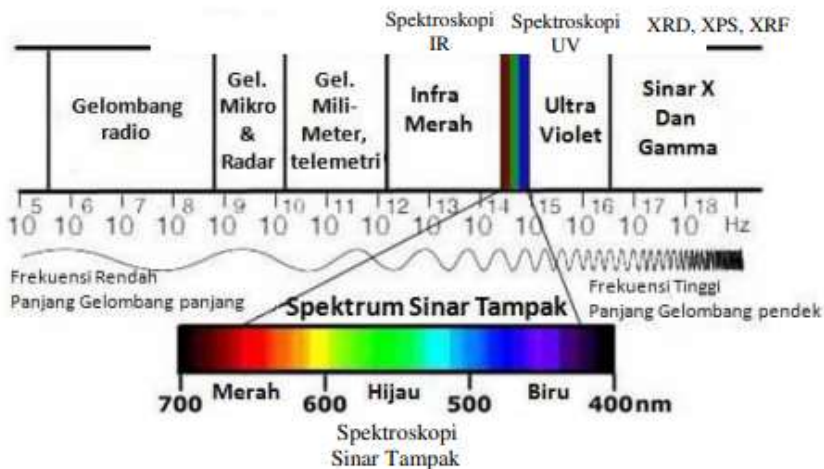
Gambar 1.1. Hubungan Material yang akan dikarakterisasi dengan energi yang digunakan

Adapun sumber energi yang dapat berinteraksi sebagaimana disebutkan yaitu energi kalor, partikel yang mampu bergerak seperti elektron, ion, neutron dan sebagainya, medan elektromagnetik dan kalor.

Tanda panah yang digambarkan merupakan interaksi material dengan sumber energi sehingga akan terjadi eksitasi atau perubahan-perubahan material. Dimana hasil interaksi tersebut dapat memberikan informasi mengenai karakter dari material yang akan dianalisa berkaitan dengan kondisi operasi seperti panjang gelombang, penghamburan, sistem penyerapan panas, bahkan pembelokan arah elektron.

Salah satu penjabaran mengenai karakterisasi adalah spektroskopi sinar infra merah yang menggunakan radiasi sinar infra merah yang dapat menyerap sinar dengan panjang gelombang tertentu. Dimana sinar infra merah yang tidak terserap sebagai panjang gelombang yang ditransmisikan. Untuk panjang gelombang yang diserap (sebagai vibrasi) merupakan interaksi dengan sebuah senyawa atau molekul material.

Jenis gelombang elektromagnetik itu sendiri merupakan sumber radiasi yang memiliki panjang gelombang sangat bervariasi satu sama lain seperti halnya dijabarkan pada Gambar 1.2. Pada dasarnya sinar-x dengan panjang gelombang yang pendek memiliki energi sangat tinggi sedangkan panjang gelombang yang besar cenderung memiliki nilai energi yang lebih rendah.



Gambar 1.2. Sinar elektromagentik yang digunakan

Berkaitan dengan metode karakterisasi yang digunakan yaitu terhadap jenis sumber energi, keterhubungan antara sinar mater dan material yang meresponnya yang kemudian terdeteksi dalam sebuah komputer untuk diolah data tersebut yang terekam. Karakterisasi material itu sendiri dapat kita temukan pada empat kelompok yaitu difraksi, mikroskopi, termal/panas dan spektroskopi.

1.2 Metode Karaktrisasi Material

Metode karetrisasi material setiap material berbeda-beda tergantung dengan kebutuhannya seperti untuk mengetahui kandungan kimia dari suatu material kimia adalah dengan menggunakan metode FTIR.

Teknik-teknik yang digunakan sesuai dengan pruntukkan karektrisasi berdasarkan hubungan antara sifat meteri yang diteliti dengan Teknik karetrisasi. Contohnya adalah untuk jenis ikatan,

analisa unsur, cacat kristal, struktur kristal, geometri, amorf dan fase menggunakan difraksi sinar X.

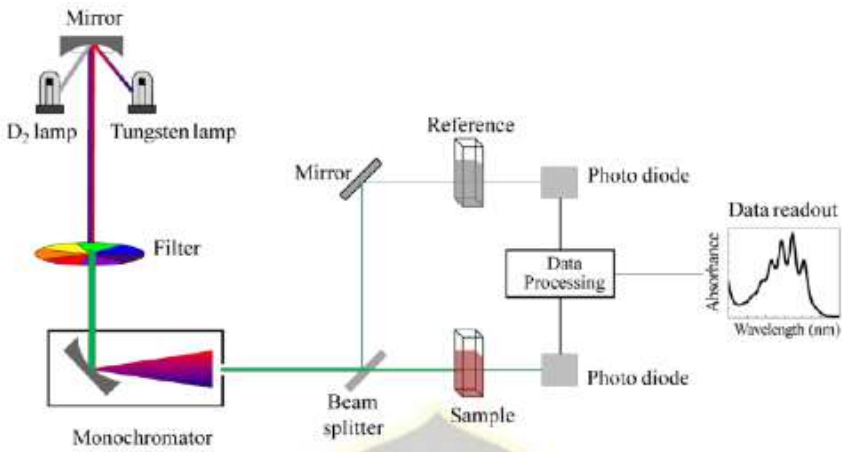
Tabel 1.1. Hubungan Teknik dan karakterisasi material

Teknik Karakterisasi	Jenis Ikatan	Struktur Elektron	Analisa Unsur	Tekstur Polikristalin	Struktur Permukaan	Cacat Kristal	Struktur Kristal	Unit sel, Geometri	Kristal, amorf	Identifikasi fase
	Sifat Materi									
Difraksi sinar X	√		√			√	√	√	√	√
Difraksi neutron			√	√	√	√	√	√	√	√
Mikroskop optik				√	√	√			√	√
Spektroskopi IR	√		√		√					√
Spektroskopi UV-Vis	√	√	√			√				
Spektroskopi NMR, ESR	√	√	√			√				√
Spektroskopi elektron: XPS, UPS, AES, EELS	√	√	√		√	√				
Spektroskopi sinar X : XRF, AEFS, EXAFS	√	√	√		√	√				

1.2.1 Spektrofotometri UV-vis

Spektrofotometri UV-vis ialah sebuah analisa yang melakukan pengukuran oleh serapan cahaya didaerah ultraviolet (200-350 nm) serta menggunakan sinar tampak 350 sampai dengan 800 nm.

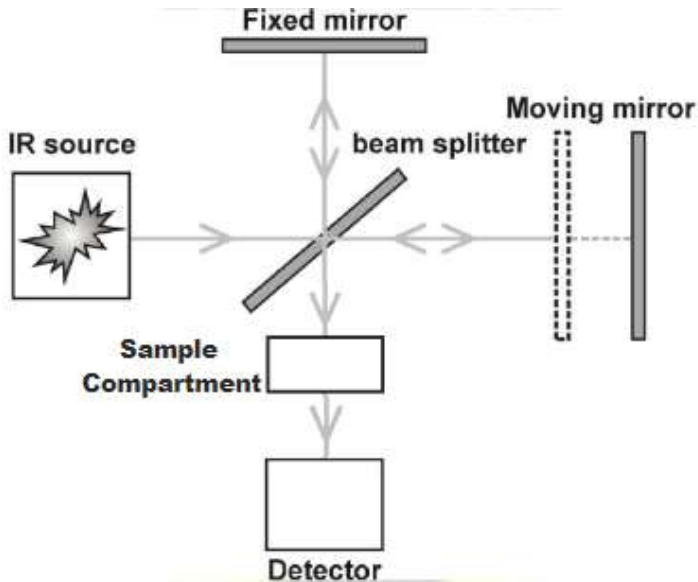
Pada prinsipnya cahaya UV ataupun cahaya yang tampak mampu mengakibatkan sebuah transisi elektronik yaitu dengan cara mendonorkan elektron dari sebuah orbitam material ke dalam dasar material yang memiliki kecenderungan energi yang rendah. Perlu digarisbawahi bahwa panjang gelombang UV meliputi sumber radiasi, detektor, amplifier, wadah sampel, monokromator, dan rekorder. Adapun spektrofotometri Uv Vis secara sekema ditunjukkan pada gambar 1.3.



Gambar 1.3. Spektrofotometri UV-vis

1.2.2 Spektroskopi FTIR

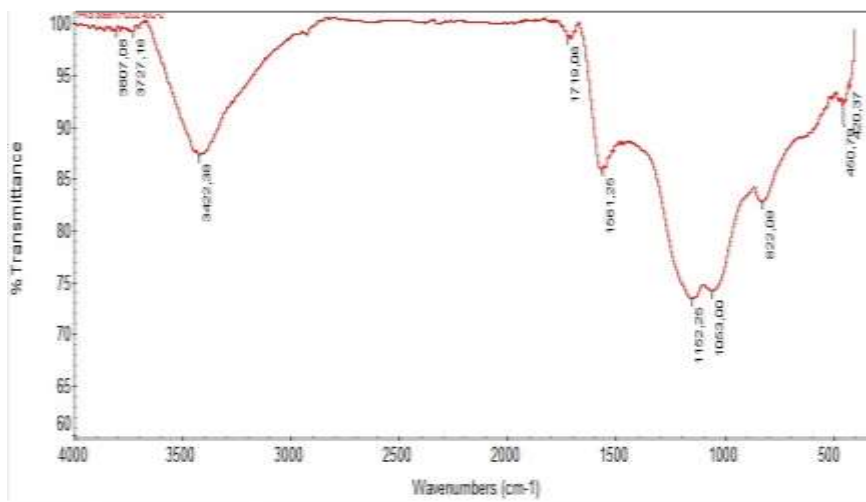
Pada sistem optik FT-IR menggunakan radiasi LASER (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*) yang berfungsi sebagai radiasi yang diinterferensikan dengan radiasi infra merah agar sinyal radiasi infra merah yang diterima oleh detektor secara utuh dan lebih baik. Detektor yang digunakan dalam spektrofotometer FT-IR adalah TGS (*Tetra Glycerine Sulphate*) atau MCT (*Mercury Cadmium Telluride*). Detektor MCT lebih banyak digunakan karena memiliki beberapa kelebihan dibandingkan detektor TGS yaitu memberikan respon yang lebih baik pada frekuensi modulasi tinggi, lebih sensitif, lebih cepat, tidak dipengaruhi oleh suhu, sangat selektif terhadap energi vibrasi yang diterima dari radiasi infra-merah (Suhirman, 2020).



Gambar 1.4. Spektroskopi FTIR

Contoh Analisa FTIR Gambar 1.5 (spectra FTIR) menunjukkan bahwa muncul beberapa pita serapan pada karbon

aktif tempurung kelapa sawit yang dikenai pra-perlakuan oksidasi dengan H_2O_2 . Seperti pada bilangan gelombang $1.105,25 \text{ cm}^{-1}$ yaitu C-O ($1.050\text{-}1.300 \text{ cm}^{-1}$ yaitu asam karborsilat kuat). Bilangan gelombang $1.719,06 \text{ cm}^{-1}$ yaitu C=O ($1.690\text{-}1.760 \text{ cm}^{-1}$ yaitu karboksilat). Bilangan gelombang $3.422,38 \text{ cm}^{-1}$ yaitu OH ($3.200\text{-}3.600 \text{ cm}^{-1}$ yaitu hidroksilat). Gambar 4.8 menunjukkan bahwa karbon aktif tempurung kelapa sawit yang telah diberikan pra-perlakuan oksidasi menggunakan H_2O_2 memiliki jumlah atom oksigen lebih banyak dibandingkan tanpa diberikan pra-perlakuan oksidasi. Maka pra-perlakuan oksidasi terhadap karbon aktif tempurung kelapa sawit menggunakan H_2O_2 berhasil terbentuk material bary sitesa.

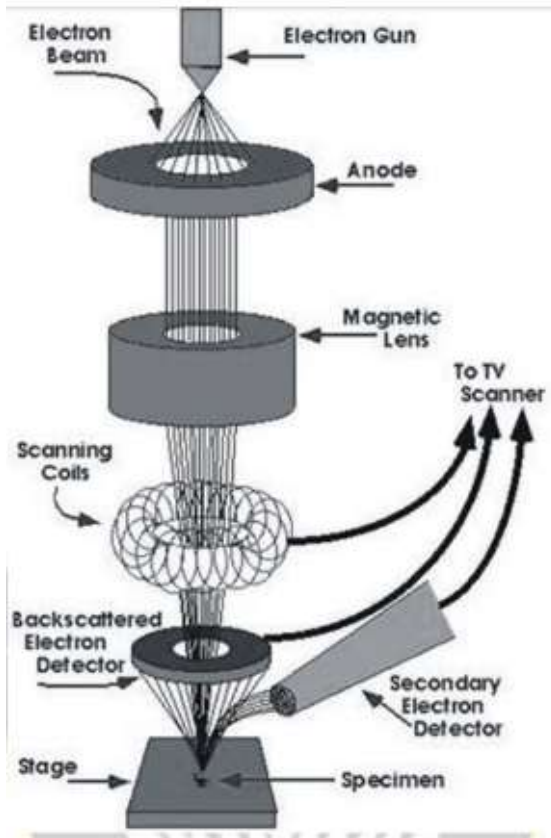


Gambar 1.5. Hasil spektogram FTIR karbon aktif tempurung kelapa sawit dikenai pra-perlakuan oksidasi dengan H_2O_2

1.2.3 SEM

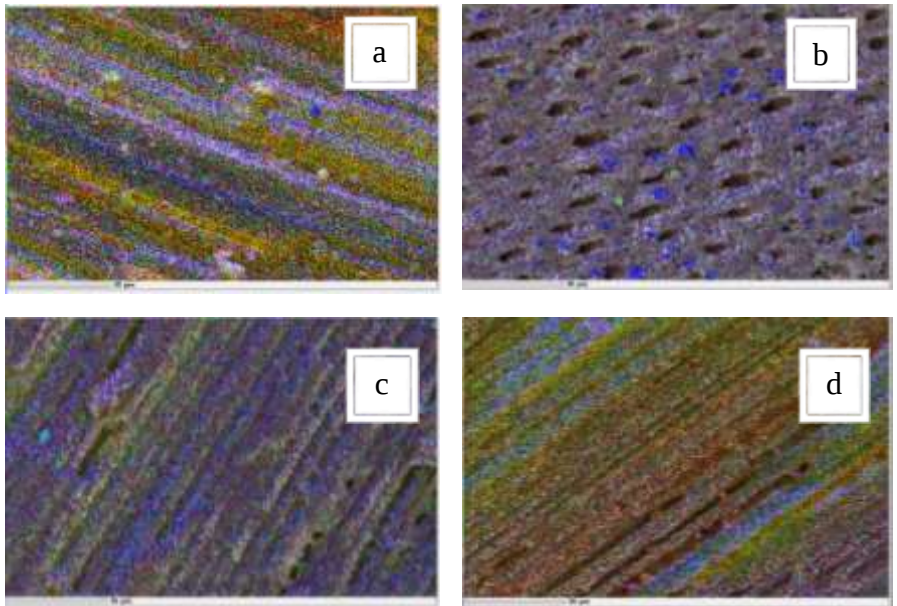
Scanning electron microscopy adalah analisis karbon aktif tempurung kelapa sawit dengan cara memanfaatkan elektron yang memiliki energi besar untuk menghasilkan beberapa sinyal pada

permukaan suatu padatan karbon aktif tempurung kelapa sawit. Adapun prinsip kerja *scanning electron microscopy* adalah *electron gun* menghasilkan *electron beam* dari filamen. Pada umumnya *electron gun* yang digunakan adalah tungsten *hairpin gun* dengan filamen berupa lilitan tungsten yang berfungsi sebagai katoda. Tegangan yang diberikan kepada lilitan mengakibatkan terjadinya pemanasan. Anoda kemudian akan membentuk gaya yang dapat menarik elektron melaju menuju ke anoda. Lensa magnetik memfokuskan elektron menuju suatu titik pada permukaan sampel kemudian sinar elektron yang terfokus memindai (*scan*) keseluruhan sampel dengan diarahkan oleh koil pemindai. Elektron yang mengenai sampel menjadi hamburan elektron secara *secondary electron* (SE) atau *back scattered electron* (BSE) pada permukaan sampel. Hamburan elektron akan dideteksi oleh detektor kemudian dimunculkan dalam bentuk gambar pada monitor CRT.



Gambar 1.6. Skema SEM

Berikut adalah contoh hasil analisa SEM yang menggambarkan partikel KMnO_4 terimpregnasi dalam material karbon aktif tempurung kelapa sawit. Dari hasil SEM tersebut dapat dilihat morfologi material karbon akti tersebut serta bagaimana disepersinya partikel KMnO_4 .

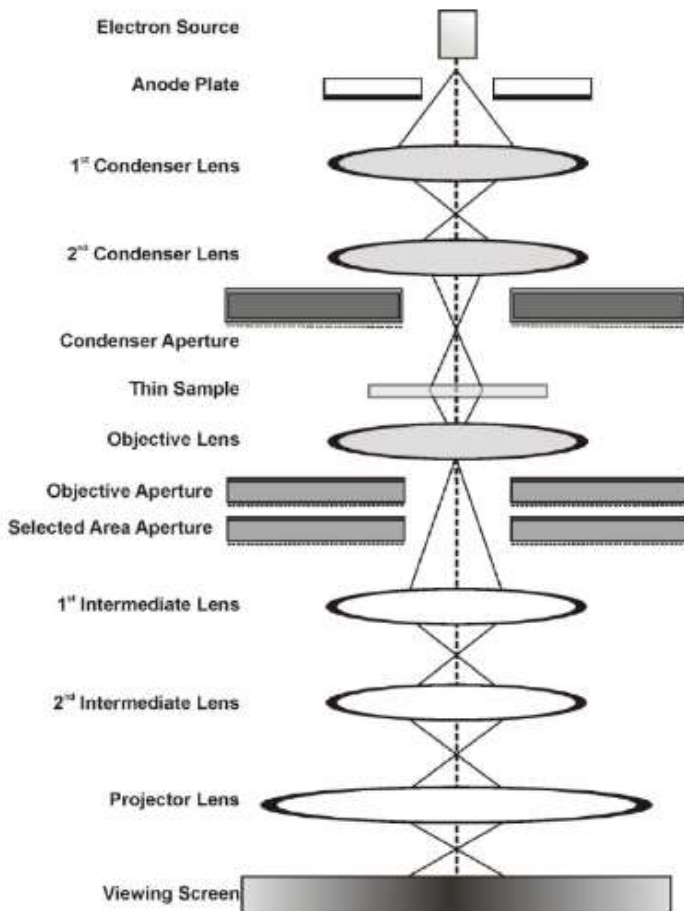


Gambar 1.7. Distribusi KMnO_4 pada permukaan karbon aktif tempurung kelapa sawit (a) tanpa pra-perlakuan oksidasi dengan konsentrasi massa 20% dan pra-perlakuan oksidasi dengan H_2O_2 konsentrasi massa (b) 5% (c) 10% dan (d) 20%

1.2.4 TEM

Pada dasar TEM digunakan untuk menganalisa material atau mengkarakterisasi material dengan objek yang tipis dikarenakan prinsip kerja dari TEM Menggunakan resolusi sekitar 0,2 nm. Dari hasil analisa TEM mampu memberikan informasi morfologi, ukuran sampel seperti luas area, lus mikro dan makro partikel, fase kristal, struktur kristal. TEM pada umumnya memiliki kerja dengan menggunakan mikroskop konvensional yang membedakannya adalah bukan menggunakan materi dari cahaya melainkan menggunakan cahaya yang berasal dari elektron.

voltase yang digunakan pada sistem TEM yaitu 100-400 kV sehingga mampu mempercepat dalam medeteksi. Disamping itu wajib untuk mempertipis material tersebut.



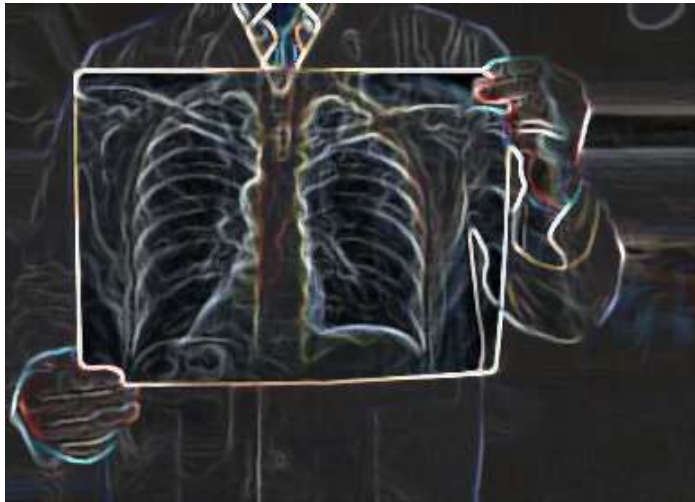
Gambar 1.8. Skema TEM

1.2.5 Sinar-X

Pada tahun 1895 seorang ilmuwan Wilhelm Conrad Rontgen pertama kali menemukan sinar-X. alasan sinar X tersebut dinamai karena memang pada saat itu sinar tersebut tidak diketahui. Adapun tujuan dan kelebihan dari sianar X ini adalah mendeteksi tanpa merusak material itu sendiri.

Kebutuhan data analisa kualitatif dan kuantiatif dapat menggunakan sinar X secara konseptual cahaya yang ditransmisikan lebih rendah dibandingkan dengan sinar cahaya yang datang. Penyebabnya Adalah adanya kegiatan material yang menyerap serta sebagian dari cahaya tersebut dihamburkan oleh atom-atom dalam material yang dianalisa tersebut.

Ada sebagian cahaya yang diserap dan ada sebagian yang dihamburkan. Dimana yang dihamburkan tersebut karena memiliki fase berbeda sehingga saling menghilangkan. Ada sinar yang bersifat saling menguatkan karena fasanya sama. Berkas sinar-X yang saling menguatkan itulah dikenal sebagai berkas cahaya difraksi. Berikut adalah manfaat sinar X dalam dunia kesehatan.



Gambar 1.9. Hasil Sinar X

DAFTAR PUSTAKA

- HIN, W. S. & WEE, C. H. S. A. T. S. C. 2010. *Science at the nanoscale: an introductory textbook*, Singapore : Pan Stanford
- CULLITY, B. D. 1978. *Elements of x-ray diffraction*. Notre Dame, Addison-Wesley. Publishing Company, Inc.
- E.SMART, L. & A.MOORE, E. 2005. *Solid state chemistry - an introduction*, New York, US, CRC Taylor & Francis.
- KEENAN, KLEINFEKTER & P., W. A. H. 1996. *Ilmu kimia untuk Universitas*. Jakarta, Indonesia. Erlangga.
- KELSALL, R., HAMLEY, I. W. & GEOGHEGAN, M. 2005. *Nanoscale science and technology*. England. John Wiley & Sons.

BAB 2

SRUKTUR ATOM DAN IKATAN ANTAR ATOM PADATAN

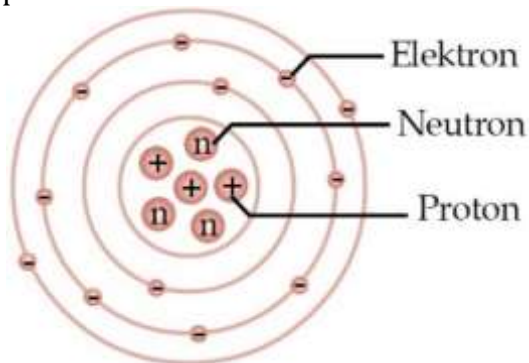
Oleh Dwi Setyorini

2.1 Struktur Atom

Atom merupakan unit dasar dari materi atau struktur kecil dari unsur kimia yang mempertahankan sifat kimiawi unsur tersebut. Komponen utama atom antara lain proton, neutron dan dikelilingi oleh elektron yang bergerak mengelilingi inti dalam lapisan – lapisan elektron yang berbeda. Muatan listrik proton dan elektron sebesar $1,6 \times 10^{-19}$ C dengan muatan negatif untuk elektron dan muatan positif untuk proton. Sementara neutron tidak memiliki muatan listrik. Massa dari partikel sub atom sangat kecil. Dimana massa proton dan neutron hampir sama yaitu sekitar $1,67 \times 10^{-27}$ kg. Sedangkan massa elektron lebih kecil dibandingkan yang lain, yakni 9×10^{-31} kg.

Setiap elemen kimia diidentifikasi berdasarkan jumlah proton di dalam inti atomnya, yang juga dikenal sebagai nomor atom (Z). Nomor atom ini menentukan identitas kimia elemen tersebut. Pada atom yang memiliki muatan netral atau lengkap, nomor atom sama dengan jumlah elektron. Nomor atom adalah bilangan bulat dan berkisar dari 1 untuk hidrogen hingga 94 untuk plutonium, yang merupakan nomor atom tertinggi yang ditemukan dalam unsur-unsur yang ada secara alami. Penjumlahan antara massa neutron dan proton merupakan massa atom (A) dari suatu atom. Walaupun memiliki kesamaan dalam nilai total proton pada semua atom pada unsur yang sama, jumlah neutron (N) dapat berbeda – beda. Oleh karena itu, atom dalam satu unsur bisa

memiliki beberapa nilai massa atom berbeda yang biasa disebut dengan isotop.



Gambar 2.1. Struktur Atom

Untuk menghitung massa atom dapat menggunakan satuan massa atom (sma). dimana sma diartikan sebagai $1/12$ dari massa atom isotop karbon (^{12}C) yang massa atomnya 12. Dengan dasar teori ini, massa neutron beserta proton sedikit lebih besar dari satu sma, dan nilai massa atom dari isotop-isotop lainnya dinyatakan dalam satuan ini. Jika diformulasikan, maka

$$A=N+Z$$

Struktur atom memiliki beberapa fungsi, antara lain :

1. Mengidentifikasi identitas unsur

Menentukan identitas unsur kimia dilakukan melalui dua faktor utama yaitu nomor atom yang merupakan total proton dalam inti atom dan susunan elektron di sekitar inti atom (susunan kulit elektron). Susunan atom yang berupa nomor atom menunjukkan sifat kimiawi suatu unsur. Setiap unsur memiliki nomor atom yang tak tertandingi, sehingga memisahkan satu unsur dari yang lain. Hal ini

memungkinkan penyusunan unsur-unsur dalam tabel periodik sesuai dengan struktur atom masing-masing

2. Mengidentifikasi sifat fisika

Susunan atom, termasuk cara elektron tersebar dan diatur di dalam kulit elektron, berdampak pada karakteristik kimia unsur. Cara elektron diatur ini menentukan potensi terbentuknya ikatan kimia serta sifat reaktif unsur tersebut. Sebagai contoh, elektron valensi, yakni elektron yang berada di lapisan terluar, memegang peran signifikan dalam membentuk ikatan kimia dengan unsur lain.

3. Mengidentifikasi sifat kimia

Susunan atom juga memiliki dampak pada ciri fisik materi. Sebagai contoh, massa atom berkaitan erat dengan jumlah proton dan neutron dalam inti atom. Di samping itu, penyebaran elektron dalam kulit elektron juga berpengaruh pada karakteristik seperti kemampuan konduktivitas listrik, konduktivitas panas, serta titik leleh dan didih suatu substansi

4. Mengidentifikasi reaktivitas kimia

Struktur atom, terutama interaksi yang terjadi antara elektron dalam kulit elektron, memiliki dampak pada respons kimia suatu unsur. Formasi ikatan kimia dan terjadinya reaksi kimia terjadi saat adanya interaksi antara elektron, entah melalui transfer atau pembagian elektron di antara atom-atom. Susunan elektron dan stabilitas inti atom juga memainkan peran dalam menentukan sejauh mana kecenderungan atom untuk membentuk ikatan kimia atau terlibat dalam reaksi kimia dengan unsur lain

5. Mempelajari Perilaku Materi

Memahami struktur atom memberi kita kemampuan untuk menguraikan dan meramalkan perilaku materi dalam berbagai situasi dan interaksi. Sebagai contoh, teori kinetik

gas bergantung pada pemahaman tentang cara atom dan molekul berinteraksi dan bergerak dalam keadaan gas.

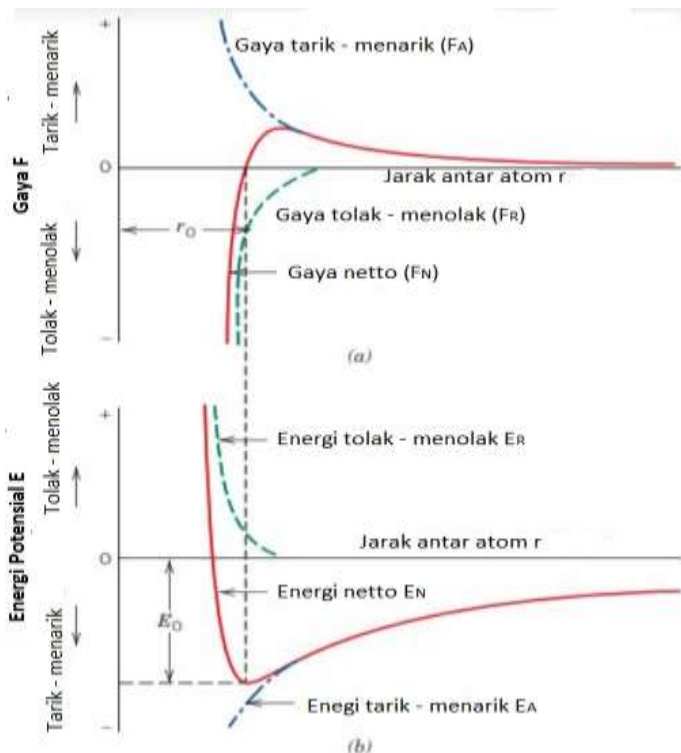
2.2 Ikatan Atom Antar Zat Padat

Ketika kita memiliki pengetahuan tentang gaya-gaya interaksi antar atom yang menyebabkan atom-atom tersebut terikat bersama, pemahaman tentang berbagai sifat fisik material dapat menjadi lebih mendalam. Prinsip-prinsip ikatan atom dapat dipahami dengan baik melalui pemikiran tentang cara dua atom yang terisolasi berinteraksi saat mereka mendekat setelah dijauhkan hingga tak terhingga. Ketika atom didekatkan dalam jarak yang tak terlalu jauh, interaksi di antara mereka menjadi signifikan. Karena jarak yang dekat mengakibatkan setiap atom saling memberikan gaya. Terdapat dua tipe gaya, yaitu tolak dan tarik yang besarnya bergantung pada jarak antar atom dan jenis ikatan yang ada di antara mereka. Besarnya perubahan gaya ini seiring dengan perubahan jarak, seperti dalam Gambar 2.2.

Pada akhirnya, kulit elektron terluar dari kedua atom mulai tumpang tindih, dan gaya tolak (FR) mulai muncul. Gaya netto (FN) antara kedua atom merupakan hasil penjumlahan antara gaya tarik (FA) dan gaya tolak. Apabila gaya tarik dan gaya tolak memiliki nilai yang sama, maka tidak akan ada gaya netto. Kemudian terjadi keseimbangan. Pusat kedua atom tetap dipisahkan pada jarak keseimbangan r_0 seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 2.2. Pada sebagian besar atom, nilai r_0 sekitar 0,3 nm ($3 \text{ \AA}$). Jika sudah mencapai titik ini, atom-atom tersebut akan menahan segala upaya untuk dipisahkan oleh gaya tarik maupun didorong oleh gaya tolak.

Berdasarkan gambar 2.2 dapat dilihat bahwa fungsi dari jarak kedua atom mendeskripsikan energi potensial tarik dan tolak, serta energi potensial netto. Pada kurva energi netto, yang merupakan total dari kedua energi tersebut, terdapat titik minimum yang merepresentasikan energi potensial terendah.

Pada titik ini, terdapat jarak kesetimbangan yang disebut sebagai " r_0 ," yang sesuai dengan jarak antara atom pada titik terendah kurva energi potensial. Energi ikatan antara dua atom, yang dikenali sebagai " E_0 ," sesuai dengan energi di titik minimum (yang ditunjukkan dalam gambar 2.2), yang menunjukkan energi yang diperlukan untuk memisahkan kedua atom ini sampai pada jarak tak terbatas.



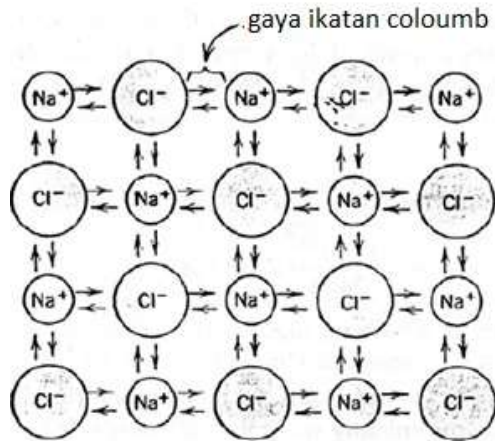
Gambar 2.2. (a) Ketergantungan Gaya Tolak-Menolak, Tarik-Menarik, dan Gaya Netto sebagai Fungsi Jarak Antaratom untuk Dua Atom Terisolasi (b) Ketergantungan Energi Potensial Tolak, Tarik-Menarik, dan Energi Potensial Netto sebagai Fungsi Jarak Antar atom untuk Dua Atom Terisolasi.

Besarnya energi ikatan dan bentuk kurva energi vs jarak antar atom bervariasi antara berbagai material, dan keduanya bergantung jenis ikatan atom dalam materi tersebut. Setiap material memiliki karakteristik unik dalam hal ini. Zat padat biasanya memiliki energi ikatan yang kuat, sementara gas cenderung memiliki energi ikatan yang lebih lemah. Kondisi cair umumnya menunjukkan energi ikatan dengan tingkat menengah. Sedangkan untuk bahan padat, titik leleh dan sifat ikatan yang dimiliki menunjukkan tingginya energi ikatan.

2.2.1 Ikatan Primer

1. Ikatan Ion

Ikatan ion umumnya terjadi dalam senyawa yang dibentuk oleh unsur logam dan non-logam. Atom logam biasanya cenderung melepaskan elektron valensi kepada atom non-logam. Tujuannya adalah untuk mencapai kestabilan atau konfigurasi serupa gas mulia dengan muatan listrik, sehingga menyebabkan pembentukan ion-ion. Natrium klorida (NaCl) adalah contoh klasik dari material ionik. Atom natrium, dengan menyerahkan satu elektron valensi dari kulit elektron 3s-nya kepada atom klorin, mencapai konfigurasi elektron mirip neon (dan memiliki muatan positif tunggal). Akibatnya, atom klorin menerima elektron ini, menjadi bermuatan negatif, dan memiliki konfigurasi elektron yang menyerupai argon. Seperti pada gambar 2.3.

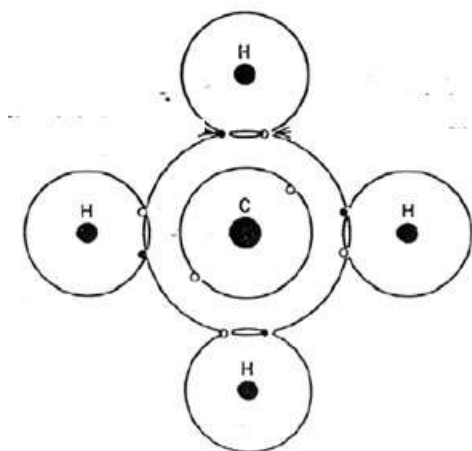


Gambar 2.3. Ilustrasi ikatan ion pada NaCl

Pada NaCl terjadi tarik menarik antara muatan positif dengan muatan negatif (gaya coloumb). Energi tarik (EA) yang berada diantara 2 ion, dapat dihitung sebagai jarak atom. Karakteristik yang dimiliki oleh material ion antara lain bersifat isolator, rapuh dan keras.

2. Ikatan Kovalen

Dalam ikatan kovalen, stabilitas konfigurasi elektron dapat dicapai dengan cara berbagi elektron antara atom-atom yang berdekatan. Dua atom yang terlibat dalam ikatan kovalen akan berkontribusi setidaknya satu elektron untuk ikatan tersebut, dan elektron yang saling dibagi dapat dianggap dimiliki bersama oleh kedua atom tersebut. Salah satu contoh penerapan ikatan kovalen yaitu pada metana (CH_4). Atom C memiliki 4 elektron valensi, sedangkan hidrogen memiliki 1 elektron valensi. Sehingga, ketika atom karbon dan hidrogen saling berbagi elektron, maka karbon akan memiliki 4 elektron tambahan yang berasal dari 4 atom hidrogen dan struktur elektronnya menyerupai neon.



Gambar 2.4. Ilustrasi ikatan kovalen pada CH_4

Jumlah elektron valensi menentukan ikatan kovalen yang terdapat di suatu atom. Ikatan kovalen memiliki kekuatan yang beraneka ragam. Ikatan kovalen yang kuat menyebabkan intan bersifat keras dan suhu lelehnya sangat tinggi dan berlaku sebaliknya. Material polimer yang berikatan kovalen, memiliki karakteristik seperti struktur molekul dasar terdiri dari rantai panjang atom karbon yang diikat bersama dalam ikatan kovalen. Dalam material polimer, biasanya hanya dua dari empat ikatan yang tersedia pada setiap atom karbon yang digunakan untuk mengikat rantai molekul tersebut bersama-sama.

Dalam ikatan kovalen polar, elektron yang digunakan dalam pembentukan ikatan lebih cenderung berada di sekitar atom yang memiliki afinitas elektron yang lebih tinggi. Ini mengakibatkan atom tersebut memiliki muatan parsial negatif (δ^-) sementara atom lainnya yang melepaskan elektron akan memiliki muatan parsial positif (δ^+). Contoh umum dari senyawa dengan ikatan kovalen polar adalah air (H_2O), di

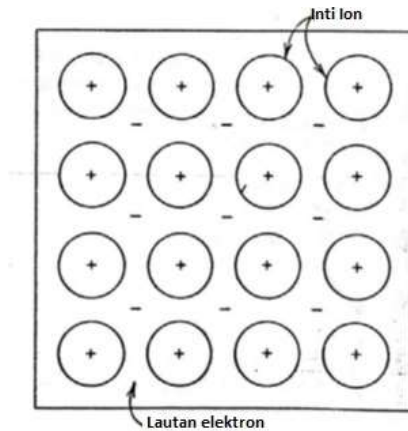
mana oksigen menarik elektron lebih kuat daripada hidrogen, sehingga terjadi muatan parsial pada atom-atom tersebut.

Sementara itu, dalam ikatan ionik kovalen, elektron benar-benar ditransfer dari satu atom ke atom lain, tetapi perbedaan dalam afinitas elektron dan energi ionisasi antara atom-atom tersebut mungkin tidak cukup besar untuk membentuk ikatan ionik yang murni. Ini mengakibatkan atom-atom tersebut berbagi elektron dalam tingkat tertentu, menghasilkan ikatan kovalen sekaligus dengan muatan ionik parsial.

Dalam banyak senyawa, terutama senyawa dengan atom yang memiliki perbedaan elektronegativitas yang signifikan, campuran antara ikatan ionik dan ikatan kovalen dapat terbentuk, menciptakan ikatan kovalen polar yang memiliki karakteristik dari kedua jenis ikatan tersebut.

3. Ikatan Logam

Ikatan logam adalah tipe ikatan di mana atom-atom logam di dalam materi padat logam berbagi elektron bersama. Dalam ikatan ini, atom-atom logam berkontribusi untuk membentuk apa yang dikenal sebagai "laut elektron," di mana elektron-elektron ini bergerak bebas di antara inti-inti atom logam. Ini membentuk struktur jaringan 3D yang kuat dan stabil yang umumnya memiliki sifat-sifat seperti konduktivitas listrik dan panas yang baik, dan sifat-sifat mekanik yang kuat. Logam dapat memiliki kekuatan yang bervariasi, dan jangkauan energinya sangat luas. Perbedaan dalam kekuatan ikatan logam dan titik leleh ini mencerminkan perbedaan dalam struktur kristal, jarak antar atom, dan sifat elektron valensi pada masing-masing unsur.



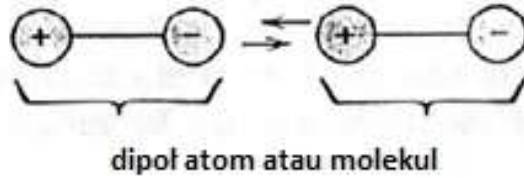
Gambar 2.5. Ilustrasi ikatan logam

Berikut adalah beberapa contoh dari kekuatan ikatan logam untuk beberapa unsur:

1. Raksa memiliki ikatan logam yang relatif lemah, dengan energi ikatan sekitar 68 kJ/mol ($0,7 \text{ eV/atom}$). Temperatur leleh raksa adalah sekitar -39°C .
2. Sebaliknya, wolfram memiliki ikatan logam yang jauh lebih kuat, dengan energi ikatan sekitar 850 kJ/mol ($8,8 \text{ eV/atom}$). Temperatur leleh wolfram sangat tinggi, yaitu sekitar 3410°C .

2.2.2 Ikatan Sekunder

Analisis Ikatan sekunder atau biasa disebut dengan ikatan van der Waals, memiliki gaya ikatan yang lemah daripada ikatan primer maupun ikatan kimia. Energi ikatan sekunder yaitu sekitar 10 kJ/mol . Ikatan sekunder terjadi antara semua atom atau molekul, tetapi cenderung kurang dominan ketika salah satu dari tiga jenis ikatan primer hadir. Ikatan sekunder ini dapat diamati pada gas mulia, yang memiliki struktur elektron yang stabil, dan juga terdapat pada molekul yang memiliki ikatan kovalen dalam struktur mereka.



Gambar 2.6. Ilustrasi ikatan van der waals

Gaya ikatan sekunder muncul karena adanya dipol pada atom atau molekul. Ketika terdapat jarak yang memisahkan sisi positif dengan sisi negatif dari suatu atom atau molekul. Ikatan ini muncul karena adanya gaya tarik-menarik coulombik antara sisi positif dari satu dipol dengan bagian negatif dari dipol lain yang berdekatan, seperti pada gambar 2.5. Interaksi dipol dapat terjadi antara dipol-dipol yang memengaruhi satu sama lain, antara dipol yang dipengaruhi oleh molekul-molekul polar (yang memiliki dipol permanen), atau antara molekul-molekul polar. Ikatan hidrogen merupakan salah satu bentuk ikatan sekunder yang dapat ditemukan dalam beberapa molekul dimana hidrogen menjadi salah satu komponennya.

1. Ikatan Dipol Imbas yang berfluktuasi

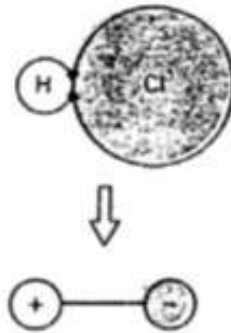
Muatan listrik dapat dihasilkan atau ditransmisikan ke atom atau molekul yang memiliki simetri listrik, yang berarti distribusi elektron-elektron dalam ruang tersebut simetris terhadap inti yang bermuatan positif, seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 2.6.a. Setiap atom yang mengalami getaran konstan, Hal ini dapat mengakibatkan distorsi sementara dan singkat terhadap simetri listrik pada beberapa atom atau molekul. hal ini menghasilkan muatan listrik kecil yang biasa disebut dipol, seperti yang ada pada gambar 2.6.b.



Gambar 2.7. (a) atom yang simetris secara electric (b) dipol atom yang diinduksi

Salah satu dipol tersebut dapat menyebabkan perubahan dalam distribusi elektron pada molekul atau atom yang berdekatan, sehingga molekul atau atom kedua tersebut menjadi dipol yang kemudian lemahnya tertarik atau terikat pada molekul atau atom pertama. Jenis ikatan ini dikenal sebagai ikatan van der Waals. Gaya tarik ini dapat muncul antara banyak atom atau molekul, dan gaya-gaya ini bersifat sementara serta berfluktuasi seiring berjalannya waktu.

2. Ikatan antara dipol molekul polar dan dipol terimbas
Momen dipol permanen muncul pada beberapa molekul karena adanya susunan yang tidak simetris dari wilayah-wilayah yang memiliki muatan positif dan negatif. Molekul-molekul ini disebut molekul polar. Gambar 2.7 merepresentasi skematis dari molekul hidrogen klorida (HCl). Momen dipol permanen terjadi karena adanya muatan netto antara bagian positif dan negatif yang terkait dengan ujung-ujung hidrogen dan klorin dalam molekul HCl.

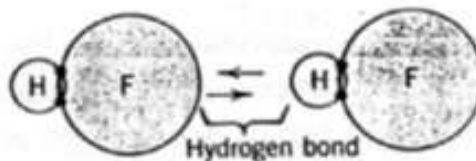


Gambar 2.8. ikatan pada molekul HCl

Molekul polar juga dapat mentransmisikan karakteristik dipolnya kepada molekul nonpolar yang berdekatan, dan ini akan menyebabkan terbentuknya ikatan. Hal ini diakibatkan gaya tarik menarik diantara dua molekul tersebut. Selanjutnya, kekuatan ikatan antara dipol molekul polar dan dipol terimbas lebih kuat bila dibandingkan dengan dipos yang bersifat fluktuatif.

3. Ikatan dipol permanen

Gaya van der waals dapat muncul pada molekul polar yang saling berdekatan. Energi ikatan yang dimiliki lebih besar dan signifikan daripada energi yang terlibat dalam ikatan dipol yang terinduksi. Ikatan sekunder yang paling kuat, yaitu ikatan hidrogen, adalah suatu bentuk ikatan khusus dalam molekul polar.



Gambar 2.9. Ikatan Hidrogen pada HF

Jenis ikatan ini terbentuk antara molekul-molekul di mana atom hidrogen berikatan kovalen dengan fluorin (seperti dalam HF), oksigen (seperti dalam H₂O), atau nitrogen (seperti dalam NH₃). Pada ikatan H-F, H-O, atau H-N, elektron tunggal pada atom hidrogen berbagi dengan atom lainnya. Ini berarti bahwa ujung hidrogen pada ikatan tersebut adalah proton terbuka yang bermuatan positif, yang tidak dilindungi oleh elektron. Ujung molekul yang bermuatan positif ini memiliki daya tarik yang kuat terhadap ujung negatif dari molekul yang berdekatan.

DAFTAR PUSTAKA

- Agung Kristanto, 2010, *Diktat Kuliah Material Teknik*, Universitas Ahmad Dahlan, Yogyakarta.
- Dr.Ir.IKT Suarsana MT, 2017, *Diktat Ilmu Material Teknik*, Universitas Udayana, Denpasar.
- Febriana Safitri, A., Retno Widarti, H. & Sukarianingsih, D., 2018, *IDENTIFIKASI PEMAHAMAN KONSEP IKATAN KIMIA*, vol. 3.
- Hardjono Sastrohamidjojo, 2012, *Kimia Dasar*, 4th edn., UGM Press, Yogyakarta.
- Monnerie, L.M. & Suter, U.W., E., 1994, *Atomistic Modeling of Physical Properties*, vol. 116, Springer-Verlag, Berlin.
- Novesar Jamarun, 2023, *Kimia Material*, 1st edn., Widina Bakti Persada Bandung, Bandung.
- Nursa'adah, E., Liliyasi, L. & Mudzakir, A., 2020, 'Designing Learning Sequence Metallic Bonding Concept Through Model of Educational Reconstruction Framework', *EduChemia (Jurnal Kimia dan Pendidikan)*, 5(2), 101.
- Peter Atkins and Julio de Paula, 2006, *Physical Chemistry*, 8th edn., Oxford University Press, Great Britain.
- Sains, J.K., Aplikasi, D., Yopianto, D., Sipangkar, M.J., Budiyanto, R. & Siahaan, P., 2016, 'Studi Interaksi antara Segmen Dimer Kitosan dengan Peptida Ac-CA-NH₂ dan Ac-TP-NH₂ secara Komputasi Ab-Initio', *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, 19(3), 118–125.

BAB 3

MATERIAL LOGAM

Oleh Kostiawan Sukamto

3.1 Pendahuluan

Dalam perjalanan sejarah peradaban manusia, material logam telah memainkan peran sentral dalam membentuk dunia di sekitar kita. Dari alat-alat primitif hingga teknologi canggih modern, logam telah menjadi tulang punggung struktural dan inovasi yang memungkinkan perkembangan manusia dalam berbagai bidang. Kekuatan, daya tahan, dan sifat konduktifnya telah membuat logam menjadi salah satu kelompok material yang paling berpengaruh dalam sejarah teknologi dan industri.

Material logam merupakan kelompok material yang terdiri dari unsur-unsur kimia yang memiliki sifat-sifat khas, seperti kekuatan yang tinggi, kemampuan untuk diubah bentuk, serta konduktivitas panas dan listrik yang baik. Sifat-sifat ini telah memungkinkan logam digunakan dalam berbagai aplikasi, mulai dari struktur bangunan megah hingga perangkat kecil dalam peralatan elektronik.

Dalam bab ini, kita akan membahas sifat-sifat unik yang membuat logam menjadi pilihan utama dalam banyak aplikasi, serta menggali bagaimana ilmu pengetahuan dan teknologi terbaru telah mengubah cara kita memahami, memproses, dan mengaplikasikan material ini.

3.2 Sifat-Sifat Logam

Sifat-sifat logam telah lama menjadi sorotan utama dalam dunia rekayasa dan industri, karena keunikannya yang mengagumkan dalam memberikan fondasi bagi berbagai aplikasi

yang sangat beragam. Di balik kilauannya yang mengkilap, logam menawarkan sejumlah karakteristik mekanik dan fisik yang unik, membuatnya menjadi bahan yang tidak hanya populer, tetapi juga sangat penting dalam pembuatan berbagai produk dari skala mikro hingga makro.

3.2.1 Kekuatan dan Ketahanan

Kekuatan material logam mengacu pada kemampuannya untuk menahan beban mekanis tanpa mengalami patah atau deformasi permanen. Ada beberapa jenis kekuatan yang relevan dalam konteks material logam (I.mironov, Emel'yanov and Lukashuk, 2021):

- 1. Kekuatan tarik (*tensile strength*)** adalah tekanan maksimum yang dapat ditahan oleh material logam saat ditarik sebelum mengalami patah. Kekuatan tarik diukur dengan menguji sampel material dalam uji tarik. Semakin tinggi kekuatan tarik suatu logam, semakin besar beban yang dapat ditahan sebelum terjadi patah.
- 2. Kekuatan luluh (*yield strength*)** adalah tekanan pada titik di mana material mulai mengalami deformasi permanen atau "luluh" tanpa mengalami patah. Ini adalah titik di mana grafik tegangan-regangan mulai menunjukkan regangan permanen.
- 3. Kekuatan tekan (*compressive strength*)** adalah kekuatan mengukur kemampuan logam untuk menahan beban tekan atau kompresi. Beban ini bekerja pada arah berlawanan dengan beban tarik dan dapat menyebabkan material mengalami deformasi atau patah.
- 4. Kekuatan geser (*shear strength*)** adalah sifat mekanik material yang mengukur kemampuannya untuk menahan gaya geser atau gaya yang beroperasi sejajar dengan permukaannya. Dalam gaya geser, lapisan molekul atau atom dalam material bergeser relatif terhadap lapisan lainnya. Konsep ini sering kali dianalogikan dengan cara

memindahkan potongan material di sepanjang permukaannya dengan cara meratakan tangan di atas tumpukan kartu.

Sementara itu, sifat ketahanan material logam mengacu pada kemampuan material untuk tetap utuh dan tidak mengalami patah atau kerusakan dalam kondisi tertentu. Beberapa aspek penting dalam ketahanan material meliputi (Świetlicki and Szala, 2022):

1. **Ketahanan terhadap kelelahan (*fatigue resistance*):** Material logam dapat mengalami kerusakan secara bertahap karena beban yang berulang-ulang. Ini dikenal sebagai kelelahan material. Ketahanan terhadap kelelahan adalah kemampuan material untuk mengatasi kondisi ini dan tetap utuh dalam jangka waktu yang lama.
2. **Ketahanan patah (*fracture toughness*):** Ketahanan patah mengukur kemampuan material untuk mengatasi pertumbuhan retakan atau patah. Material dengan ketahanan patah yang baik akan mampu menghentikan pertumbuhan retakan yang bisa berakibat fatal.

Penting untuk memahami bahwa logam tidak selalu memiliki kombinasi kekuatan tertinggi dan ketahanan terbaik. Terkadang, dalam beberapa aplikasi, mungkin lebih penting untuk memiliki logam yang tahan terhadap kelelahan daripada memiliki kekuatan yang sangat tinggi.

Keseimbangan antara kekuatan dan ketahanan dalam material logam seringkali melibatkan *trade-off* (Suzuki *et al.*, 2019). Misalnya, material yang sangat kuat mungkin memiliki ketahanan terhadap kelelahan yang lebih rendah. Oleh karena itu, dalam perancangan struktur atau komponen, penting untuk memilih material yang sesuai dengan kebutuhan spesifik dan lingkungan aplikasinya. Pemahaman tentang sifat-sifat kekuatan dan

ketahanan ini memainkan peran penting dalam rekayasa material, pembuatan produk, serta pengembangan teknologi yang aman dan andal.

3.2.2 Duktilitas dan Kehalusan

Tinjauan tentang sifat duktilitas dan kehalusan dalam material logam sangat penting dalam pemahaman tentang bagaimana logam merespons deformasi dan perubahan bentuk. Dua konsep ini, yaitu duktilitas dan kehalusan, saling terkait dan memiliki dampak besar pada berbagai aplikasi dan proses manufaktur. Pemahaman tentang sifat duktilitas dan kehalusan dalam material logam penting dalam merancang dan memproduksi komponen yang memiliki kinerja mekanik yang baik dan toleransi terhadap deformasi serta perubahan bentuk.

1. Duktilitas

Duktilitas adalah kemampuan material logam untuk mengalami deformasi plastis tanpa mengalami patah. Dalam bahasa yang lebih sederhana, material yang memiliki sifat duktil akan mampu ditarik, ditekan, atau dilenturkan tanpa retak atau patah. Sifat ini sangat penting dalam banyak aplikasi, terutama dalam perancangan produk yang mungkin akan mengalami beban yang menyebabkan deformasi.

Duktilitas sering kali diukur dalam uji tarik (*tensile test*), di mana sampel material ditarik hingga patah. Selama pengujian ini, region regangan plastis akan terlihat sebagai peregangan yang tidak kembali ke bentuk semula setelah beban dilepaskan. Material yang sangat duktil akan memiliki pola patah yang menunjukkan perpanjangan signifikan sebelum akhirnya patah. Ini bisa berbentuk seperti "cangkang kerang" di area patah, yang mengindikasikan bahwa material telah mengalami deformasi plastis sebelum kegagalan (Larour, Freudenthaler and Weissböck, 2017). Duktilitas adalah sifat yang diinginkan dalam banyak aplikasi, seperti pembuatan kabel tali baja, pipa, atau

elemen struktural lainnya. Material yang lebih duktil cenderung memberikan toleransi yang lebih baik terhadap perubahan bentuk dan deformasi yang tidak terduga.

2. Kehalusan

Kehalusan adalah ukuran dari seberapa rata atau kasar permukaan material logam. Struktur mikroskopis dan makroskopis permukaan logam mempengaruhi sifat fisik dan mekaniknya. Permukaan yang lebih halus sering kali memiliki karakteristik yang berbeda dari permukaan yang lebih kasar.

Struktur kristal dalam material logam dapat mempengaruhi kehalusan permukaannya. Kehalusan biasanya lebih tinggi pada material dengan struktur kristal yang lebih teratur (Menzel, 1963). Kehalusan permukaan dapat memengaruhi sifat mekanik seperti kekuatan tarik dan kekuatan geser. Permukaan yang halus dapat mengurangi ketidaksempurnaan dan retakan awal, yang berkontribusi pada kekuatan yang lebih baik. Dalam beberapa kasus, permukaan yang halus diinginkan untuk meningkatkan performa. Misalnya, dalam aplikasi teknologi tinggi, lapisan tipis dengan permukaan halus sering diterapkan untuk mengurangi gesekan atau meningkatkan konduktivitas.

3.2.3 Kekerasan

Tinjauan tentang sifat kekerasan dalam material logam memberikan wawasan tentang seberapa tahan material terhadap deformasi permanen atau penetrasi. Kekerasan adalah salah satu sifat mekanik yang penting dalam pengukuran dan karakterisasi material logam. Pemahaman tentang kekerasan dalam material logam membantu insinyur dan perancang untuk memilih material yang sesuai dengan tujuan dan lingkungan aplikasinya. Ini juga merupakan faktor kunci dalam proses pemrosesan dan manufaktur material logam.

Meskipun kekerasan dan kekuatan memiliki keterkaitan, keduanya bukanlah sifat yang sama. Kekerasan mengukur

resistansi material terhadap deformasi, sedangkan kekuatan mengukur kemampuannya untuk menahan beban tertentu tanpa patah (Du *et al.*, 2019). Beberapa material mungkin keras tetapi memiliki kekuatan yang lebih rendah, dan sebaliknya. Struktur mikro dalam material logam, seperti ukuran butiran dan distribusi fase, dapat memengaruhi tingkat kekerasan. Material dengan butiran yang lebih halus cenderung memiliki kekerasan yang lebih tinggi karena deformasi lebih sulit terjadi di antara butiran yang lebih kecil. Perlakuan panas juga dapat mempengaruhi kekerasan material, misalnya dengan mengeraskan material melalui pemanasan dan pendinginan yang tepat.

Kekerasan material logam diukur dengan berbagai metode pengujian, dan nilai kekerasannya biasanya dinyatakan dalam skala tertentu. Salah satu metode paling umum adalah uji kekerasan Brinell, di mana sebuah bola atau kerucut dari bahan keras ditekan ke permukaan material dengan gaya yang ditentukan. Diameter bekas indentasi diukur dan digunakan untuk menghitung kekerasan Brinell (Trevisan and Fabricio, 2018).

Informasi tentang kekerasan material logam penting dalam desain dan pemilihan material. Kekerasan yang tinggi sering diinginkan dalam aplikasi seperti perkakas pemotong, bantalan, dan gigi roda gigi, di mana resistansi terhadap aus dan deformasi adalah kualitas yang diperlukan. Di sisi lain, dalam aplikasi yang melibatkan deformasi plastis seperti pembentukan logam, kekerasan yang terlalu tinggi mungkin tidak diinginkan karena dapat membuat proses lebih sulit.

3.2.4 Konduktivitas Termal dan Listrik

Tinjauan tentang sifat konduktivitas termal dan listrik dalam material logam membahas kemampuan logam untuk menghantarkan panas dan arus listrik. Dua sifat ini, meskipun terlihat terpisah, seringkali saling terkait dan memainkan peran penting dalam berbagai aplikasi teknologi dan industri.

Konduktivitas termal mengacu pada kemampuan suatu material untuk menghantarkan panas. Logam secara umum memiliki konduktivitas termal yang tinggi karena struktur kristal mereka yang teratur dan banyaknya elektron bebas yang dapat membawa energi panas (Klemens and Williams, 1986). Logam yang memiliki konduktivitas termal tinggi sering digunakan dalam aplikasi yang melibatkan perpindahan panas, seperti dalam pembuatan pemanas, pendingin, atau alat pemrosesan termal. Konduktivitas termal yang baik dalam logam juga memiliki implikasi positif dalam efisiensi energi. Misalnya, material logam dengan konduktivitas termal yang tinggi digunakan dalam peralatan elektronik untuk mengalirkan panas yang dihasilkan oleh komponen, mencegah terjadinya penumpukan panas yang dapat merusak komponen.

Konduktivitas listrik adalah sifat material yang mengukur kemampuannya untuk menghantarkan arus listrik. Material logam memiliki konduktivitas listrik yang tinggi, yang berarti mereka mampu dengan mudah mengizinkan aliran elektron dan menghantarkan arus listrik dengan efisien. Ini adalah salah satu sifat yang paling mencolok dan penting dari logam.

Struktur kristal dalam material logam memiliki banyak elektron bebas yang bergerak bebas di sepanjang material. Ini terjadi karena ikatan logam yang lemah antara atom-atom logam, yang memungkinkan elektron untuk berpindah dengan relatif mudah. Ketika potensial listrik diterapkan pada ujung material logam, elektron bebas bergerak menuju arah potensial yang lebih tinggi, membentuk aliran arus listrik. Kehadiran elektron bebas ini memungkinkan logam untuk menjadi konduktor yang baik dari listrik (Lu and Chen, 2017).

Meskipun konduktivitas listrik logam biasanya tinggi, suhu juga dapat memengaruhi sejauh mana material menghantarkan arus listrik. Pada suhu yang lebih rendah, pergerakan elektron mungkin lebih terhambat, meskipun logam masih cenderung

menjadi konduktor yang baik pada berbagai suhu. Penting untuk dicatat bahwa tidak semua logam memiliki konduktivitas listrik yang sama. Beberapa logam, seperti tembaga dan aluminium, dikenal sebagai konduktor yang sangat baik, sementara yang lain mungkin memiliki konduktivitas yang lebih rendah.

3.2.5 Elastisitas

Tinjauan tentang sifat elastisitas dalam material logam berhubungan dengan kemampuan logam untuk mengalami deformasi sementara dan kemudian kembali ke bentuk aslinya setelah beban dilepaskan. Ini berarti material logam memiliki zona elastis di mana mereka dapat mengalami deformasi *reversible* tanpa mengalami perubahan permanen pada struktur atau bentuknya. Sifat elastisitas ini sangat penting dalam pemahaman bagaimana material logam merespons tekanan dan beban.

Hukum Hooke adalah prinsip dasar elastisitas yang menyatakan bahwa regangan (perubahan dimensi material) berbanding lurus dengan tegangan (beban yang diterapkan) selama material berada dalam zona elastis. Dalam zona ini, deformasi yang terjadi dapat dikembalikan secara reversibel ketika beban dilepaskan. Material logam yang elastis dapat merespons gaya yang tiba-tiba dengan meredam (*rebound*) dan membagi beban secara merata. Ini bisa mengurangi risiko kerusakan atau deformasi yang tidak diinginkan. Ketika material melampaui batas elastis, ia memasuki zona plastis di mana deformasi menjadi permanen (Buhungo *et al.*, 2023).

Sementara itu, untuk mengukur seberapa kaku atau elastis suatu material logam dapat menggunakan modulus elastisitas. Ada beberapa jenis modulus elastisitas, termasuk modulus Young (untuk tegangan tarik atau tekan), modulus geser (untuk tegangan geser), dan modulus *bulk* (untuk tegangan kompresi). Modulus elastisitas mengukur respons material terhadap beban elastis dalam berbagai arah (Zhang and Yu, 2019). Sifat elastisitas sangat

penting dalam perancangan dan rekayasa material. Memahami zona elastis dan batas elastis dalam suatu material membantu insinyur memilih material yang sesuai untuk aplikasi tertentu. Misalnya, dalam aplikasi struktural, material dengan zona elastis yang luas dan modulus elastisitas yang tinggi mungkin lebih diinginkan, sementara dalam aplikasi yang melibatkan deformasi plastis seperti pembentukan logam, sifat elastisitas mungkin kurang diperhatikan.

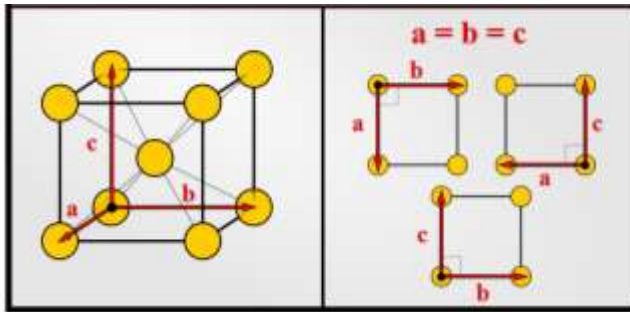
3.3 Struktur Kristal Material Logam

Struktur kristal dalam material logam adalah tata letak atom atau ion dalam material tersebut yang membentuk pola berulang dan teratur. Struktur kristal memainkan peran penting dalam menentukan sifat fisik, kimia, dan mekanik material logam.

Terdapat beberapa jenis struktur kristal yang umum dijumpai dalam material logam. Struktur-struktur ini mencerminkan pola pengaturan atom atau ion dalam tiga dimensi, yang memengaruhi sifat-sifat fisik dan mekanik material. Berikut adalah beberapa jenis struktur kristal yang paling umum dalam material logam:

3.3.1 *Body-Centered Cubic*

Material logam dengan struktur kristal *Body-Centered Cubic* (BCC) memiliki ciri khas dalam pengaturan atom-atomnya. Dalam struktur ini, atom-atom logam diletakkan pada sudut dan tengah kubus. Atom pusat dikelilingi oleh delapan atom lain di sudut-sudut kubus.



Gambar 3.1. Struktur Kristal *Body-Centered Cubic* (BCC)
(<https://msestudent.com>)

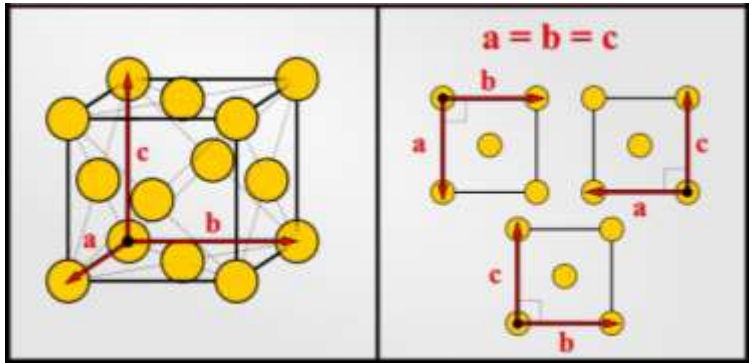
Struktur BCC cenderung memberikan kekuatan yang baik dalam material logam. Atom pusat yang terletak di tengah kubus memberikan tambahan ikatan antara atom-atom dan dapat mencegah pergerakan atom secara bebas, yang dapat meningkatkan kekuatan material. Material dengan struktur BCC umumnya lebih tahan terhadap deformasi atau perubahan bentuk daripada material dengan struktur lain. Ini disebabkan oleh pola ikatan atom yang lebih kuat dalam struktur ini (Jin *et al.*, 2021).

Secara energi, struktur BCC adalah salah satu dari struktur yang lebih stabil. Namun, ini juga berarti bahwa perubahan struktural yang signifikan memerlukan energi yang lebih besar, seperti pemanasan tinggi atau tekanan eksternal. Beberapa contoh material logam dengan struktur BCC meliputi besi (Fe), kromium (Cr), molibdenum (Mo), dan tantalum (Ta). Ini adalah beberapa contoh logam yang umumnya memiliki kekuatan yang baik dan tahan terhadap kondisi ekstrim.

3.3.2 *Face-Centered Cubic*

Material logam dengan struktur kristal *Face-Centered Cubic* (FCC) memiliki tata letak atom yang khas. Dalam struktur ini, atom-atom ditempatkan pada sudut dan muka dari setiap kubus. Pada masing-masing muka kubus, terdapat satu atom, dan di tengah-

tengah kubus terdapat satu atom lagi. Hal ini menghasilkan susunan yang sangat teratur dan efisien dalam hal pengisian ruang.



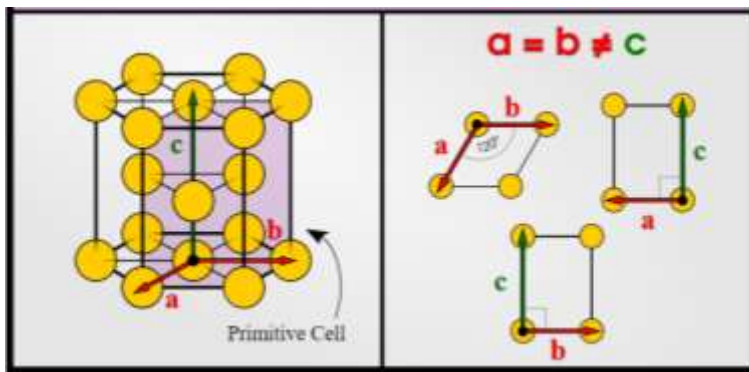
Gambar 3.2. Struktur Kristal *Face-Centered Cubic* (FCC)
(<https://mstudent.com/>)

Struktur FCC memiliki kepadatan atom yang tinggi karena atom-atom ditempatkan pada muka-muka kubus serta di sudut-sudut. Kepadatan atom yang tinggi dapat memberikan konduktivitas listrik dan termal yang baik. Material dengan struktur FCC cenderung memiliki sifat mekanik yang baik, termasuk kekuatan dan elastisitas yang relatif baik. Atom-atom pada sudut dan muka kubus saling berdekatan dan membentuk ikatan yang kuat, yang dapat memberikan sifat mekanik yang solid (Nejat Pishkenari, Yousefi and Taghibakhshi, 2019).

Struktur FCC cenderung memberikan toleransi yang baik terhadap deformasi plastis. Ini membuat material dengan struktur FCC sering digunakan dalam proses pembentukan dan pembentukan logam. Banyak logam memiliki struktur kristal FCC, termasuk aluminium (Al), tembaga (Cu), emas (Au), perak (Ag), dan nikel (Ni). Keberadaan struktur FCC dalam logam ini seringkali memberikan sifat-sifat yang menguntungkan untuk berbagai aplikasi.

3.3.3 Hexagonal Close-Packed

Material logam dengan struktur kristal *Hexagonal Close-Packed* (HCP) memiliki susunan atom yang unik dan khas. Dalam struktur ini, atom-atom logam diletakkan pada muka dan sudut dari tumpukan lapisan heksagonal yang padat. Setiap lapisan heksagonal memiliki satu atom di tengahnya, dan tiga atom di masing-masing sudut segitiga heksagonal. Susunan ini menciptakan struktur yang memiliki simetri heksagonal.



Gambar 3.3. Struktur Kristal *Hexagonal Close-Packed* (HCP)
(<https://mstudent.com/>)

Struktur HCP cenderung lebih kompleks daripada FCC atau BCC. Susunan atom yang saling tumpang tindih dalam pola heksagonal dapat menghasilkan sifat-sifat yang unik dan kompleks pada material HCP. Material dengan struktur HCP sering kali memiliki kelemahan dalam hal deformasi plastis. Karena susunan atom yang saling tumpang tindih, gerakan atom selama deformasi dapat menjadi lebih terbatas, yang dapat mengakibatkan kekuatan dan deformasi yang lebih rendah (Schönecker *et al.*, 2021).

Sifat mekanik material dengan struktur HCP dapat bervariasi tergantung pada jenis materialnya. Beberapa logam HCP memiliki sifat mekanik yang baik, sementara yang lain mungkin

lebih rapuh atau kurang tahan terhadap deformasi. Beberapa contoh logam dengan struktur HCP termasuk magnesium (Mg) dan seng (Zn). Material-material ini memiliki sifat-sifat yang unik terkait dengan struktur kristal HCP.

3.3.4 Struktur Kristal Campuran

Struktur kristal campuran dalam material logam mengacu pada kondisi di mana material memiliki lebih dari satu jenis struktur kristal dalam berbagai bagian atau fasa. Hal ini bisa terjadi karena beberapa alasan, termasuk perubahan suhu, komposisi kimia yang berbeda, atau perlakuan panas yang kompleks. Struktur kristal campuran dapat memiliki pengaruh signifikan pada sifat-sifat material logam.

Material dengan struktur kristal campuran seringkali mengalami perubahan fasa, yaitu perubahan dalam susunan atom yang terjadi ketika suhu atau kondisi lingkungan berubah. Perubahan fasa dapat mengakibatkan perubahan sifat-sifat material secara signifikan, termasuk kekuatan, kekerasan, dan konduktivitas. Komposisi kimia yang berbeda dalam material logam juga dapat menghasilkan struktur kristal campuran. Logam paduan, yang terdiri dari beberapa unsur logam, dapat memiliki fasa atau bagian dengan struktur kristal yang berbeda. Selain itu, perlakuan panas yang berbeda juga dapat menghasilkan struktur kristal campuran. Perlakuan panas dapat memengaruhi bagaimana atom-atom dalam material tertata dan berinteraksi, menghasilkan variasi dalam struktur kristal (Makovec, 2022).

Material dengan struktur kristal campuran seringkali memiliki sifat mekanik yang lebih kompleks daripada material dengan struktur kristal tunggal. Kekuatan, elastisitas, dan deformasi material dapat sangat bervariasi antara berbagai fasa atau bagian. Struktur kristal campuran dapat dimanfaatkan dalam desain material untuk mencapai kombinasi sifat yang diinginkan. Misalnya, beberapa bagian material dapat dirancang untuk

memiliki kekuatan tinggi sementara bagian lain dapat memiliki keuletan yang lebih baik.

3.4 Aplikasi Material Logam

Aplikasi material logam sangat luas dan mencakup hampir semua aspek kehidupan sehari-hari. Aplikasi material logam melibatkan penggunaan logam dan paduannya dalam berbagai bidang. Kombinasi sifat-sifat mekanik, termal, dan kimia yang beragam dalam logam membuatnya menjadi bahan yang sangat serbaguna dan penting dalam berbagai industri. Berikut adalah beberapa aplikasi material logam:

3.4.1 Konstruksi

Dalam industri konstruksi, material logam memiliki peran kunci dalam membangun struktur yang kuat dan tahan lama. Baja, sebagai salah satu logam yang paling umum digunakan dalam konstruksi, dihargai karena kombinasi kekuatan tinggi dan ketahanan korosinya. Baja struktural digunakan dalam pembangunan gedung pencakar langit, jembatan, bangunan industri, dan infrastruktur lainnya yang harus dapat menahan beban yang signifikan. Selain itu, kekuatan baja memungkinkan desain struktural yang lebih ringan, menghemat biaya material dan transportasi.

Material logam juga penting dalam konstruksi maritim, di mana ketahanan terhadap korosi dari logam tahan karat dan paduan aluminium sangat berharga. Ketahanan terhadap elemen cuaca dan lingkungan maritim membuat logam ini menjadi pilihan yang ideal untuk kapal, dermaga, dan konstruksi terkait air. Selain itu, penggunaan logam dalam konstruksi cenderung memberikan umur panjang yang lebih baik untuk struktur tersebut, mengurangi biaya perawatan dan penggantian jangka pendek.

3.4.2 Transportasi

Industri transportasi merupakan salah satu sektor utama yang sangat bergantung pada material logam. Material logam seperti aluminium, baja, dan titanium memiliki peran yang krusial dalam pengembangan berbagai kendaraan, pesawat terbang, kapal, dan kereta api. Aluminium, dengan kepadatan yang rendah dan ketahanan terhadap korosi, digunakan secara luas dalam industri penerbangan untuk membuat badan pesawat yang ringan dan efisien dalam konsumsi bahan bakar. Baja adalah bahan yang umum digunakan dalam pembuatan mobil, truk, dan kereta api karena kombinasi kekuatan dan ketahanannya terhadap tekanan dan beban. Selain itu, logam juga digunakan dalam produksi mesin dan komponen kendaraan, yang memungkinkan kinerja yang andal dan tahan lama.

Selain itu, material logam juga memiliki dampak signifikan dalam transportasi umum, seperti jembatan dan infrastruktur jalan. Material logam yang kuat digunakan dalam pembangunan jembatan untuk menjamin keamanan dan daya tahan terhadap beban yang berat, serta kondisi cuaca yang berubah-ubah. Ini juga berlaku untuk rel kereta api dan infrastruktur terkait lainnya. Oleh karena itu, aplikasi material logam dalam industri transportasi tidak hanya mencakup kendaraan itu sendiri, tetapi juga infrastruktur yang mendukung pergerakan barang dan orang.

3.4.3 Industri Otomotif

Logam-logam seperti baja, aluminium, dan besi cor telah mendominasi produksi kendaraan bermotor seperti mobil, truk, dan sepeda motor. Baja, dengan kekuatan dan ketahanan terhadap tekanan yang tinggi, sering digunakan dalam pembuatan rangka dan komponen struktural utama kendaraan. Sementara itu, aluminium, yang ringan dan tahan terhadap korosi, banyak digunakan dalam pembuatan bodi kendaraan dan mesin. Material logam ini memainkan peran penting dalam menciptakan

kendaraan yang aman, efisien dalam konsumsi bahan bakar, dan nyaman bagi pengemudi dan penumpang.

Selain itu, terobosan dalam teknologi material seperti komposit logam telah memungkinkan perusahaan otomotif untuk mengembangkan kendaraan yang lebih efisien dalam konsumsi bahan bakar dan ramah lingkungan. Misalnya, paduan aluminium yang kuat dan ringan digunakan dalam produksi mobil listrik untuk mengimbangi bobot baterai yang berat dan meningkatkan jarak tempuh. Juga, logam tahan karat digunakan dalam sistem knalpot dan komponen mesin lainnya untuk meningkatkan ketahanan terhadap korosi akibat gas buang.

3.4.4 Elektronik

Material logam memainkan peran integral dalam industri elektronik dengan berbagai aplikasi yang mencakup perangkat keras komputer, peralatan elektronik konsumen, peralatan telekomunikasi, dan banyak lagi. Konduktivitas listrik yang tinggi dari logam, khususnya tembaga dan aluminium, menjadikannya pilihan utama untuk pembuatan kabel, koneksi elektronik, dan jalur sirkuit cetak pada papan sirkuit cetak (PCB). Sifat konduktif ini memungkinkan aliran arus listrik dengan efisien, yang sangat penting dalam perangkat elektronik yang memerlukan akurasi dan kecepatan tinggi dalam pemrosesan data.

Selain itu, material logam digunakan dalam peralatan pendinginan seperti heatsinks. Heatsinks, yang terbuat dari aluminium atau tembaga, berfungsi untuk menghilangkan panas yang dihasilkan oleh komponen elektronik seperti CPU dan GPU. Kekuatan konduktif dan termal logam ini membantu menjaga suhu perangkat elektronik tetap stabil dan mencegah kerusakan akibat panas berlebihan.

3.4.5 Industri Energi

Industri energi adalah salah satu sektor yang sangat bergantung pada material logam untuk berbagai aplikasi yang mencakup pembangkit listrik, pemrosesan minyak dan gas, dan energi terbarukan. Baja tahan panas, seperti baja paduan dan nikel, sering digunakan dalam pembangunan turbin uap dan generator di pembangkit listrik konvensional. Material logam ini memiliki ketahanan terhadap suhu tinggi dan tekanan yang diperlukan untuk menghasilkan energi listrik dari proses panas. Selain itu, material logam tahan terhadap korosi, seperti baja tahan karat, digunakan dalam instalasi perpipaan dan peralatan pemrosesan minyak dan gas untuk menghindari kerusakan akibat lingkungan yang keras dan kimia yang agresif.

Industri energi juga semakin beralih ke sumber energi terbarukan seperti panel surya dan turbin angin, di mana material logam memiliki peran penting dalam produksi dan efisiensi perangkat ini. Panel surya, misalnya, menggunakan logam seperti silikon dalam sel fotovoltaik untuk mengubah energi matahari menjadi listrik. Turbin angin juga memerlukan material logam yang tahan terhadap elemen cuaca dan tekanan udara yang berubah-ubah.

3.4.6 Industri Farmasi dan Kedokteran

Industri farmasi dan kedokteran sangat mengandalkan material logam, terutama logam tahan karat, dalam berbagai aplikasi. Baja tahan karat, yang terbuat dari campuran besi, krom, dan nikel, digunakan secara luas dalam peralatan dan instrumen medis karena ketahanannya terhadap korosi dan sifat biokompatibelnya. Perangkat bedah, instrumen pembedahan, dan peralatan steril sering terbuat dari baja tahan karat untuk memastikan keamanan pasien dan mencegah kontaminasi. Selain itu, paduan logam seperti titanium digunakan dalam pembuatan implan medis seperti gigi palsu, sendi buatan, dan plat tulang.

Kekuatan, ketahanan terhadap korosi, dan biokompatibilitas titanium membuatnya menjadi pilihan yang ideal dalam aplikasi kedokteran ini.

Di sisi farmasi, material logam digunakan dalam peralatan produksi dan penyimpanan obat-obatan. Tangki penyimpanan, pipa, dan pompa yang terbuat dari baja tahan karat atau paduan logam lainnya digunakan dalam proses manufaktur farmasi untuk menjaga kebersihan dan keamanan produk. Selain itu, perangkat pengukuran dan kontrol suhu yang terbuat dari material logam membantu memastikan proses produksi farmasi yang stabil dan kualitas obat yang konsisten. Material logam juga digunakan dalam peralatan laboratorium yang digunakan dalam penelitian dan pengembangan obat-obatan baru. Keselamatan, ketepatan, dan kualitas adalah faktor kunci dalam industri farmasi dan kedokteran, dan material logam memainkan peran penting dalam memenuhi persyaratan ini.

3.4.7 Industri Pertahanan

Logam-logam seperti baja tahan karat, aluminium, dan paduan titanium digunakan dalam pembuatan berbagai peralatan militer dan senjata. Baja tahan karat sering digunakan dalam pembuatan senjata api, peluncur rudal, dan kendaraan militer karena ketahanannya terhadap korosi dan dampak lingkungan yang keras di medan pertempuran. Aluminium, dengan keringanan dan ketahanan terhadap korosi, digunakan dalam produksi kendaraan lapis baja seperti tank dan kendaraan lapis baja ringan. Selain itu, paduan titanium digunakan dalam komponen pesawat tempur dan helikopter karena kekuatan dan keringanannya yang tinggi.

Material logam juga digunakan dalam pembuatan peralatan komunikasi, navigasi, dan perlengkapan militer lainnya. Keandalan dan ketahanan material logam terhadap kondisi ekstrem, seperti suhu tinggi, tekanan, dan guncangan, membuatnya cocok untuk

digunakan dalam lingkungan yang berbahaya di medan pertempuran. Penggunaan material logam dalam industri pertahanan berperan penting dalam memastikan kehandalan dan kinerja peralatan militer serta melindungi personel militer selama operasi militer. Seiring dengan perkembangan teknologi dan kebutuhan pertahanan yang terus berubah, material logam terus diperbarui dan disempurnakan untuk memenuhi tantangan-tantangan baru dalam industri pertahanan.

DAFTAR PUSTAKA

- Buhungo, T.J. *et al.* 2023. 'Learning Tools Quality of Problem-Based Learning Model in Contextual Teaching and Learning Approach on Elasticity and Hooke's Law Materials', *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 9(3), pp. 1092–1098.
- Du, K. *et al.* 2019. 'Application of the Correlation between Hardness and Strength in Conventional Alloys into Semi Solid Processed Products', *Solid State Phenomena*, 285 SSP, pp. 99–104.
- [https://mstudent.com/Face-Centered Cubic \(FCC\) Unit Cell](https://mstudent.com/Face-Centered-Cubic-FCC-Unit-Cell).
- [https://mstudent.com/Hexagonal Close-Packed \(HCP\) Unit Cell](https://mstudent.com/Hexagonal-Close-Packed-HCP-Unit-Cell).
- [https://mstudent.com/Body-Centered Cubic \(BCC\) Unit Cell](https://mstudent.com/Body-Centered-Cubic-BCC-Unit-Cell).
- Imironov, V., Emel'yanov, I.G. and Lukashuk, O.A. 2021. 'Criteria of Material Failure in Relation to Hydrogen Saturation', *Solid State Phenomena*, 316 SSP, pp. 484–489.
- Jin, Q.-Y. *et al.* 2021. 'Multi-dimensional Lattices Design for Ultrahigh Specific Strength Metallic Structure in Additive Manufacturing', *Mechanical Engineering eJournal* [Preprint].
- Klemens, P.G. and Williams, R.K. 1986. 'Thermal Conductivity of Metals and Alloys', *International Materials Reviews*, 31(1), pp. 197–215.
- Larour, P., Freudenthaler, J. and Weissböck, T. 2017. 'Reduction of Cross Section Area at Fracture in Tensile Test: Measurement and Applications for Flat Sheet Steels', *Journal of Physics: Conference Series*, 896(1).
- Lu, Y. and Chen, I. 2017. 'Conducting Electrons in Amorphous Si Nanostructures: Coherent Interference and Metal-Insulator Transitions Mediated by Local Structures', *arXiv: Mesoscale and Nanoscale Physics* [Preprint].
- Makovec, D. 2022. 'Adaptation of the Crystal Structure to the Confined Size of Mixed-oxide Nanoparticles', *Acta chimica Slovenica*, 69(4), pp. 756–771.

- Menzel, E. 1963. 'Studies in the Preparation and Behaviour of Nearly Perfect Metal Surfaces', *Reports on Progress in Physics*, 26(1), pp. 47–67.
- Nejat Pishkenari, H., Yousefi, F.S. and Taghibakhshi, A. 2019. 'Determination of Surface Properties and Elastic Constants of FCC Metals: A Comparison Among Different EAM Potentials in Thin Film and Bulk Scale', *Materials Research Express*, 6(1).
- Schönecker, S. *et al.* 2021. 'Effect of Strain on Generalized Stacking Fault Energies and Plastic Deformation Modes in FCC-HCP Polymorphic High-entropy Alloys: A First-principles Investigation', *Physical Review Materials*, 5(7).
- Suzuki, T. *et al.* 2019. 'Effect of Fe-content on Mechanical Properties of Cold-rolled Al–Fe–Si Alloy Foil', *Journal of Japan Institute of Light Metals*, 69(10), pp. 493–499.
- Świetlicki, A. and Szala, M. 2022. 'Effects of Shot Peening and Cavitation Peening on Properties of Surface Layer of Metallic Materials—A Short Review', *Materials*, 15(7).
- Trevisan, L. and Fabricio, D.A.K. 2018. 'Measurement Uncertainty Evaluation of Brinell Hardness Test: Gum and Monte Carlo Method', *Periódico Tchê Química*, 15(30), pp. 252–258.
- Zhang, Y. and Yu, D. 2019. 'Comparative Study on the Test Method for Tensile Elastic Modulus of Rock Materials', *Advances in Civil Engineering*, 2019.

BAB 4

MATERIAL KERAMIK

Oleh Fitri Junianti

4.1 Pengertian

Kata keramik berasal dari kata keramos (Yunani) yang berarti barang yang terbuat dari tanah liat yang melalui proses pembakaran dengan menggunakan suhu tinggi. Secara umum keramik merupakan material non logam yang dibentuk dan dibakar pada suhu yang tinggi. Pembakaran pada suhu yang tinggi ini membuat keramik memiliki sifat padat, keras dan tahan terhadap suhu tinggi.

Keramik telah ada dari zaman prasejarah dimana manusia purba menggunakan tanah liat yang dibentuk dan dikeringkan dengan sinar matahari untuk peralatan dan wadah. Perkembangan teknik pembuatan dan teknologi membuat keramik terus berkembang seperti pada zaman peradaban cina kuno, keramik jenis porselen yang dihasilkan halus dan bermotif seperti pada gambar 4.1. Pada saat ini perkembangan teknologi membuka peluang dalam pembuatan keramik sehingga penggunaan keramik dapat digunakan untuk industri ruang angkasa, elektronik, kedokteran dan energi terbarukan.



Gambar 4.1. Piring Porselen (sumber: Yustana 2018)

4.2 Struktur Keramik

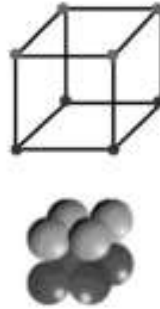
Struktur keramik tergantung pada susunan atom dan ikatan kimia yang ada pada keramik. Penyusun keramik terdiri dari unsur-unsur logam dan non logam. Unsur logam seperti aluminium, magnesium dan silikon sedangkan untuk unsur non logam seperti oksigen, nitrogen dan karbon. Struktur keramik bervariasi tergantung pada jenis keramik, proses pembuatan dan pengolahannya.

4.2.1 Struktur kristal keramik

Struktur kristal dari keramik sangat kompleks, hal ini karena bahan penyusun dan kondisi operasi saat pembakaran sangat mempengaruhi atom-atom penyusunnya tersusun. Berikut beberapa struktur kristal pada keramik:

1. Struktur kristal *Simple Cubic* (SC)

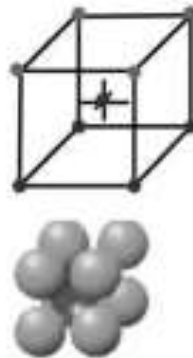
Struktur ini cenderung kurang stabil sehingga jarang ditemukan pada keramik. Atom-atom pada struktur ini ditempatkan pada sudut-sudut kubus dan titik Tengah pada masing-masing sisi kubus. Contoh senyawa yang memiliki struktur SC adalah BeO (Berilium Oksida), namun jarang digunakan dalam aplikasi keramik karena toksisitas berilium dan sifatnya yang rapuh.



Gambar 4.2. Struktur *Simple Cubic*

2. Struktur kristal *Body-Centered Cubic* (BCC)

Struktur ini juga jarang didapatkan pada keramik. Struktur ini memiliki atom pusat di tengah kubus dan atom-atom lainnya ditempatkan pada sudut-sudut kubus. Salah satu contoh keramik dengan struktur kristal BCC adalah boron karbida (B_4C) yang digunakan dalam aplikasi pelat pelindung dan bahan tahan aus.

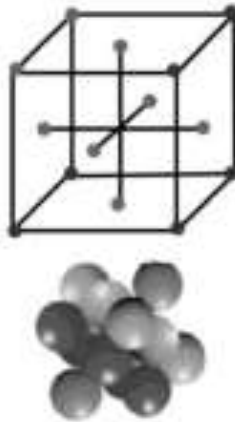


Gambar 4.3. Struktur BCC

3. Struktur Kristal *Face-Centered Cubic* (FCC)

Struktur ini memiliki atom-atom pada sudut-sudut kubus serta pada titik-titik tengah setiap sisi kubus. Contoh

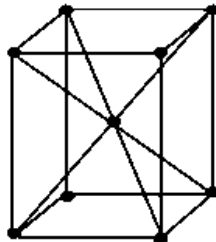
keramik dengan struktur ini adalah perovskite oksida dengan rumus kimia ABX_3 seperti $BaTiO_3$; $SrZrO_3$; $SrSnO_3$



Gambar 4.4. Struktur FCC

4. Struktur Kristal Tetragonal

Struktur ini memiliki aksis utama yang lebih panjang daripada aksis sekunder. Atom-atom ditempatkan pada sudut-sudut kubus yang lebih panjang dan pada titik tengah setiap sisi kubus. Contoh keramik dengan struktur ini adalah zirkonia.

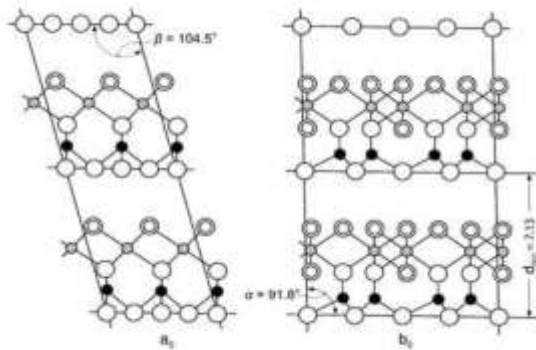


Gambar 4.5. Struktur Kristal Tetragonal

5. Struktur Kristal Monoklinik

Struktur ini memiliki sudut yang berbeda antara aksis a dan c. Atom-atom ditempatkan pada sudut-sudut kubus

dan titik-titik tengah sisi yang berbeda. Contoh keramik yang memiliki struktur monoklinik adalah kaolin. Kaolin memiliki komposisi SiO_2 46,54%; Al_2O_3 39,5% dan H_2O 13,96%.



Gambar 4.6. Struktur Monoklinik Kaolin

6. Struktur Kristal Ortogonal

Struktur ini memiliki tiga aksis dengan panjang yang berbeda dan sudut yang tegak lurus satu sama lain. Atom-atom ditempatkan pada sudut-sudut kubus dan titik-titik tengah sisi. Contoh keramik dengan struktur ini adalah mulite.

7. Struktur Kristal Hexagonal

Struktur ini memiliki tiga aksis yang sama panjang dengan sudut 120 derajat. Atom-atom ditempatkan pada sudut-sudut kubus dan pada titik-titik tengah setiap sisi kubus. Aluminium oksida (safir) adalah contoh keramik dengan struktur ini.

4.3 Sifat Keramik

Keramik memiliki sifat yang khas dibandingkan dengan material yang lain seperti logam, polimer maupun komposit. Sifatnya tergantung pada jenis dan komposisi penyusun dari keramik tersebut. Sifatnya yang beragam ini membuat penggunaan keramik cukup luas misal pada bidang konstruksi, elektronik, otomotif, kimia, kesehatan, kerajinan, dan perlengkapan rumah tangga.

4.3.1 Sifat Mekanik

Keramik memiliki modulus elastis yang tinggi sehingga memiliki sifat keras dan sulit untuk dideformasi. Keramik mampu menahan bentuknya dengan baik bahkan ketika dikenai beban besar. Sifat kekerasan ini membuat keramik dapat digunakan dalam kegiatan yang melibatkan gesekan ataupun yang melibatkan aus seperti sebagai bahan bantalan atau pelapis pada mesin.

Keramik juga memiliki sifat kerapuhan yang membuat keramik mudah untuk patah atau pecah jika mendapatkan beban atau benturan yang sangat kuat. Keramik langsung akan pecah tanpa mengalami deformasi ketika melewati batas elastis dari keramik. Keramik juga tidak dapat ditempa karena sifat kekerasan dan kerapuhannya. Keramik dapat dibentuk sesuai dengan permintaan jika keramik dibentuk diawal sebelum proses pembakaran.

Contoh penggunaan keramik karena sifat mekaniknya adalah keramik oksida aluminium (alumina) sering digunakan karena kekerasan dan ketahanan mekaniknya yang tinggi, sedangkan zirkonia sering digunakan dalam aplikasi yang memerlukan ketahanan terhadap suhu tinggi.

4.3.2 Sifat Termal

Sifat termal keramik berkaitan dengan kemampuan keramik untuk menahan perubahan dari suhu yang tinggi. Proses pembuatan keramik yang melalui proses pembakaran pada suhu

yang tinggi membuat keramik memiliki daya tahan panas yang baik, mampu menahan kejutan termal dan hantaran panas yang baik.

Banyak jenis keramik tahan terhadap suhu tinggi, dan ini membuat keramik cocok untuk aplikasi di lingkungan yang memerlukan ketahanan terhadap suhu ekstrem. Contoh penggunaan keramik ini adalah pada pembuatan tungku peleburan logam atau pada komponen mesin pesawat terbang yang harus beroperasi dalam kondisi suhu tinggi.

Perpindahan panas dalam keramik hanya secara konduksi dan radiasi. Keramik umumnya memiliki konduktivitas termal yang rendah sehingga tidak menghantarkan panas dengan baik seperti logam. Contoh penggunaan keramik misalnya, keramik sering digunakan sebagai lapisan pelindung pada re-entry shields wahana antariksa untuk melindungi dari panas yang dihasilkan saat memasuki atmosfer bumi. Selain itu beberapa jenis keramik dapat digunakan sebagai isolator termal yang efektif. Keramik mampu menghambat perpindahan panas antara dua area dengan suhu yang berbeda, sehingga mengurangi hilangnya energi termal. Contoh penggunaannya pada bahan isolasi dalam pembangunan bangunan atau dalam produksi alat-alat elektronik.

Koefisien ekspansi termal keramik cenderung rendah sehingga keramik tidak mengalami perubahan dimensi yang signifikan saat dipanaskan atau didinginkan. Berdasarkan hal ini membuat keramik cocok untuk aplikasi dimana stabilitas dimensi sangat penting, seperti dalam pembuatan peralatan laboratorium atau bahan struktural dalam suhu tinggi. Selain itu, keramik memiliki kapasitas panas yang rendah sehingga memerlukan jumlah panas yang relatif sedikit untuk mengubah suhu mereka. Ini dapat mengakibatkan perubahan suhu yang cepat saat dipanaskan atau didinginkan.

4.3.3 Sifat Kimia

Sifat kimia keramik berbeda-beda tergantung pada penyusun atau komposisi pada keramik tersebut. Secara umum sifat kimia keramik berhubungan dengan :

1. Ketahanan terhadap reaksi kimia
Keramik sering tahan terhadap reaksi kimia dengan zat-zat lain, sehingga mereka cocok digunakan di lingkungan yang melibatkan kimia yang kuat atau reaksi eksotermis. Misalnya alumina adalah tahan terhadap basa kuat seperti natrium hidroksida (NaOH), alumina (Al_2O_3) dan silikon karbida (SiC) tahan terhadap asam, porselen dan kaca yang sangat inert terhadap banyak bahan kimia. Ketahanan terhadap asam, basa, maupun korosif lainnya membuat keramik tahan terhadap korosi.
2. Ketahanan terhadap pelarut:
Keramik umumnya tidak larut dalam pelarut kimia. Ini berarti keramik tidak akan larut atau terurai ketika terpapar oleh pelarut seperti air, asam, atau alkali.
3. Ketahanan terhadap degradasi
Banyak keramik tidak mengalami perubahan kimia atau degradasi meskipun pada suhu tinggi sehingga keramik dapat diaplikasikan seperti pada tungku dan mesin jet.
4. Ketahanan terhadap larutan garam
Keramik tidak larut dalam air maupun larutan garam karena sifat kimia yang tahan terhadap korosi, misalnya Silikon Karbida (SiC) tahan terhadap banyak larutan garam dan asam. Silikon Karbida (SiC) memiliki ikatan kovalen dimana tiap atom Si dikelilingi oleh atom C secara tetragonal dengan dua *polymorphy*.

4.3.4 Sifat Listrik

Sama halnya dengan sifat keramik yang lain, sifat listrik kimia tergantung pada komposisi atau penyusun dari keramik tersebut. Berikut beberapa sifat listrik dari keramik:

1. Isolator Listrik

Keramik banyak yang memiliki sifat isolator listrik yang sangat baik. Hal ini karena keramik memiliki hambatan yang sangat tinggi terhadap aliran arus listrik. Sifat ini membuat keramik digunakan dalam aplikasi isolasi listrik seperti isolator tegangan tinggi, porselen isolator pada saluran listrik, dan komponen elektronik yang memerlukan isolasi listrik yang baik.

2. Dielektrik

Keramik juga sering digunakan sebagai bahan dielektrik dalam kapasitor. Sifat dielektrik keramik memungkinkan kapasitor untuk menyimpan muatan listrik dengan baik.

3. Ferroelektrik

Beberapa keramik, seperti barium titanat (BaTiO_3), memiliki sifat ferroelektrik yang artinya mengalami perubahan polarisasi di bawah pengaruh medan listrik eksternal. Sifat ferroelektrik ini digunakan dalam beberapa aplikasi seperti perangkat memori non-volatile dan sensor.

4. Piezoelektrik

Beberapa jenis keramik, seperti kuarsa dan piezoelektrik, memiliki sifat piezoelektrik. Sifat ini dapat menghasilkan tegangan listrik saat diberi tekanan mekanis atau sebaliknya. Sifat piezoelektrik digunakan dalam berbagai aplikasi termasuk pengukuran dan pembangkitan gelombang suara, serta sensor getaran.

5. Semikonduktor

Beberapa keramik, seperti karbida silikon (SiC), memiliki sifat semikonduktor. Sifat ini memungkinkan keramik

dapat digunakan dalam aplikasi elektronik sebagai bahan semikonduktor alternatif untuk silikon.

4.4 Pengelompokan Keramik

Pengelompokan keramik didasarkan pada sifat-sifat keramik seperti sifat kimia dan sifat mekanik. Berikut beberapa pengelompokan keramik :

1. Berdasarkan sifat Mekanik
 - a. Keramik Struktural: Digunakan untuk kekuatan mekanis dan tahan aus, seperti dalam mesin, perlindungan balistik, dan pelapis tahan aus contohnya Alumina, Karbid silikon, Zirkonia.
 - b. Keramik Isolasi: Digunakan untuk isolasi termal atau elektrik, seperti dalam pemanas atau isolator listrik. Contohnya porselen, Steatit dan alumina oksida.
 - c. Keramik Transduksi: Digunakan dalam sensor, piezoelektrik, dan aplikasi konversi energi lainnya. Contohnya Pirolitik; termistor, resistor.
2. Berdasarkan Komposisi Kimia:
 - a. Oksida Keramik: Terdiri dari unsur-unsur oksigen dan logam, seperti alumina (Al_2O_3), zirkonia (ZrO_2), dan magnesita (MgO).
 - b. Non-Oksida Keramik: Terdiri dari unsur-unsur selain oksigen dan logam, seperti silikon karbida (SiC), nitrida boron (BN), dan karbida titanium (TiC).
 - c. Keramik Komposit: Gabungan dari dua atau lebih jenis keramik atau material lain, seperti cermet (campuran logam dan keramik).
3. Berdasarkan Struktur Kristal:
 - a. Keramik Kristalina: Memiliki struktur kristal teratur, seperti alumina dan zirkonia.
 - b. Keramik Amorf: Tidak memiliki struktur kristal teratur, seperti gelas keramik (keramik kaca).

4. Berdasarkan Penggunaan:

- a. Keramik Teknik: Digunakan dalam aplikasi teknik seperti komponen mesin, alat tahan panas, dan isolasi listrik.
- b. Keramik Biomedis: Digunakan dalam aplikasi medis seperti implan tulang dan gigi.
- c. Keramik Elektronik: Digunakan dalam peralatan elektronik seperti papan sirkuit cetak (PCB).
- d. Keramik Refraktori: Digunakan dalam industri metalurgi sebagai bahan refraktori dan tahan api.
- e. Keramik Artistik: Digunakan dalam seni keramik seperti porselen, terakota, dan keramik lapis.

4.5 Pembuatan Keramik

Pembuatan keramik berbeda-beda tergantung pada jenis keramik dan kegunaannya. Secara umum pembuatan keramik melalui tahapan sebagai berikut:

1. Pemilihan Bahan Baku

Bahan baku yang digunakan tergantung pada jenis keramik yang akan dibuat. Bahan baku umum meliputi mineral seperti lempung, kaolin, silika, alumina, dan bahan-bahan lainnya yang mengandung unsur-unsur seperti oksigen, silikon, dan aluminium.

2. Penghancuran Bahan Baku

Bahan baku pertama-tama dihancurkan menjadi partikel yang lebih kecil agar dapat dicampur dan diproses lebih lanjut.

3. Pencampuran Bahan Baku

Bahan baku yang dihancurkan kemudian dicampur dalam proporsi yang tepat untuk menciptakan komposisi kimia yang diinginkan.

4. Penggilingan

Campuran bahan baku dihaluskan lebih lanjut dengan menggilingnya menjadi serbuk halus. Proses penggilingan ini dapat dilakukan dengan menggunakan mesin penggiling seperti bola pabrik atau pabrik tabung.

5. Pengeringan

Serbuk bahan baku yang sudah dihaluskan dikeringkan untuk menghilangkan kelembaban. Proses pengeringan ini dapat dilakukan dengan menggantungnya atau menggunakan oven khusus.

6. Pembentukan

Serbuk kering dicetak atau dibentuk menjadi bentuk yang diinginkan, seperti ubin, piring, atau bagian komponen mesin. Ada beberapa metode pembentukan yang digunakan, termasuk pencetakan tekanan, pencetakan isostatik, dan pencetakan injeksi.

7. Pengeringan Tambahan

Setelah pembentukan, benda keramik mungkin perlu mengalami pengeringan tambahan untuk memastikan bahwa mereka benar-benar kering sebelum langkah berikutnya.

8. Pengencangan atau Presintering

Benda keramik yang belum benar-benar matang (biasanya disebut sebagai "hijau") dapat menjalani proses pengencangan atau presintering. Ini adalah tahap pemanasan pertama di mana benda keramik diperkuat tetapi belum mencapai kepadatan penuh.

9. Sintering

Proses sintering melibatkan pemanasan benda keramik yang telah dikeringkan dan dikencangkan hingga suhu tinggi yang cukup untuk menyatukan partikel-partikelnya menjadi struktur padat. Proses ini membentuk bahan keramik yang keras dan padat.

10. Pengujian Kualitas

Produk keramik yang telah selesai harus menjalani pengujian kualitas untuk memastikan bahwa mereka memenuhi standar yang diinginkan dalam hal dimensi, kekuatan, dan sifat lainnya. Beberapa uji kualitas keramik yang dapat dilakukan adalah sebagai berikut:

- a. Uji Kekerasan: Uji ini mengukur tingkat kekerasan permukaan keramik. Uji kekerasan umumnya menggunakan skala seperti skala Mohs atau skala Vickers untuk menentukan kekerasan material.
- b. Uji Kekuatan Tekan: Ini mengukur kekuatan keramik saat dikenai tekanan. Uji ini penting untuk aplikasi di mana keramik akan mengalami beban tekanan, seperti komponen mesin.
- c. Uji Ketahanan Aus: Ini menguji sejauh mana keramik tahan terhadap abrasi atau ausan. Pengujian ini penting dalam aplikasi di mana keramik digunakan untuk memotong, mengasah, atau menggiling.
- d. Uji Ketahanan Korosi: Pengujian ini mengevaluasi ketahanan keramik terhadap reaksi kimia dengan berbagai zat, termasuk asam dan basa. Ini penting dalam aplikasi di mana keramik akan terpapar lingkungan yang korosif.
- e. Uji Ketahanan Terhadap Suhu Tinggi: Ini mengukur sejauh mana keramik dapat bertahan dalam suhu tinggi tanpa mengalami deformasi atau kerusakan struktural.
- f. Uji Ketahanan Terhadap Suhu Rendah: Ini menguji sejauh mana keramik dapat bertahan dalam suhu rendah tanpa patah atau retak. Ini penting dalam aplikasi di lingkungan beku.
- g. Uji Ketahanan Terhadap Tekanan: Uji ketahanan terhadap tekanan tinggi sering digunakan untuk

mengukur kekuatan kompresi keramik yang digunakan dalam aplikasi yang melibatkan tekanan besar, seperti dalam proses industri.

DAFTAR PUSTAKA

- Garinas, W. wahyu. 2016. 'Proses Pembuatan Dan Pengujian Benda Uji Keramik Untuk Bahan Baku Isolator Listrik Keramik Porselen (Manufacturing and Testing Process of Ceramic Specimens for Raw Materials of Electrical Isolator Porcelain Ceramic)', *Majalah Ilmiah Pengkajian Industri*, 10(3), pp. 173–180.
- Nasrun, M. and Sujianto, S. 2020. 'Pembuatan dan Pengujian Sifat Fisis dan Sifat Mekanik Keramik Alumina Sebagai Komponen Mekanik', *Teknika: Jurnal Sains dan Teknologi*, 16(2), p. 249.
- Nugraha, I. and Kulsum, U. 2017. 'Sintesis dan Karakterisasi Material Komposit Kaolin-ZVI (Zero Valent Iron) serta Uji Aplikasinya sebagai Adsorben Kation Cr (VI)', *Jurnal Kimia VALENSI*, 3(1), pp. 59–70.
- Raharjo, T. *et al.* 2018. *Buku Panduan Analisis Keramik, Journal of Chemical Information and Modeling*.
- Setiawan, F. *et al.* 2014. 'Analisis Porositas dan Kuat Tekan Campuran Tanah Liat Kaolin dan Kuarsa sebagai Keramik', 37(2), pp. 105–114.
- Surdia, T. and Saito, S. 1985. 'Pengetahuan Bahan Teknik'.
- Wigayati, E.M. and (1), M. 2008. 'Karakteristik sifat termal, sifat listrik dan struktur kristal dari keramik sic dengan aditif clay', *Urania*, 14(3), pp. 128–133.
- Yustana, P. 2018. 'MENGENAL KERAMIK Penerbit: ISI PRESS'.

BAB 5

MATERIAL KOMPOSIT

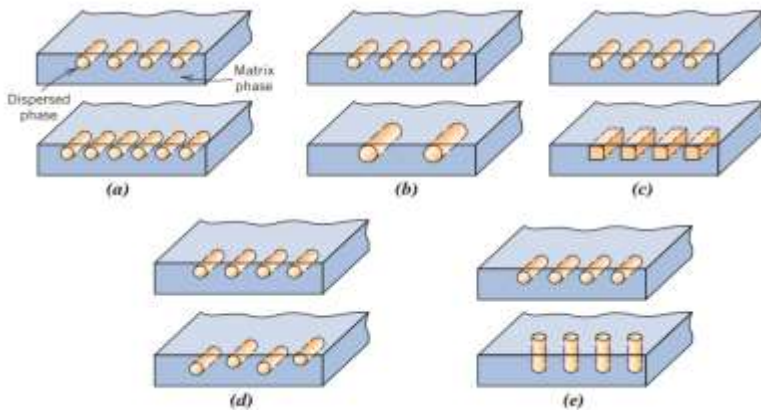
Oleh Nyimas Yanqoritha

5.1 Pendahuluan

Pengenalan konsep baru klasifikasi material komposit multifase dimulai pada pertengahan abad ke-20, menggabungkan bahan yang berbeda selama pembuatan menyebabkan identifikasi komposit sebagai kelas baru yang terpisah dari logam, keramik, dan polimer. Konsep komposit multifase memberikan peluang menarik dirancangnya berbagai macam material dengan kombinasi properti yang tidak dapat dipenuhi oleh salah satu paduan logam konvensional monolitik, keramik, dan bahan polimer (Agarwal, B. D., L. J. Broutman, 2006)

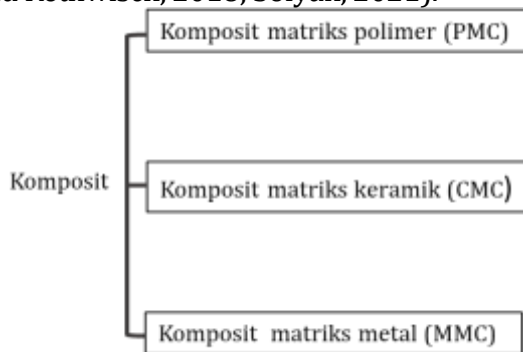
Kekhususan sifat dan tidak lazimnya pada material diperlukan untuk sejumlah aplikasi teknologi tinggi seperti yang ditemukan di industri kedirgantaraan, bawah air, bioteknologi, dan transportasi. Misalnya, para ahli pesawat terbang gencar mencari material struktur yang memiliki kerapatan rendah; kuat, kaku, dan abrasi dan tahan benturan; dan tidak mudah korosi. Ini adalah kombinasi karakteristik yang agak tangguh. Di antara material monolitik, material kuat relatif padat; peningkatan kekuatan atau kekakuan umumnya menghasilkan penurunan ketangguhan. Kombinasi dan rentang properti material telah, dan masih, diperluas oleh pengembangan material komposit. Secara general, komposit adalah dianggap sebagai material multifase yang menunjukkan proporsi yang signifikan dari sifat-sifat kedua fase konstituen sedemikian rupa sehingga kombinasi sifat terwujud lebih baik. (Callister Jr and Rethwisch, 2018).

Dalam merancang material komposit, para ilmuwan telah menggabungkannya berbagai logam, keramik, dan polimer untuk produksi generasi baru material. Sebagian besar komposit telah dibuat untuk meningkatkan kombinasi mekanis karakteristik seperti kekakuan, ketangguhan, dan kekuatan ambien dan suhu tinggi. Banyak material komposit hanya terdiri dari dua fase; satu disebut matriks, yang kontinu dan mengelilingi fase lain, sering disebut terdispersi fase. Sifat-sifat komposit merupakan fungsi dari sifat-sifat penyusun fase, jumlah relatifnya, dan geometri fase terdispersi (Handbook, 1987; Callister Jr and Rethwisch, 2018; Sofyan, 2021). Tersebarannya geometri fase dalam konteks ini berarti bentuk partikel dan ukuran partikel, distribusi, dan orientasi; karakteristik ini diwakili dalam Gambar 1(Richard A. Flinn and Paul K. Trojan, 1990).

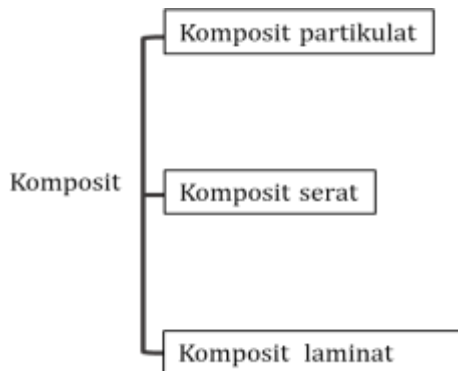


Gambar 5.1. Susunan geometri dan spasial fasa penguat yang mempengaruhi komponen (a) konsentrasi, (b) ukuran, (c) bentuk, (d) distribusi, (e) orientasi. Sumber: Richard A. Flinn and Paul K. Trojan, *Engineering Materials and Their Applications*, 4th edition. Copyright © 1990 by John Wiley & Sons, Inc. Adapted by permission of John Wiley & Sons, Inc.

Berdasarkan material penyusun komposit, tipe jenis komposit adalah matriks dan fiber/penguat (*reinforcement*)/pengisi (filler). Pembagian komposit berdasarkan bahan matriks (Gambar 5.1) adalah (a) *polymer matrix compsites* (PMC), (b) keramic matrix composites (CMC) dan (c) metal matrix composites (MMC). Berdasarkan morfologi material penguat, komposit dapat dibagi menjadi tiga (Gambar 5.2), adalah (a) komposit partikulat, (b) komposit serat, dan (c) komposit laminat (Handbook, 1987; Callister Jr and Rethwisch, 2018; Sofyan, 2021).



Gambar 5.2. Pembagian komposit berdasarkan bahan matriksnya



Gambar 5.3. Komposit berdasarkan morfologi material penguatnya

5.2 Pembagian komposit berdasarkan matriks

Fase matriks komposit berserat dapat berupa logam, polimer, atau keramik. Secara umum, logam dan polimer digunakan sebagai bahan matriks karena beberapa keuletan diinginkan; untuk komposit keramik-matriks, komponen penguat ditambahkan kemeningkatkan ketangguhan retak.

Untuk komposit yang diperkuat serat, fase matriks melayani beberapa fungsi. Pertama, mengikat serat bersama-sama dan bertindak sebagai media dimana tekanan eksternal diterapkan ditransmisikan dan didistribusikan ke serat; hanya sebagian kecil dari beban yang diterapkan ditopang oleh fase matriks. Material matriks harus ulet, selain itu, modulus elastisitas serat harus jauh lebih tinggi daripada matriks. Fungsi kedua dari matriks adalah untuk melindungi serat dari kerusakan permukaan akibat abrasi mekanis atau reaksi kimia dengan lingkungan. Seperti interaksi dapat memperkenalkan cacat permukaan yang mampu membentuk retakan, yang dapat menyebabkan kegagalan pada tingkat tegangan tarik rendah. Akhirnya, matriks memisahkan serat dan berdasarkan kelembutan relatif dan plastisitasnya, mencegah penyebaran retakan rapuh serat ke serat, yang dapat mengakibatkan kegagalan bencana; dengan kata lain, fase matriks berfungsi sebagai penghalang untuk perambatan retak. (Callister Jr and Rethwisch, 2018).

5.2.1 *Polymer Matrix Composites (PMC)*,

Komposit bermatrik polimer (PMC) terdiri dari resin polimer sebagai matriks dan serat sebagai media penguat. Istilah resin digunakan dalam konteks ini untuk menunjukkan plastik penguat dengan berat molekul tinggi. Material ini digunakan dalam keragaman aplikasi komposit terbesar, serta dalam jumlah terbesar, mengingat sifatnya pada temperatur kamar, kemudahan fabrikasi, dan biaya murah. Pada bagian ini berbagai klasifikasi dari PMC didiskusikan menurut jenis penguatan yaitu, serat gelas, serat karbon, dan serat aramid (Campbell, 2010; Aleksendrić and

Carlone, 2015; Callister Jr and Rethwisch, 2018; Harker, 2018; Sofyan, 2021).

1. Komposit Polimer Berpenguat Serat Gelas

Fiberglass hanyalah suatu komposit yang terdiri dari serat gelas, baik kontinu atau terputus-putus, yang terkandung dalam matriks polimer; komposit jenis ini diproduksi dalam jumlah terbesar jumlah. Komposisi gelas yang paling umum ditarik menjadi serat (kadang-kadang disebut sebagai E-glass), diameter serat biasanya berkisar antara 3 -20 μm . Gelas populer sebagai bahan penguat serat karena beberapa alasan:

- a. Mudah ditarik menjadi serat berkekuatan tinggi dari keadaan cair.
- b. Sudah tersedia dan dapat dibuat menjadi plastik yang diperkuat kaca secara ekonomis menggunakan berbagai macam teknik manufaktur komposit.
- c. Sebagai serat, serat ini relatif kuat, dan bila tertanam dalam matriks plastik, serat tersebut akan menjadi kuat menghasilkan suatu komposit yang mempunyai kekuatan spesifik yang sangat tinggi.
- d. Ketika digabungkan dengan berbagai plastik, ia memiliki kelembaman kimiawi yang menjadikan komposit berguna dalam berbagai lingkungan korosif.

2. Komposit Polimer Berpenguat Serat Karbon

Karbon adalah bahan serat berkinerja tinggi yang merupakan penguat yang paling umum digunakan dalam komposit polimer-matriks tingkat lanjut (yaitu, nonfiberglass). Alasan untuk ini adalah sebagai berikut (Campbell, 2010; Aleksendrić and Carlone, 2015; Callister Jr and Rethwisch, 2018; Harker, 2018; Sofyan, 2021):

- a. Serat karbon memiliki modulus spesifik dan kekuatan spesifik yang tinggi.

- b. Mereka mempertahankan modulus tarik tinggi dan kekuatan tinggi pada ketinggian suhu; Namun, oksidasi suhu tinggi mungkin menjadi masalah.
- c. Pada suhu kamar, serat karbon tidak terpengaruh oleh kelembaban atau lebar berbagai pelarut, asam, dan basa.
- d. Serat-serat ini menunjukkan keragaman karakteristik fisik dan mekanik, memungkinkan komposit yang menggabungkan serat-serat ini memiliki sifat rekayasa khusus.
- e. Proses manufaktur serat dan komposit telah dikembangkan yang relatif murah dan hemat biaya.

Teknik manufaktur untuk memproduksi serat karbon relatif kompleks dan tidak dibahas. Namun, tiga bahan prekursor organik yang berbeda digunakan: rayon, poliakrilonitril (PAN), dan pitch. Teknik pemrosesan bervariasi dari satu prekursor ke prekursor lainnya, begitu pula karakteristik serat yang dihasilkan. Salah satu skema klasifikasi untuk serat karbon adalah dengan modulus tarik; sehingga terbagi empat kelas yaitu moduli standar, menengah, tinggi, dan ultra-tinggi. Diameter serat biasanya berkisar antara 4 dan 10 μm ; tersedia bentuk kontinyu dan cincang. Selain itu, serat karbon biasanya dilapisi dengan ukuran epoksi pelindung yang juga meningkatkan daya rekat dengan matriks polimer.

Komposit polimer yang diperkuat karbon saat ini digunakan secara luas di bidang industri perlengkapan olah raga dan rekreasi (pancing, stick golf, raket), tabung motor roket, bejana tekan, dan komponen struktur pesawat maupun helikopter (misalnya sebagai sayap, badan, penstabil, dan komponen kemudi).

3. Komposit Polimer Berpenguat Serat Aramid

Serat aramid adalah bahan berkekuatan tinggi dan modulus tinggi yang diperkenalkan diawal tahun 1970-an. Mereka sangat diminati karena rasio kekuatan terhadap beratnya yang luar biasa, yang lebih unggul dibandingkan logam. Secara kimia, kelompok bahan ini dikenal sebagai poli(parafenilen tereftalamida). Ada sejumlah bahan aramid; berdagang nama untuk dua yang paling umum adalah Kevlar dan Nomex. Untuk yang pertama, ada beberapa grade yang memiliki perilaku mekanik berbeda. Selama sintesis, molekul kaku disejajarkan dalam arah sumbu serat, sebagai domain kristal cair; unit pengulangan dan mode penyelarasan rantai. Secara mekanis, serat ini mempunyai kekuatan tarik memanjang dan modulus tarik yang lebih tinggi dari bahan serat polimer lainnya; namun, kompresinya relatif lemah. Selain itu, bahan ini dikenal untuk ketangguhannya, ketahanan benturan, dan ketahanan terhadap kegagalan mulur dan kelelahan. Bahkan meskipun aramid adalah termoplastik, mereka tetap tahan terhadap pembakaran dan stabil terhadap suhu yang relatif tinggi; kisaran suhu di mana mereka mempertahankan sifat mekaniknya yang tinggi adalah antara -200°C dan 200°C (-330°F dan 390°F) (Callister Jr and Rethwisch, 2018).

Secara kimia, mereka rentan terhadap degradasi oleh asam dan basa kuat, tetapi memang demikian relatif lembam dalam pelarut dan bahan kimia lainnya. Serat aramid paling sering digunakan dalam komposit yang memiliki matriks polimer; bahan matriks yang umum adalah epoksi dan poliester. Karena seratnya relatif fleksibel dan agak ulet, bahan ini dapat diproses oleh sebagian besar operasi tekstil umum.

Aplikasi umum dari komposit aramid ini adalah pada produk balistik (rompi antipeluru dan baju besi), barang olahraga, ban, tali, kotak rudal, dan bejana tekan, serta sebagai

pengganti asbes pada pelapis rem dan kopling otomotif dan gasket.

5.2.2 Metal Matrix Composites

Sesuai dengan namanya, komposit matriks logam (MMC) memiliki matrik logam ulet. Material ini dapat digunakan pada suhu yang lebih tinggi daripada logam dasar rekanannya; selanjutnya, penguatan dapat meningkatkan kekakuan spesifik, spesifik kekuatan, ketahanan abrasi, ketahanan mulur, konduktivitas termal, dan dimensi stabilitas. Beberapa keunggulan material ini dibandingkan komposit matrik-polimer termasuk suhu pengoperasian yang lebih tinggi, tidak mudah terbakar, dan ketahanan yang lebih besar terhadap degradasi oleh cairan organik. Komposit logam-matrik jauh lebih mahal daripada PMC, dan oleh karena itu, penggunaan MMC agak dibatasi. Superalloy, serta paduan aluminium, magnesium, titanium, dan tembaga, digunakan sebagai bahan matriks. Penguatan dapat berupa partikulat, serat atau kumis yang berkesinambungan dan terputus-putus; konsentrasi biasanya berkisar antara 10 dan 60 vol%. Bahan serat kontinu termasuk karbon, silikon karbida, boron, aluminium oksida, dan logam tahan api. Namun, penguat diskontinyu terutama terdiri dari kumis silikon karbida, serat aluminium oksida yang dicincang dan karbon, atau partikulat silikon karbida dan aluminium oksida. Dalam arti tertentu. Tabel 1. menyajikan sifat-sifat beberapa matriks logam umum, komposit yang diperkuat serat kontinu dan selaras

Tabel 5.1. Sifat-sifat Komposit Matriks Logam yang Diperkuat dengan Serat Kontinyu dan Selaras (J. W. Weeton, D. M. Peters, 1987)

<i>Fiber</i>	<i>Matrix</i>	<i>Fiber Content (vol%)</i>	<i>Density (g/cm³)</i>	<i>Longitudinal Tensile Modulus (GPa)</i>	<i>Longitudinal Tensile Strength (MPa)</i>
Carbon	6061 Al	41	2.44	320	620
Boron	6061 Al	48	—	207	1515
SiC	6061 Al	50	2.93	230	1480
Alumina	380.0 Al	24	—	120	340
Carbon	AZ31 Mg	38	1.83	300	510
Borsic	Ti	45	3.68	220	1270

Source: Adapted from J. W. Weeton, D. M. Peters, and K. L. Thomas, *Engineers' Guide to Composite Materials*, ASM International, Materials Park, OH, 1987.

Beberapa kombinasi matriks-penguatan sangat reaktif pada suhu tinggi. Akibatnya, degradasi komposit mungkin disebabkan oleh suhu tinggi pemrosesan atau dengan memaparkan MMC pada suhu tinggi selama servis. Ini masalah biasanya diselesaikan dengan menerapkan lapisan permukaan pelindung pada penguatan atau dengan memodifikasi komposisi paduan matriks. Biasanya pemrosesan MMC melibatkan setidaknya dua langkah: konsolidasi atau sintesis (yaitu, pengenalan penguatan ke dalam matriks), diikuti dengan pembentukan operasi. Sejumlah teknik konsolidasi tersedia, beberapa di antaranya bersifat relatif rumit; MMC serat terputus-putus dapat dibentuk dengan operasi pembentukan logam standar (misalnya, penempaan, ekstrusi, penggulangan).

Produsen mobil baru-baru ini mulai menggunakan MMC dalam produknya. Untuk misalnya, beberapa komponen mesin telah diperkenalkan yang terdiri dari matriks paduan aluminium yang diperkuat dengan aluminium oksida dan serat karbon; MMC ini ringan beratnya dan tahan terhadap keausan dan distorsi termal. Komposit logam-matriks juga digunakan pada poros penggerak (yang memiliki kecepatan putaran lebih tinggi dan

kebisingan getaran level yang lebih rendah), batang stabilizer yang diekstrusi, dan komponen suspensi dan transmisi yang ditempa.

Industri dirgantara juga menggunakan MMC dalam bentuk komposit matriks logam paduan aluminium canggih. Bahan-bahan ini memiliki kepadatan yang rendah, dan itu mungkin terjadi untuk mengontrol sifat-sifatnya (yaitu sifat mekanik dan termal). Grafit kontinu serat digunakan sebagai penguat boom antena di Luar Angkasa Hubble Teleskop; boom ini menstabilkan posisi antena selama manuver luar angkasa. Selain itu, satelit *Global Positioning System* (GPS) menggunakan silikon karbida-aluminium dan MMC grafit-aluminium untuk pengemasan elektronik dan sistem manajemen termal. MMC ini memiliki konduktivitas termal yang tinggi, dan koefisien ekspansinya dapat disesuaikan dengan material elektronik lain dalam komponen GPS. Sifat mulur dan pecah pada suhu tinggi dari beberapa superalloy (Ni- dan Paduan berbasis dasar bersama) dapat diperkuat dengan penguatan serat menggunakan logam tahan api tersebut sebagai tungsten. Ketahanan oksidasi suhu tinggi dan kekuatan benturan yang sangat baik juga dipertahankan. Desain yang menggabungkan komposit ini memungkinkan suhu pengoperasian yang lebih tinggi dan efisiensi yang lebih baik untuk mesin turbin.

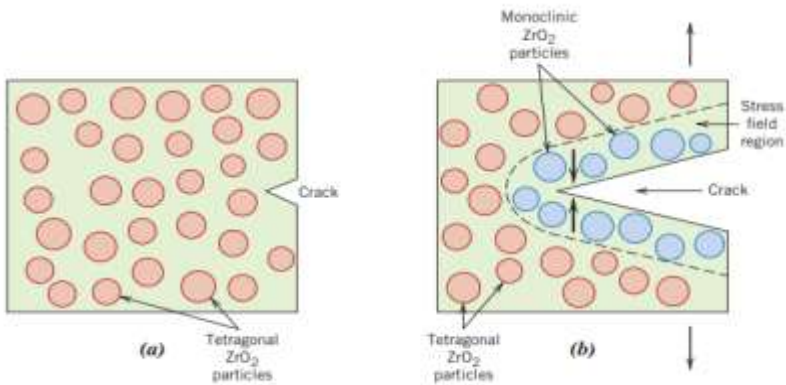
5.2.3 Ceramic Matrix Composites

Material keramik pada dasarnya memiliki ketahanan terhadap benturan oksidasi dan kerusakan pada suhu tinggi; kalau bukan karena disposisi terhadap patah getas, beberapa material ini akan menjadi kandidat ideal untuk digunakan dalam aplikasi suhu tinggi dan tekanan berat, khususnya untuk komponen dalam mobil dan mesin turbin gas pesawat terbang. Nilai ketangguhan patah untuk bahan keramik rendah dan biasanya berkisar antara 1 dan 5 MPa $\sqrt{m}$ (0,9 dan 4,5 ksi $\sqrt{in.}$). Ketangguhan patah keramik telah ditingkatkan secara signifikan dengan pengembangan generasi baru komposit

matriks-keramik (CMC)—partikulat, serat atau whiskers dari satu bahan keramik yang telah tertanam ke dalam matriks keramik lain. Material komposit keramik-matriks telah meningkatkan ketangguhan patah hingga antara 6 dan 20 MPa√m (5,5 dan 18 ksi√in.).

Intinya, peningkatan sifat rekahan ini dihasilkan dari interaksi antara retakan yang maju dan partikel fase terdispersi. Inisiasi crack secara normal terjadi dengan fase matriks, sedangkan perambatan retak dihambat atau dihalangi oleh partikel, serat, atau whiskers.

Salah satu teknik pengerasan yang menarik menggunakan transformasi fase menjadi menahan penyebaran retakan dan disebut dengan pengerasan transformasi. Partikel kecil zirkonia yang distabilkan sebagian tersebar di dalam matriks bahan, seringkali Al_2O_3 atau ZrO_2 itu sendiri. Biasanya, CaO , MgO , Y_2O_3 , dan CeO digunakan sebagai stabilisator. Stabilisasi parsial memungkinkan retensi fase tetragonal metastabil pada kondisi sekitar daripada pada fase monoklinik stabil; kedua fase ini adalah dicatat pada diagram fasa $\text{ZrO}_2\text{--CaZrO}_3$ pada Gambar 4a. Bidang stres di depan retakan yang menyebar menyebabkan partikel-partikel tetragonal yang tertahan secara metastabil ini mengalaminya transformasi ke fase monoklinik stabil. Mendampingi transformasi ini adalah sedikit peningkatan volume partikel, dan hasil akhirnya adalah tegangan tekan timbul pada permukaan retakan di dekat ujung retakan yang cenderung menjepit retakan hingga tertutup, sehingga menahan pertumbuhannya. Proses ini ditunjukkan secara skematis pada Gambar 4 (William D. Callister, 2018).



Gambar 5.4. Demonstrasi skema transformasi yang sulit. (a) Retakan sebelumnya rangsangan ZrO_2 transformasi fase partikel. (b) Penangkapan retak karena stres yang ditimbulkannya transformasi fase. Sumber: William D. Callister, JR. And David G. Rethwisch, 2018. Materials Science and Engineering, Wiley

Teknik pengerasan lain yang dikembangkan baru-baru ini melibatkan penggunaan pengocok keramik, sering kali SiC atau Si_3N_4 . Whiskers ini dapat menghambat perambatan retak dengan (1) membelokkan ujung retakan, (2) membentuk jembatan melintasi permukaan retakan, (3) menyerap energi selama whiskers penarikan whiskers terlepas dari matriks, dan/atau (4) menyebabkan redistribusi tegangan masuk daerah yang berdekatan dengan ujung retakan.

5.3 Komposit berdasarkan morfologi material penguat (reinforcement)

Material penguat sebagai material yang diisikan kepada matriks dan berfungsi untuk menunjang sifat-sifat matriks pada pembentukan komposit. Penguat material komposit dapat dilihat sebagai berikut:

5.3.1 Komposit Partikulat

Material komposit partikel (*particulate composite*) terdiri atas partikel-partikel-partikel yang diikat oleh matriks. Bahan komposit pada umumnya lebih lemah dibandingkan dengan komposit serat. Namun, memiliki keunggulan ketahanan terhadap aus, tidak mudah retak dan mempunyai daya ikat dengan matriks yang baik. Penguat partikel $> 1 \mu\text{m}$. Konsentrasi yang dapat dicampurkan dengan matriks mencapai (20 – 40) % fraksi volume. Pengisi-pengisi partikel antara lain adalah: SiC, B₄C, TiC, TiB, TiB₂, SiO₂, Al₂O₃, dan Fe₂O₃.

Penguat partikel dibagi menjadi 2 yaitu (a) partikel dengan ukuran besar, dan (b) partikel dispersi yang kuat. Penguat dispersi memiliki ukuran diameter $0,01\mu\text{m} - 0,1 \mu\text{m}$, dengan konsentrasi yang dapat dicampurkan dengan matriks mencapai 15%. Berdasarkan geometrinya, penguat partikel dibedakan menjadi: geometri arah, geometri distribusi, geometri ukuran, geometri bentuk dan geometri konsentrasi (Gambar 5.1).

5.3.2 Komposit Serat

Secara teknologi, komposit yang paling penting adalah komposit yang fase terdispersinya berbentuk serat. Sasaran desain komposit yang diperkuat serat sering kali mencakup tujuan yang tinggi kekuatan dan/atau kekakuan berdasarkan berat. Ciri-ciri ini dinyatakan dalam istilah kekuatan spesifik dan parameter modulus spesifik, yang masing-masing sesuai dengan rasio kekuatan tarik terhadap berat jenis dan modulus elastisitas terhadap berat jenis. Komposit yang diperkuat serat dengan kekuatan dan modulus spesifik yang sangat tinggi telah diproduksi yang menggunakan bahan serat dan matriks kepadatan rendah.

Komposit yang diperkuat serat disubklasifikasikan berdasarkan serat panjang. Untuk komposit serat pendek, seratnya terlalu pendek untuk menghasilkan peningkatan kekuatan yang signifikan

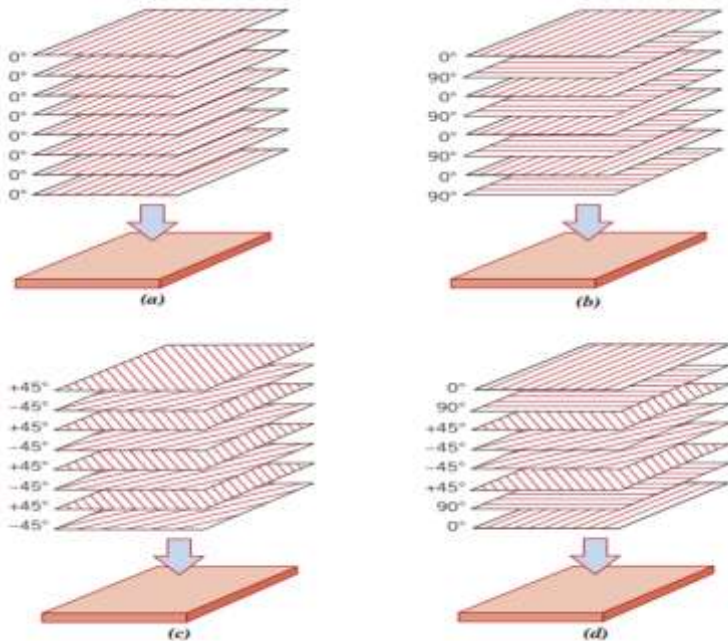
Bahan komposit serat (fiber composite) terdiri atas serat-serat yang diikat oleh matriks. Penggunaan bahan komposit serat sangat efisien dalam menerima beban dan gaya. Oleh karena itu bahan komposit serat sangat kuat dan kaku apabila dibebani searah serat, sebaliknya sangat lemah apabila dibebani dalam arah tegak lurus serat

Untuk membuat plastik yang diperkuat serat secara kontinyu yang memenuhi spesifikasi desain, serat harus didistribusikan secara merata di dalam matriks plastik dan, dalam banyak kasus, semua serat harus didistribusikan secara merata di dalam matriks plastik berorientasi pada arah yang hampir sama.

Penguat fiber untuk material komposit dibedakan menjadi 2 jenis, yaitu penguat fiber natural (alami) dan penguat fiber buatan (sintesis). Beberapa jenis penguat fiber sintesis yang umumnya dipakai dalam pembuatan material komposit antara lain: fiber-glass, fiber carbon, fiber-nylon, dan fiber Graphite. Penguat natural yang sering dipakai untuk pembuatan material komposit adalah serbuk kayu, enceng gondok, bamboo, dan serat pisang.

5.3.3 Komposit Struktur

Bahan komposit struktural (*structure composites*) dibentuk oleh penguat yang memiliki bentuk lembaran-lembaran (Gambar 5) (ASM Handbook, 2001). Berdasarkan struktur, komposit ini terbagi menjadi 2, yaitu struktur laminate dan struktur sandwich. Komposit laminar terdiri dari lembaran atau panel dua dimensi (lapisan atau lamina) terikat satu sama lain. Setiap lapisan mempunyai arah kekuatan tinggi yang disukai, seperti sekarang ditemukan dalam polimer yang diperkuat serat kontinyu dan selaras. Struktur berlapis-lapis seperti ini disebut laminasi. Sifat laminasi bergantung pada beberapa faktor, antara lain bagaimana arah kekuatan tinggi bervariasi dari satu lapisan ke lapisan lainnya. Dalam hal ini, ada empat kelas komposit laminar: searah, lapis silang, lapis sudut, dan multiarah.



Gambar 5.5. Lay-up (skema) untuk laminar komposit. (a) Searah; (b) lapisan silang; (c) lapisan sudut; dan (d) multi arah.

Sumber: ASM Handbook, Vol. 21, Composites, 2001. Reproduced with permission from ASM International, Materials Park, OH, 44073

Untuk searah, orientasi arah kekuatan tinggi untuk semua lamina adalah sama (Gambar 5.5.a); laminasi lapis silang memiliki orientasi lapisan kekuatan tinggi bergantian 0° dan 90° (Gambar 5.5.b); dan untuk lapisan sudut, lapisan-lapisan yang berurutan bergantian $+\theta$ dan $-\theta$ orientasi kekuatan tinggi (misalnya $\pm 45^\circ$) (Gambar 5.5.c). Multi arah laminasi memiliki beberapa orientasi kekuatan tinggi (Gambar 5.5.d). Untuk hampir semua laminasi, lapisan biasanya ditumpuk sedemikian rupa sehingga orientasi

serat relatif simetris bidang tengah laminasi; pengaturan ini mencegah puntiran atau pembengkokan di luar bidang.

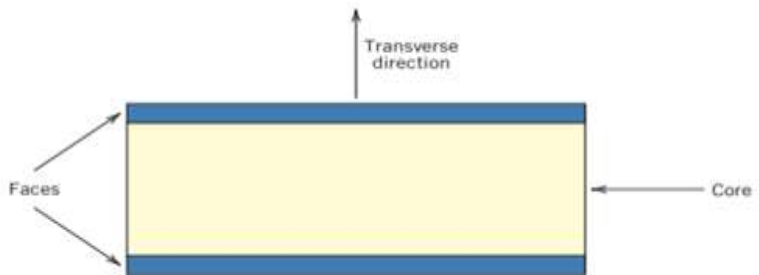
Sifat dalam bidang (misalnya modulus elastisitas dan kekuatan) laminasi searah sangat anisotropik. Laminasi silang, sudut, dan multi arah dirancang untuk meningkatkan derajat isotropi dalam bidang; multiarah dapat dibuat menjadi sebagian besar sangat isotropik; tingkat isotropi menurun dengan bahan sudut dan lapisan silang.

Aplikasi yang menggunakan komposit laminasi terutama di sektor pesawat terbang, otomotif, kelautan, dan bangunan/infrastruktur sipil. Aplikasi khusus mencakup hal-hal berikut: pesawat—badan pesawat, stabilisator vertikal dan horizontal, palka roda pendaratan, rantai, fairing, dan baling-baling untuk helikopter; otomotif—panel mobil, mobil sport badan, dan poros penggerak; laut—lambung kapal, penutup palka, rumah geladak, sekat, dan baling-baling; bangunan/infrastruktur sipil—komponen jembatan, struktur atap bentang panjang, balok, panel struktural, panel atap, dan tangki.

Laminasi juga digunakan secara luas dalam peralatan olahraga dan rekreasi. Misalnya saja, ski modern adalah sesuatu yang relatif kompleks struktur laminasi.

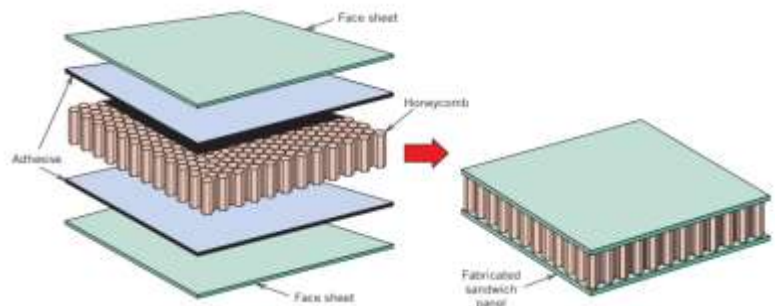
Panel sandwich, salah satu kelas komposit struktural, dirancang menjadi balok ringan atau panel yang memiliki kekakuan dan kekuatan yang relatif tinggi. Panel sandwich terdiri dari dua lembar luar, muka, atau kulit yang dipisahkan dan diikat secara perekat menjadi lebih tebal inti (Gambar 5). Lembaran luar terbuat dari bahan yang relatif kaku dan kuat, biasanya paduan aluminium, baja dan baja tahan karat, plastik yang diperkuat serat, dan kayu lapis; mereka membawa beban lentur yang diterapkan pada panel. Saat panel sandwich berada bengkok, satu sisi mengalami tegangan tekan dan sisi lainnya mengalami tegangan tarik. Bahan inti biasanya terbagi dalam tiga kategori: busa polimer kaku, kayu, dan sarang lebah.

Panel sandwich digunakan di berbagai jenis pesawat terbang, konstruksi, otomotif, dan aplikasi kelautan, termasuk yang berikut: pesawat terbang-bagian depan dan belakang, radome, fairing, nacelles (penutup kepala dan bagian saluran kipas di sekitar mesin turbin), penutup, kemudi, stabilisator, dan baling-baling untuk helikopter; konstruksi-kelongsong arsitektur untuk bangunan, fasad dekoratif dan permukaan interior, sistem atap dan dinding berinsulasi, panel ruang bersih, dan lemari built-in; otomotif-header, kompartemen bagasi lantai, penutup roda cadangan, dan lantai kabin; kelautan-sekat, furnitur, dan dinding, langit-langit, dan panel partisi



Gambar 5.6. Diagram skematik menunjukkan potongan melintang dari panel sandwich.

Sumber : Materials Handbook, Vol. 1, Composites, ASM International, Materials Park, OH, 1987



Gambar 5.7. Diagram skematik menunjukkan konstruksi panel sandwich inti sarang lebah.

Sumber: Materials Handbook, Vol. 1, Composites, ASM International, Materials Park, OH, 1987.

DAFTAR PUSTAKA

- Agarwal, B. D., L. J. Broutman, and K.C. 2006. *Analysis and Performance of Fiber Composites*. 3rd editio. ohn Wiley & Sons, Hoboken, NJ.
- Aleksendrić, D. and Carlone, P. 2015. *Introduction to composite materials, Soft Computing in the Design and Manufacturing of Composite Materials*. doi:10.1533/9781782421801.1.
- ASM Handbook. 2001. *Composites*. Reproduced with permission from ASM International, Materials Park, OH, 44073.
- Callister Jr, W.D. and Rethwisch, D.G. 2018. *Characteristics, Application, and Processing of Polymers, Materials Science and Engineering - An Introduction*.
- Campbell, F.C. 2010. 'Structural Composite Materials', *Structural Composite Materials* [Preprint]. doi:10.31399/asm.tb.scm.9781627083140.
- Handbook, M. 1987. *Materials Handbook, Composites*. ASM Intern.
- Harker, K. 2018. 'Engineering competency', *High Voltage Power Network Construction*, pp. 689–703. doi:10.1049/pbpo110e_ch26.
- J. W. Weeton, D. M. Peters, and K.L.T. 1987. *Engineers' Guide to Composite Materials*. ASM International Materials Park, OH.
- Richard A. Flinn and Paul K. Trojan. 1990. *Engineering Materials and Their Applications*. 4th editio. by John Wiley & Sons, Inc. Adapted by permission of John Wiley & Sons, Inc.
- Sofyan, B.T. 2021. *Pengantar Material Teknik Edisi Kedua*.
- William D. Callister, J.A.D.G. 2018. *Materials Science and Engineering*. Rethwisch Wiley. Available at: Wiley.

BAB 6

MATERIAL KRISTAL CAIR

Oleh Ian Kurniawan

6.1 Pendahuluan

Kristal cair, juga dikenal sebagai cairan kristal, adalah suatu fase materi yang terletak di antara fase padat dan fase cair dalam suhu tertentu. Fase ini pertama kali diidentifikasi oleh ahli fisika Austria Friedrich Reinitzer pada tahun 1888 ketika dia menemukan bahwa beberapa senyawa, seperti kolesterol benzoat, menunjukkan sifat transisi antara fase padat dan fase cair (Percec and Sahoo, 2022).

Dalam kristal cair, partikel atau molekul penyusunnya memiliki susunan yang teratur secara parsial, mirip dengan kristal padat, tetapi susunan ini tidak teratur seperti pada kristal padat. Kristal cair memiliki orde molekuler yang parsial, yang berarti molekul-molekulnya memiliki kecenderungan untuk berorientasi sejajar satu sama lain, tetapi tidak memiliki tata kisi kristal yang ketat seperti pada padatan. Struktur molekul yang teratur ini memberikan beberapa karakteristik khas pada kristal cair.

Salah satu karakteristik penting dari kristal cair adalah sifat optiknya. Ketika dikenai medan listrik atau tekanan mekanis, susunan molekul dalam kristal cair dapat berubah, menyebabkan perubahan dalam arah polarisasi cahaya yang melewatinya. Ini dikenal sebagai efek elektro-optik dan efek piezoelektrik (Erkoreka *et al.*, 2023). Kemampuan ini sangat penting dalam aplikasi teknologi layar cair (LCD) yang digunakan secara luas dalam perangkat elektronik seperti televisi, monitor, dan ponsel pintar.

Selain itu, kristal cair juga dapat berbentuk lapisan tipis, yang disebut lapisan smektik, di mana lapisan-lapisan molekul

memiliki orientasi yang berbeda. Lapisan ini memungkinkan pergerakan molekul-molekul secara independen dalam lapisan mereka sendiri, tetapi masih teratur secara keseluruhan. Kristal cair kolesterik memiliki susunan yang membentuk heliks, dan kristal cair nematik memiliki orientasi molekul yang sejajar tanpa ada susunan lapisan.

Proses pembentukan kristal cair dari fase padat disebut transisi cair-kristal (mesomorfosis), sementara proses pembentukan kristal cair dari fase cair disebut transisi isotropis-kristal (Chandrasekar *et al.*, 2023). Suhu dan tekanan mempengaruhi sifat kristal cair, dan setiap senyawa atau molekul tertentu memiliki titik transisi yang khas di mana fase kristal cair muncul.

6.1.1 Perkembangan Penelitian Material Kristal Cair

Sejarah dan penelitian mengenai kristal cair memiliki perkembangan yang menarik sepanjang waktu. Mari kita jelajahi beberapa momen penting dalam sejarah serta perkembangan penelitian mengenai kristal cair (Andrienko, 2018).

1. Penemuan Kristal Cair

Perkembangan penelitian mengenai kristal cair dimulai pada tahun 1888 ketika ahli fisika Austria bernama Friedrich Reinitzer menemukan sifat transisi aneh dalam senyawa kolesterol benzoat. Ia menyadari bahwa senyawa ini menunjukkan dua titik lebur yang berbeda, yaitu ketika berubah dari bentuk padat menjadi cair dan ketika berubah dari cair menjadi kristal. Penemuan ini menarik perhatian para ilmuwan pada waktu itu, dan menjadi titik awal dalam memahami fase materi yang baru dikenal sebagai kristal cair.

2. Kontribusi Otto Lehmann

Otto Lehmann, seorang ahli fisika Jerman, memainkan peran penting dalam memahami sifat dan karakteristik kristal cair. Pada tahun 1904, ia mendefinisikan istilah "kristal cair" atau "mesogen" untuk menjelaskan materi yang berada di

antara fase padat dan fase cair. Ia juga mengembangkan mikroskop polarisasi yang dikenal sebagai "mikroskop berkas silang Lehmann" yang memungkinkan pengamatan struktur kristal cair.

3. Pengembangan Mikroskop Polarisasi

Pada tahun 1930-an, perangkat mikroskop polarisasi semakin berkembang dan digunakan secara luas dalam studi tentang kristal cair. Mikroskop ini memungkinkan ilmuwan untuk melihat dan mengamati perubahan dalam susunan molekul dan sifat optik kristal cair dengan lebih jelas.

4. Penemuan Fase Smektik dan Nematik

Pada tahun 1960-an, penelitian lebih lanjut mengenai kristal cair membawa penemuan bentuk-bentuk baru dari fase kristal cair, seperti smektik dan nematik. Fase-fase ini memiliki susunan yang unik dan berbeda dari bentuk-bentuk kristal cair sebelumnya.

5. Aplikasi Teknologi Layar Cair (LCD)

Pada tahun 1970-an, teknologi layar cair (LCD) mulai dikembangkan dan menjadi salah satu aplikasi paling menonjol dari penelitian mengenai kristal cair. LCD memanfaatkan sifat optik dari kristal cair yang dapat mengubah arah polarisasi cahaya saat dikenai medan listrik. Ini memungkinkan pengembangan layar datar, tipis, dan efisien energi yang digunakan pada berbagai perangkat elektronik seperti televisi, monitor, dan ponsel pintar.

6. Penelitian Lanjutan dan Aplikasi Baru

Sejak itu, penelitian mengenai kristal cair terus berkembang pesat dengan fokus pada pemahaman lebih mendalam tentang struktur dan sifat kristal cair, serta pengembangan aplikasi baru dalam berbagai bidang ilmu, seperti optika, fotonik, bioteknologi, dan ilmu material.

Hingga saat ini, penelitian mengenai kristal cair terus berlanjut, dan pemahaman tentang fase materi yang menarik

ini semakin berkembang. Kristal cair tetap menjadi subjek penelitian menarik yang memiliki potensi besar dalam teknologi dan ilmu pengetahuan di masa depan.

6.2 Susunan Molekul Material Kristal Cair

Struktur molekul dalam kristal cair adalah salah satu aspek yang menarik dan penting untuk dipahami dalam ilmu kimia dan fisika. Struktur molekul ini memainkan peran kunci dalam menentukan sifat dan perilaku kristal cair. Dalam kristal cair, molekul-molekul penyusunnya memiliki kecenderungan untuk berorientasi sejajar satu sama lain. Artinya, molekul-molekul tersebut cenderung memiliki arah atau susunan yang sama dalam suatu wilayah tertentu. Namun, orientasi ini tidak seragam dan kaku seperti pada kristal padat. Sebaliknya, orientasi molekul dalam kristal cair lebih fleksibel dan dapat berubah seiring waktu.

Salah satu ciri utama dari kristal cair adalah orde parsial atau orde molekuler yang teratur. Ini berarti bahwa molekul-molekul penyusunnya memiliki susunan yang teratur secara parsial, mirip dengan kristal padat, tetapi tidak memiliki susunan kristal yang teratur secara keseluruhan. Kekurangan orde yang sempurna ini membuat struktur molekul kristal cair tetap fleksibel dan memungkinkan molekul-molekulnya untuk bergerak satu sama lain dengan relatif mudah.

6.2.1 Jenis Material Kristal Cair

Tergantung pada orientasi dan susunan molekul penyusunnya, kristal cair dapat dibedakan menjadi beberapa bentuk atau jenis. Beberapa bentuk kristal cair yang umum meliputi:

1. Kristal Cair Nematik: Molekul-molekulnya berorientasi sejajar satu sama lain tanpa adanya susunan lapisan yang teratur.

2. Kristal Cair Smektik: Molekul-molekul membentuk lapisan-lapisan tipis dengan lapisan yang berbeda memiliki orientasi yang berbeda pula.
3. Kristal Cair Kolesterik: Molekul-molekul membentuk heliks.

Pada kristal cair smektik, struktur lapisan menjadi ciri khas yang menarik. Lapisan-lapisan molekul membentuk struktur yang mirip dengan "tumpukan kartu". Setiap lapisan memiliki orientasi molekul yang khas, dan antara lapisan-lapisan tersebut terdapat ruang yang memungkinkan pergerakan molekul-molekul secara independen. Struktur lapisan ini berperan dalam sifat fisik kristal cair, seperti viskositas dan konduktivitas listrik.

Suhu dan tekanan mempengaruhi struktur molekul kristal cair. Perubahan suhu dapat menyebabkan transisi fasa antara kristal cair dan fasa lainnya, seperti padat atau gas. Ketika suhu atau tekanan berubah, struktur molekul dalam kristal cair dapat mengalami perubahan, yang mengarah pada transisi fasa yang menarik (Terlicka *et al.*, 2023).

6.2.2 Bentuk Material Kristal Cair

Istilah "kristal cair" merupakan istilah dalam ilmu material dan fisika kondensat yang menggambarkan fasa materi yang unik. Penting untuk dipahami bahwa kristal cair bukanlah kombinasi dari bentuk kristal dan cairan, seperti yang mungkin terdengar dari namanya. Kristal cair adalah bentuk materi yang tertentu yang berada di antara fasa padat dan cairan. Dalam keadaan ini, partikel atau molekul dalam materi memiliki susunan berpola tetapi juga memiliki pergerakan bebas sebagaimana cairan.

Ketika materi transisi dari fasa cair ke fasa padat (misalnya es), partikel-partikelnya memiliki susunan berpola teratur seperti dalam kristal, dan molekul-molekulnya terikat dalam susunan tetap yang dikenal sebagai kisi kristal. Namun, dalam kristal padat, partikel-partikel tersebut memiliki pergerakan yang sangat

terbatas. Di sisi lain, dalam fase cair (misalnya air cair), molekul-molekulnya memiliki kebebasan gerak yang lebih besar, namun tidak memiliki susunan tetap atau teratur seperti pada kristal.

Kristal cair terjadi ketika suatu materi berada dalam keadaan antara fase cair dan fase padat. Ini berarti, meskipun partikel-partikelnya memiliki susunan berpola atau teratur seperti kristal, mereka juga memiliki gerakan translasi seperti pada cairan. Beberapa contoh kristal cair termasuk dalam bentuk-bentuk khusus dari materi seperti kristal cair molekular, kristal cair kiral (*chiral nematic*), dan kristal cair kolom (*smectic*). Bentuk-bentuk ini memainkan peran penting dalam berbagai aplikasi teknologi, seperti tampilan cair kristal (LCD) pada layar televisi dan monitor komputer.

6.3 Sifat Fisika dan Kimia Material Kristal Cair

Kristal cair memiliki sifat fisik dan kimia yang unik yang membedakannya dari fase padat dan fase cairan lainnya. Berikut adalah beberapa sifat fisik dan kimia utama kristal cair.

6.3.1 Sifat Fisika Material Kristal Cair

1. **Susunan Berpola:** Kristal cair memiliki susunan berpola atau teratur seperti kristal padat. Molekul-molekulnya memiliki orientasi yang sama dan tertata dengan pola yang khas.
2. **Viskositas:** Viskositas kristal cair lebih tinggi daripada cairan biasa, tetapi lebih rendah daripada kristal padat. Hal ini disebabkan oleh adanya susunan berpola yang menghambat aliran molekul, namun gerakan translasi molekul masih terjadi.
3. **Birefringence:** Kristal cair menunjukkan efek birefringence, yaitu kemampuan untuk membelokkan atau memisahkan cahaya menjadi dua polarisasi yang berbeda saat cahaya melewatinya. Efek ini terjadi karena orientasi molekul yang teratur.

4. Transisi Fase: Kristal cair bisa mengalami transisi fase ke fase cairan atau ke fase padat melalui pengaruh perubahan suhu, tekanan, atau perubahan lingkungan lainnya.

6.3.2 Sifat Kimia Material Kristal Cair

1. Interaksi Molekuler: Molekul-molekul dalam kristal cair saling berinteraksi melalui gaya van der Waals, ikatan hidrogen, atau interaksi molekuler lainnya. Interaksi ini mempengaruhi sifat-sifat termal dan mekanik kristal cair.
2. Reaktivitas: Kristal cair dapat menunjukkan reaktivitas kimia, meskipun biasanya kurang reaktif daripada cairan biasa. Ini karena adanya keteraturan dan susunan berpola yang mempengaruhi mobilitas molekul.
3. Titik Lebur dan Titik Beku: Kristal cair memiliki titik lebur dan titik beku yang lebih rendah daripada kristal padat karena molekul-molekul masih memiliki gerakan translasi.
4. Konduktivitas Listrik: Beberapa kristal cair, seperti kristal cair ionik, dapat menjadi konduktor listrik karena adanya ion-ion yang bergerak bebas di dalamnya.
5. Sifat Optik: Sifat optik kristal cair dapat dimanfaatkan dalam aplikasi teknologi, seperti tampilan cair kristal (LCD), di mana perubahan orientasi molekul mengontrol pola cahaya yang dilewatkan.

6.4 Pembentukan Material Kristal Cair

Pembentukan kristal cair melibatkan perubahan fase dari materi yang awalnya berada dalam bentuk cair menjadi fase yang memiliki sifat campuran antara cairan dan kristal padat. Proses pembentukan kristal cair dapat terjadi karena pengaruh perubahan suhu, tekanan, atau komposisi kimia. Berikut adalah beberapa tahap dalam pembentukan kristal cair secara rinci:

1. Tahap Cairan

Pada tahap awal, materi berada dalam bentuk cair, di mana partikel atau molekulnya memiliki kebebasan gerak yang tinggi. Molekul-molekulnya tidak memiliki susunan berpola atau teratur seperti dalam kristal.

2. Pembentukan Susunan Berpola Awal

Ketika suhu atau tekanan mulai berubah, beberapa molekul atau partikel dapat mulai membentuk susunan berpola awal. Susunan berpola ini mungkin hanya terbentuk secara acak dan belum teratur secara keseluruhan.

3. Nukleasi

Pada suhu atau tekanan tertentu, partikel-partikel tertentu dapat membentuk "nukleus" atau inti pertama dari susunan berpola yang lebih teratur. Nukleus ini merupakan pusat pertumbuhan bagi kristal cair yang akan terbentuk.

4. Pertumbuhan Kristal Cair

Setelah terbentuknya nukleus, partikel atau molekul lain mulai tertarik dan mengalami deposisi di sekitar nukleus tersebut. Partikel-partikel ini mengikuti pola atau orientasi yang sama, sehingga membentuk kisi kristal cair yang semakin besar.

5. Pengaturan Susunan Berpola

Selama pertumbuhan kristal cair, molekul atau partikel akan semakin tertarik satu sama lain dan mengikuti orientasi yang lebih teratur. Molekul-molekul tetangga saling menyusun diri dalam susunan berpola yang khas untuk kristal cair.

6. Mobilitas Molekuler

Walaupun kisi kristal cair sudah mulai terbentuk, molekul-molekul di dalamnya masih memiliki mobilitas yang lebih besar daripada kristal padat. Ini memungkinkan pergerakan translasi dari molekul-molekul dalam kristal cair.

7. Fase Kristal Cair Terbentuk

Setelah pertumbuhan dan pengaturan susunan berpola yang cukup, kristal cair terbentuk dengan susunan berpola yang

tetap, namun tetap mempertahankan mobilitas molekuler yang lebih besar daripada kristal padat.

Penting untuk diingat bahwa pembentukan kristal cair bisa sangat bergantung pada sifat kimia dan fisik dari materi yang terlibat, termasuk suhu, tekanan, dan komposisi kimianya (Tian *et al.*, 2023). Proses pembentukan kristal cair juga bisa menjadi sangat kompleks dan memerlukan kondisi tertentu untuk berhasil terjadi. Kristal cair merupakan fase materi yang menarik karena sifat uniknya dan peranannya dalam berbagai aplikasi teknologi.

6.5 Aplikasi Teknologi Material Kristal Cair

Kristal cair adalah materi yang memiliki sifat unik antara padat dan cair. Mereka dapat mengubah posisi molekulnya ketika dikenai medan listrik, dan perubahan ini mempengaruhi kemampuan cahaya untuk melewati bahan tersebut. Berikut adalah penjelasan mengenai aplikasi teknologi menggunakan kristal cair.

1. Layar LCD salah satu penggunaan paling umum dari kristal cair adalah dalam layar LCD yang digunakan pada perangkat elektronik seperti ponsel pintar, monitor komputer, televisi, kamera, dan banyak perangkat lainnya. Dalam layar LCD, dua lembar kaca tipis berisi lapisan kristal cair dihubungkan bersama. Kristal cair berada di antara dua lapisan pengatur polarisasi. Saat arus listrik diaplikasikan pada kristal cair, posisi molekul berubah, mengubah cahaya yang melewati lapisan, dan menciptakan gambar atau teks pada layar (Huang *et al.*, 2023).
2. Jam tangan pintar menggunakan teknologi layar LCD untuk menampilkan informasi seperti waktu, notifikasi, dan data lainnya.
3. Kalkulator modern menggunakan layar LCD karena hemat daya dan dapat menyajikan angka dan simbol dengan jelas.

4. Pengukur tekanan darah sebagai Alat medis seperti pengukur tekanan darah juga menggunakan layar LCD untuk menampilkan hasil pengukuran (Brown *et al.*, 2021).
5. Kamera digital dengan Layar LCD memungkinkan fotografer melihat gambar yang diambil sebelum menyimpannya atau melihat kembali gambar yang sudah diambil.
6. Proyektor juga menggunakan teknologi kristal cair untuk menciptakan gambar yang ditampilkan di layar.
7. Panel surya menggunakan kristal cair untuk meningkatkan efisiensi pengumpulan energi dari sinar matahari
8. Konsol game permainan portabel menggunakan layar LCD untuk menampilkan grafik permainan.

Keuntungan penggunaan teknologi kristal cair meliputi konsumsi daya yang rendah, kejernihan tampilan, kemampuan untuk menampilkan warna yang kaya, dan ketebalan yang relatif tipis. Namun, mereka juga memiliki beberapa keterbatasan, seperti sudut pandang yang terbatas dan respons waktu yang lebih lambat dibandingkan dengan teknologi tampilan lainnya seperti OLED (*Organic Light Emitting Diode*). Penggunaan teknologi kristal cair terus berkembang dan terus diperbaiki untuk memenuhi tuntutan pasar dan memungkinkan inovasi lebih lanjut dalam berbagai aplikasi (Cheng *et al.*, 2023).

6.6 Aplikasi Material Kristal Cair dalam Bioteknologi dan Industri

Dalam bioteknologi, aplikasi kristal cair (*liquid crystals*) telah menemukan berbagai penggunaan yang penting. Kristal cair adalah materi yang berada di antara keadaan padat dan cair, di mana molekulnya memiliki susunan tertentu yang teratur namun tetap memiliki sifat aliran seperti cairan. Aplikasi kristal cair dalam

bioteknologi termasuk penggunaan mereka dalam bidang-bidang berikut:

1. Teknologi Sensor

Kristal cair memiliki sensitivitas terhadap perubahan lingkungan tertentu, seperti suhu, tekanan, atau komposisi bahan. Mereka dapat diintegrasikan ke dalam sensor bioteknologi untuk mendeteksi perubahan kimia atau biologis tertentu. Misalnya, kristal cair telah digunakan dalam sensor deteksi biomolekul seperti DNA, protein, atau antigen tertentu. Perubahan dalam lingkungan di sekitar sensor dapat menyebabkan perubahan konformasi dalam kristal cair, yang kemudian dapat dideteksi dan diinterpretasikan sebagai respons terhadap target tertentu (Zhang *et al.*, 2023).

2. Transportasi obat

Kristal cair dapat digunakan sebagai sistem penghantaran obat yang inovatif. Molekul obat tertentu dapat terperangkap dalam matriks kristal cair dan dilepaskan secara terkontrol sesuai dengan perubahan lingkungan tertentu. Ini memungkinkan pengiriman obat yang lebih tepat sasaran dan mengoptimalkan efektivitas serta mengurangi efek samping yang tidak diinginkan (Stepulane *et al.*, 2023).

3. Biomaterial

Kristal cair dapat diubah menjadi biomaterial untuk mendukung pertumbuhan dan diferensiasi sel-sel tertentu. Mereka dapat membentuk struktur yang mendukung seperti matriks atau scaffolding yang digunakan dalam rekayasa jaringan dan regenerasi organ. Biomaterial berbasis kristal cair dapat membantu dalam proses penyembuhan luka, rekayasa organ, dan pengembangan terapi regeneratif lainnya (Blanco-Fernández *et al.*, 2023).

4. Teknologi Membran

Kristal cair dapat digunakan dalam teknologi membran di berbagai aplikasi bioteknologi. Membran kristal cair dapat membantu dalam pemisahan, pemurnian, dan filtrasi bahan-bahan biologis seperti protein, enzim, dan biomolekul lainnya. Sifat permeabilitas yang dapat diatur pada membran kristal cair memungkinkan selektivitas yang lebih baik dalam proses-proses ini (Marin San Roman *et al.*, 2022).

5. Bioelektronika

Kristal cair dapat digunakan dalam pengembangan perangkat bioelektronik, seperti tampilan biosensor, perangkat display, atau perangkat optoelektronik yang berhubungan dengan bioteknologi. Mereka dapat menangkap dan merespons perubahan sinyal biologis, sehingga mereka dapat digunakan dalam pemantauan kesehatan, analisis laboratorium, dan aplikasi medis lainnya (Lin *et al.*, 2022)

Aplikasi kristal cair dalam bioteknologi terus berkembang dengan pesat karena kemampuan unik mereka untuk beradaptasi dengan lingkungan dan merespons perubahan. Keterampilan ini menjadikan kristal cair sebagai alat yang menarik dan berpotensi untuk revolusi di berbagai bidang tidak hanya dalam bidang bioteknologi, akan tetapi dalam bidang industri (Patel *et al.*, 2023). Aplikasi kristal cair (*liquid crystals*) dalam industri sangat luas dan mencakup berbagai bidang. Kekhasan sifat kristal cair yang dapat beradaptasi dengan lingkungan sekitarnya telah membuatnya menjadi bahan yang sangat bernilai dalam berbagai aplikasi industri. Berikut adalah beberapa contoh penting dari aplikasi kristal cair dalam industri:

1. Teknologi Layar

Salah satu aplikasi kristal cair yang paling terkenal adalah dalam teknologi layar. Layar LCD (*Liquid Crystal Display*) adalah teknologi yang umum digunakan dalam perangkat elektronik konsumen, seperti televisi, monitor komputer, laptop, smartphone, dan banyak lagi (Roohani *et al.*, 2023). Kristal cair digunakan dalam lapisan tipis antara dua panel kaca untuk menciptakan gambar yang dapat diatur dengan mengatur arah cahaya yang melewati kristal cair. Teknologi layar ini memberikan gambar berkualitas tinggi dengan konsumsi daya yang lebih rendah, menjadikannya pilihan yang populer dalam berbagai perangkat elektronik.

2. Industri Optik

Kristal cair memiliki sifat optik yang dapat diubah, yang menjadikannya bahan yang berguna dalam berbagai aplikasi industri optik. Mereka digunakan dalam pembuatan filter optik, lensa variabel, dan modulator optik, yang memungkinkan pengaturan cahaya dan sinyal optik dengan presisi tinggi (Wang *et al.*, 2023).

3. Industri Farmasi

Aplikasi kristal cair dalam industri farmasi berkaitan dengan formulasi obat. Kristal cair telah digunakan sebagai bahan dalam beberapa bentuk sediaan obat, seperti gel, krim, dan sediaan semisolid lainnya. Selain itu, mereka juga dapat digunakan dalam teknologi pengiriman obat yang lebih canggih dan efisien.

4. Industri Kosmetik

Dalam industri kosmetik, kristal cair dapat digunakan dalam formulasi produk-produk seperti krim, losion, dan sediaan kosmetik lainnya. Mereka memberikan tekstur dan stabilitas pada produk, serta mampu menyediakan pengiriman bahan aktif ke dalam kulit dengan lebih efektif.

5. Industri Tekstil

Aplikasi kristal cair dalam industri tekstil mencakup produksi serat cair kristal untuk pembuatan kain fungsional. Serat cair kristal dapat memberikan sifat khusus seperti tahan air, tahan noda, atau kemampuan perubahan warna berdasarkan suhu, yang membuatnya bermanfaat dalam aplikasi pakaian olahraga, tekstil militer, dan produk fungsional lainnya.

6. Industri Elektronik

Selain aplikasi dalam layar, kristal cair juga digunakan dalam komponen elektronik lainnya. Mereka dapat diterapkan dalam pembuatan kapasitor dan switch yang dapat diatur, yang digunakan dalam berbagai perangkat elektronik dan sistem daya

7. Industri Energi

Dalam industri energi, kristal cair dapat digunakan dalam sensor suhu dan tekanan, yang relevan dalam aplikasi seperti pembangkit listrik, energi terbarukan, dan sistem kontrol energi lainnya (Terlicka *et al.*, 2023)

8. Industri Kimia

Aplikasi kristal cair dalam industri kimia meliputi penggunaannya sebagai katalis dalam reaksi kimia tertentu, karena mereka dapat mengubah sifat optik mereka sesuai dengan lingkungan sekitarnya (Blomstrand *et al.*, 2022)

Penggunaan kristal cair di atas adalah hanya beberapa contoh dari beragam aplikasi industri. Karena sifat unik mereka yang dapat diatur, kristal cair terus menjadi bahan yang menarik dan berpotensi dalam berbagai bidang industri, dengan pengembangan dan inovasi terus-menerus yang terjadi untuk mengoptimalkan manfaatnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Andrienko, D. 2018. "Introduction to liquid crystals", *Journal of Molecular Liquids*, Elsevier B.V., Vol. 267, pp. 520–541, doi: 10.1016/j.molliq.2018.01.175.
- Blanco-Fernández, G., Blanco-Fernandez, B., Fernández-Ferreiro, A. and Otero-Espinar, F.J. 2023. "Lipidic lyotropic liquid crystals: Insights on biomedical applications", *Advances in Colloid and Interface Science*, Elsevier B.V., 1 March, doi: 10.1016/j.cis.2023.102867.
- Blomstrand, E., Rajasekharan, A.K., Atefyekta, S. and Andersson, M. 2022. "Cross-linked lyotropic liquid crystal particles functionalized with antimicrobial peptides", *International Journal of Pharmaceutics*, Elsevier B.V., Vol. 627, doi: 10.1016/j.ijpharm.2022.122215.
- Brown, C.M., Dickinson, D.K.E. and Hands, P.J.W. 2021. "Diode pumping of liquid crystal lasers", *Optics and Laser Technology*, Elsevier Ltd, Vol. 140, doi: 10.1016/j.optlastec.2021.107080.
- Chandrasekar, V., Ren Lu, J. and Dierking, I. 2023. "Micro-scale viscosity measurements of different thermotropic and lyotropic classes of liquid crystals by using ferrofluid inclusions", *Journal of Molecular Liquids*, Elsevier B.V., Vol. 383, doi: 10.1016/j.molliq.2023.122178.
- Cheng, Z., Zhang, S., Su, H., Zhao, H., Su, G., Fang, M. and Wang, L. 2023. "Emerging organic contaminants of liquid crystal monomers: Environmental occurrence, recycling and removal technologies, toxicities and health risks", *Eco-Environment & Health*, Vol. 2 No. 3, pp. 131–141, doi: 10.1016/j.eehl.2023.07.002.

- Erkoreka, A., Martinez-Perdiguero, J., Mandle, R.J., Mertelj, A. and Sebastián, N. 2023. "Dielectric spectroscopy of a ferroelectric nematic liquid crystal and the effect of the sample thickness", *Journal of Molecular Liquids*, Elsevier B.V., Vol. 387, doi: 10.1016/j.molliq.2023.122566.
- Huang, Z., Tsui, G.C.-P., Yeung, K.-W., Li, C., Tang, C.-Y., Yang, M., Zhang, M., *et al.* 2023. "4D direct laser writing of photo-triggered liquid crystal elastomer microactuators with large actuation strain", *Materials & Design*, Elsevier BV, Vol. 232, p. 112101, doi: 10.1016/j.matdes.2023.112101.
- Lin, T., Zargar, O.A., Wang, Z.Q., Hu, S.C., Shih, Y.C. and Leggett, G. 2022. "Energy saving for an air conditioning system applied in a thin-film-transistor liquid-crystal display (TFT LCD) high-tech fabrication plant (Fab)", *International Journal of Thermofluids*, Elsevier B.V., Vol. 16, doi: 10.1016/j.ijft.2022.100210.
- Marin San Roman, P., Nijmeijer, K. and Sijbesma, R.P. 2022. "Sulfonated polymerized liquid crystal nanoporous membranes for water purification", *Journal of Membrane Science*, Elsevier B.V., Vol. 644, doi: 10.1016/j.memsci.2021.120097.
- Patel, T., Huang, J. and Krukiewicz, K. 2023. "Multifunctional organic monolayer-based coatings for implantable biosensors and bioelectronic devices: Review and perspectives", *Biosensors and Bioelectronics: X*, Elsevier Ltd, 1 September, doi: 10.1016/j.biosx.2023.100349.
- Percec, V. and Sahoo, D. 2022. "Discotic liquid crystals 45 years later. Dendronized discs and crowns increase liquid crystal complexity to columnar from spheres, cubic Frank-Kasper, liquid quasicrystals and memory-effect induced columnar-bundles", *Giant*, Elsevier B.V., 1 December, doi: 10.1016/j.giant.2022.100127.

- Roohani, I., Entezari, A. and Zreiqat, H. 2023. "Liquid crystal display technique (LCD) for high resolution 3D printing of triply periodic minimal surface lattices bioceramics", *Additive Manufacturing*, Elsevier B.V., Vol. 74, doi: 10.1016/j.addma.2023.103720.
- Stepulane, A., Ahlgren, K., Rodriguez-Palomo, A., Rajasekharan, A.K. and Andersson, M. 2023. "Lyotropic liquid crystal elastomers for drug delivery", *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, Elsevier B.V., Vol. 226, doi: 10.1016/j.colsurfb.2023.113304.
- Terlicka, S., Sobczak, N., Maj, D., Darłak, P. and Sobczak, J.J. 2023. "High-temperature interactions of liquid magnesium with a pure copper substrate", *Journal of Molecular Liquids*, Elsevier B.V., Vol. 387, doi: 10.1016/j.molliq.2023.122730.
- Tian, F., Cao, J. and Ma, W. 2023. "Enhanced thermal conductivity and rheological performance of epoxy and liquid crystal epoxy composites with filled Al₂O₃ compound", *Polymer Testing*, Elsevier Ltd, Vol. 120, doi: 10.1016/j.polymertesting.2023.107940.
- Wang, X., Mao, X., Chen, P., Du, Q., Yang, Y., Qiao, P., Zhang, S., *et al.* 2023. "Potassium tantalate niobate crystals: Efficient quadratic electro-optic materials and their laser modulation technology", *Journal of Materiomics*, Chinese Ceramic Society, doi: 10.1016/j.jmat.2023.02.006.
- Zhang, G., Elston, S.J., Schreier, A., Faulkner, G., Surampudi, A., O'Brien, D. and Morris, S.M. 2023. "Non-mechanical optical beam-steering of a liquid crystal laser", *Optics and Laser Technology*, Elsevier Ltd, Vol. 157, doi: 10.1016/j.optlastec.2022.108623.

BAB 7

MATERIAL BERPORI (POROUS MATERIAL) DAN MATERIAL BERLAPIS (LAYERED MATERIAL)

Oleh Yeslia Utubira

7.1 Material Berpori (*Porous Material*)

7.1.1 Pengertian Material Berpori

Material berpori (*Porous Material*) adalah jenis material atau padatan yang memiliki struktur mikroskopis terdiri dari rongga atau pori dengan porositas antara 0,2 dan 0,95 (Liu and Chen, 2014). Porositas adalah fraksi volume pori terhadap volume total padatan. Sifat fisik dan kimia material berpori dipengaruhi oleh ukuran, bentuk, dan distribusi pori. IUPAC mengklasifikasikan material berpori ke dalam tiga kategori: material mikropori (diameter pori kurang dari 2 nm), mesopori (diameter pori 2-50 nm), dan makropori (diameter pori lebih dari 50 nm). Pada material berpori, pori dapat berbentuk botol tinta, celah antara dua bidang paralel, atau silindris terbuka. Salah satu langkah penting dalam menemukan distribusi pori adalah menentukan model atau bentuk pori. Penentuan ini biasanya didasarkan pada pertimbangan struktur geometri material, misalkan model pori silindris untuk zeolit, dan model pori *slit shape* untuk lempung dan karbon aktif. Karbon, logam, polimer, dan lainnya adalah beberapa jenis material berpori yang memiliki sifat antaralain: ringan, permeabilitas tinggi, dan kapasitas adsorpsi yang besar sehingga cocok untuk berbagai aplikasi.

Material berpori telah digunakan secara luas sebagai katalis dan pengemban katalis dalam berbagai industri kimia, adsorben, penjernihan dan detoksifikasi air, elektroda sel elektrokimia, sensor, isolator, dan lainnya. Selain itu, juga memiliki potensi besar dalam bidang penyimpanan energi, seperti baterai dan superkapasitor, serta dalam teknologi pemisahan dan sensor. Sifat permukaan yang luas dari material berpori memungkinkan interaksi yang kuat dengan molekul, menjadikannya sangat efektif untuk adsorpsi dan katalisis, sebagai bahan dasar karena berfungsi sebagai *building block*.

7.1.2 Tipe Pori

Didasarkan pada ukuran dan morfologinya, material berpori memiliki berbagai jenis pori, masing-masing dengan karakteristik unik yang memengaruhi perilaku dan aplikasinya, konektivitas dan struktur pori sangat penting untuk menentukan sifat dan fungsinya. Berdasarkan morfologi dan konektivitasnya tipe atau jenis pori terbagi atas:

1. *Inter-connected Pore*

Pori *Inter-connected* juga dikenal sebagai pori interkoneksi, adalah jenis pori dalam material berpori yang memiliki jalur-jalur yang menghubungkan satu sama lain, sehingga membentuk jaringan pori yang panjang dan berliku-liku. Tipe *inter-connected* ini membuat luas permukaan padatan tersebut menjadi besar memungkinkan zat seperti cairan atau udara bergerak secara bebas melalui material, dengan kata lain karena adanya jalur-jalur ini, material memiliki sifat perpindahan zat yang lebih baik. Ini memungkinkan transport molekul melalui material dengan lebih efisien, contoh material yang memiliki *Inter-connected* pori adalah spon. Spon adalah benda berpori dengan banyak saluran pori terbuka yang menghubungkan satu sama lain, saat spon direndam dalam air, air dapat meresap ke dalam

semua saluran pori dan bergerak mengisi seluruh ruang pori dengan cepat. Hal ini terjadi karena adanya pori interkoneksi yang memungkinkan air untuk berpindah dari satu saluran pori ke yang lain (Davis and Masten, 2004). Zeolit juga memiliki struktur mikropori yang saling terhubung yang memungkinkan difusi molekul di dalam struktur kristalnya (Weitkamp, 2000)

2. *Passing Pore*

Pori ini memiliki dua bukaan dan melewati material dari satu sisi ke sisi lain, seperti saluran yang menghubungkan dua rongga atau ruang passing membentuk suatu lubang melewati partikel suatu padatan, seperti saluran. Sangat penting untuk penggunaan seperti membran pemisah atau membran filtrasi biasanya dirancang dengan pori yang dapat dilewati untuk memungkinkan aliran cairan atau gas melaluinya sambil menahan partikel atau molekul tertentu, aliran selektif melalui material sangat penting.

3. *Closed Pore* (Pori tertutup)

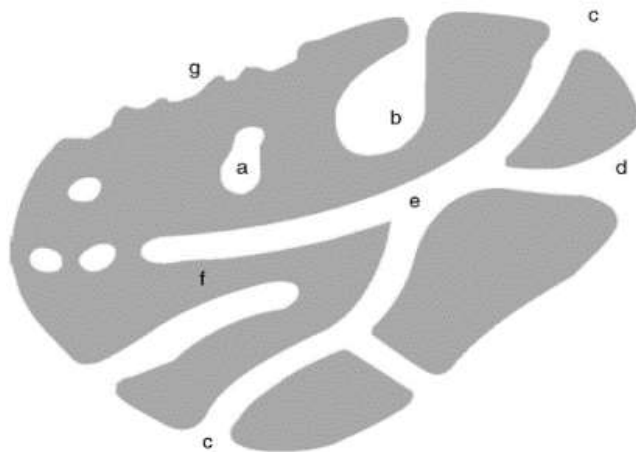
Pori tertutup (*Closed Pore*) tidak mempunyai mulut lubang, seperti rongga di dalam partikel padatan atau tidak terhubung dengan pori lain atau permukaan luar material. Keberadaan *closed pore* tidak dapat dianalisa dengan adsorpsi gas seperti tipe-tipe pori yang lain, sehingga tidak memperbesar maupun memperkecil luas partikel padatan tersebut. Banyak busa poliuretan memiliki kombinasi dari pori terbuka dan pori tertutup (*Closed Pore*), yang memberikan isolasi termal yang baik dan ketahanan mekanik.

4. *Dead end Pore*

Berbeda dengan pori passing yang memiliki dua mulut lubang, tipe pori *dead end* hanya memiliki satu mulut lubang. Pori ini berakhir di dalam partikel padatan. Pori-pori ini memiliki ujung yang tertutup atau buntu, yang berarti bahwa mereka

terbuka dari satu sisi tetapi tidak memiliki keluaran di sisi lain. Meskipun pori buntu dapat berpartisipasi dalam proses adsorpsi dan menyimpan molekul, mereka mungkin menghambat aliran fluida/zat melalui material. Dalam konteks filtrasi, pori buntu dapat menjadi tempat penumpukan kontaminan atau partikel yang dapat mengurangi efisiensi filtrasi. Beberapa jenis silika mesopori memiliki kombinasi pori yang saling terhubung dan pori buntu. Pori buntu ini dapat berfungsi sebagai situs adsorpsi tetapi tidak berkontribusi pada difusi molekul melalui material (Beck, Kresge and McCullen, 1995).

Jenis dan tipe pori untuk material berpori disajikan pada Gambar 7.1 berikut:



Gambar 7.1. Representasi Skema Penampang Material Padat berpori. (Sumber : Klobes *et al.*, 2006)

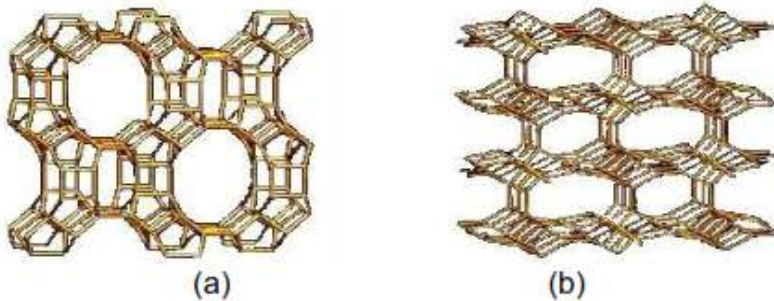
Berdasarkan gambar 7.1, pori-pori dapat memiliki bentuk yang berbeda-beda dan aksesibilitas terhadap gas atau cairan (Klobes, Meyer and Munro, 2006): (a) pori-pori tertutup terisolasi

dari pori-pori lainnya, (b) pori-pori yang berbentuk botol tinta tertutup hanya pada salah satu ujungnya, (c) pori-pori berbentuk silinder yang terbuka pada kedua ujungnya, (d) pori-pori terbuka berbentuk corong, (e) berbentuk silinder pori-pori terbuka yang saling berhubungan, dan (f) pori-pori berbentuk silinder yang terbuka hanya pada salah satu ujungnya.

7.2 Jenis-Jenis Material Berpori

7.2.1 Zeolit

Zeolit merupakan kristal aluminosilikat terhidrasi yang memiliki sifat dan struktur berpori serta bentuk kristal sangat teratur dengan rongga saling berhubungan ke segala arah sehingga luas permukaan zeolit sangat besar (Wijaya, 2002). Luas permukaan internal zeolit dapat mencapai puluhan bahkan ratusan kali lebih besar dibanding bagian permukaan luarnya, sehingga sangat menguntungkan dalam pemanfaatannya baik sebagai adsorben ataupun sebagai katalis heterogen. Zeolit alam mempunyai cukup banyak pori-pori yaitu 30% lebih dari volumenya namun bila dimanfaatkan memberikan hasil yang kurang maksimal jika tidak dimodifikasi terlebih dahulu (Derouane, 1985), hal ini dikarenakan zeolit masih mengandung pengotor (Las dkk, 2011). Beberapa jenis zeolit alam yang terkenal adalah mordenit, analcime, phillipsite, chabazite, heulandite, clinoptilolite, erionite, ferrierite, dan laumontite.



Gambar 7.2. Struktur mordenit (a) dan klinoptilolit (b).
(Sumber <https://www.zeolitechemistry.com/supplier>)

Sifat umum dari zeolit yaitu (Weitkamp, 2000):

1. Merupakan kristal yang agak lunak dengan berat jenis yang bervariasi antara 2-2,4.
2. Mudah melakukan pertukaran ion dari alkalinya dengan ion unsur lain.
3. Struktur mineralnya terdiri dari tetrahedral dan selalu berasosiasi dengan bahan-bahan disekitarnya.
4. Hampir semua permukaannya mempunyai sifat mengadsorpsi semua zat baik dalam bentuk cair maupun gas. Molekul-molekul pengganggu dari bahan-bahan tertentu diadsorpsi ke dalam pori-porinya.

Zeolit biasanya digunakan sebagai adsorben dan katalis pada suatu industri atau perusahaan. Zeolit alam pada umumnya memiliki stabilitas termal yang rendah, ukuran pori yang tidak seragam, serta aktivitas adsorpsi dan katalitik yang rendah. Oleh karena itu, perlu dilakukan modifikasi zeolit untuk meningkatkan sifat adsorpsi dan katalitiknya (Xu *et al.*, 2010). Jenis-jenis zeolit berdasarkan rasio Si/Al adalah sebagai berikut :

Tabel 7.1. Jenis – jenis zeolit berdasarkan rasio Si/Al

Rasio Si/Al	Jenis zeolit
Zeolit berkadar silika renda 1-1,5	A, X
Zeolit berkadar silika sedang 2-5	Y, L, Mordenit, Chabasit, Klinoptilolit, Omega, Erionit
Zeolit berkadar silika tinggi 10-400	<i>Dealuminated</i> Y dan Mordenit (rongga besar), H-ZSM-5

(Sumber: (Szostak R., 1989)

Manfaat Zeolit:

1. Pemurnian air: Zeolit digunakan dalam pemurnian air untuk menghilangkan kontaminan seperti logam berat, amonia, dan bahan organik. Zeolit juga dapat membantu menghilangkan bau dan rasa yang tidak diinginkan.
2. Pengeringan dan desorpsi: Zeolit memiliki kemampuan menyerap dan mengeluarkan air atau uap air. Oleh karena itu, zeolit digunakan dalam aplikasi pengeringan dan desorpsi seperti pengeringan udara, pengeringan dan penyimpanan makanan, serta pengeringan gas industri (Villa *et al.*, 2022).
3. Pertukaran ion: Kemampuan zeolit untuk melakukan pertukaran ion digunakan dalam proses pemurnian, pemulihan, dan pemisahan berbagai zat kimia dalam industri, seperti pemurnian minyak, pemulihan logam berat, dan pemisahan molekul-molekul tertentu (Noviarty, Anggraini and Nugroho, 2009)
4. Katalisis: Beberapa jenis zeolit dapat digunakan sebagai katalis dalam reaksi kimia. Struktur pori zeolit yang teratur dan luas permukaan yang besar memungkinkan interaksi yang efisien antara molekul reaktan, sehingga meningkatkan efisiensi reaksi (Meng *et al.*, 2017)

5. Adsorben: Beberapa jenis zeolit alam maupun sintetis dapat digunakan dalam proses adsorpsi logam berat, zat warna dari limbah industri tekstil dan lain-lain (Sofyanto, Sunarti, 2022)

7.2.2 Karbon Aktif

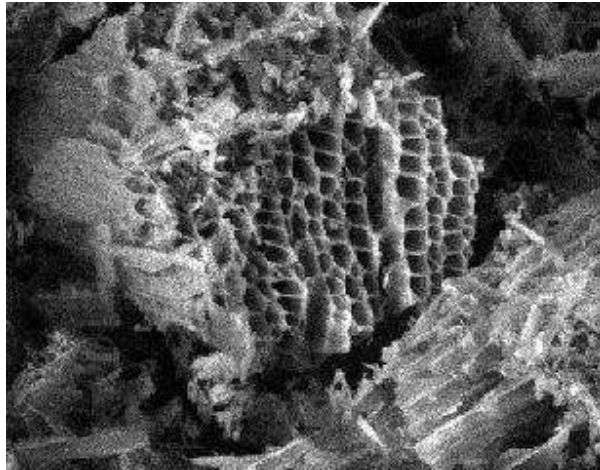
Jenis karbon yang memiliki struktur amorf dan luas permukaan internal yang besar serta tingkat porositas yang tinggi disebut karbon aktif. Karbon aktif memiliki dua bentuk yakni non-grafit dan mikrokristalin. Penggunaan karbon aktif dalam beberapa tahun terakhir mengalami peningkatan karena kinerjanya yang sangat baik dalam konduktivitas listrik, memiliki stabilitas termal yang tinggi serta dan reaktivitas permukaan. Secara umum karakteristik karbon aktif dapat dilihat dalam tabel 7.2.

Tabel 7.2. Karakteristik Karbon Aktif

Parameter	Ukuran
Luas Permukaan Spesifik, BET (m^2/g)	600-1500
Volume Total Pori (m^3/g)	0,6-1,8
Densitas	0,3 – 0,7
Ukuran granular :a Serbuk	0,05 – 0,1
b. Granular	0,1 -2
Persentase Abu (%)	2 – 10

Sumber:(Javier Sánchez, 2011)

Struktur karbon aktif memiliki ukuran pori mikropori, mesopori, dan makropori, tergantung pada kondisi saat disintesis. Ukuran pori ini memainkan peran penting dalam menentukan kinerjanya sebagai adsorben.



Gambar 7.3. Foto SEM Permukaan Pori-pori Karbon Aktif
(Sumber : https://water.mecc.edu/exam_prep/acarbon.html)

Struktur karbon mesopori berkaitan dengan susunan dan morfologi pori-porinya dengan ukuran pori di kisaran mesopori yaitu antara 2 hingga 50 nanometer. Struktur ini memberikan luas permukaan yang tinggi dan volume pori yang signifikan, yang membedakannya dari jenis karbon lain seperti karbon mikropori (dengan pori-pori berukuran kurang dari 2 nm) dan karbon makropori (dengan pori-pori berukuran lebih dari 50 nm). Karbon mesopori secara signifikan meningkatkan luas permukaan spesifik karena porositasnya dalam kisaran mesopori. Karbon mesopori memiliki keunggulan karena struktur pori yang teratur, luas permukaan yang besar, sangat inert, dan stabilitas termal yang tinggi (Qiao and Huo, 2017). Karbon mesopori berpori teratur berhasil disintesis pada awal tahun 1990 dengan menggunakan template padat yaitu dengan menambahkan sukrosa ke dalam MCM-48 sebagai cetakan lanjutan, yang menghasilkan karbonisasi dan pelepasan silika (Sakthivel *et al.*, 2007). Struktur karbon mesopori sangat bergantung pada metode sintesis dan kondisi yang digunakan. Misalnya, penggunaan template tertentu dapat

menghasilkan struktur pori yang spesifik, sementara aktivasi kimia dapat menghasilkan struktur dengan porositas yang lebih tinggi. Oleh karena itu, dengan mengendalikan kondisi sintesis, sifat-sifat struktural karbon mesopori dapat disesuaikan untuk aplikasi tertentu.

Aplikasi:

1. **Adsorpsi:** Karbon mesopori sering digunakan sebagai adsorben untuk berbagai molekul, termasuk gas dan logam berat, berkat luas permukaan yang tinggi dan volume pori yang besar
2. **Penyimpanan Energi:** Karbon mesopori digunakan sebagai elektroda dalam superkapasitor dan baterai karena konduktivitasnya yang baik dan struktur pori yang memungkinkan transport ion yang cepat.
3. **Katalisis:** Karbon mesopori dapat berfungsi sebagai pendukung katalis, meningkatkan dispersi katalis dan memungkinkan akses mudah ke situs aktif.
4. **Pemisahan:** Karbon mesopori dapat digunakan dalam kolom kromatografi dan proses pemisahan lainnya.
5. **Pengiriman Obat:** Struktur pori karbon mesopori memungkinkan muatan obat yang efisien, yang dapat dilepaskan secara terkontrol untuk aplikasi pengiriman obat.

7.2.3 Silika Mesopori

Silika dapat berasal dari silika mineral, silika nabati, atau sintesis kristal, dengan rumus molekul SiO_2 atau silikon dioksida. Silika merupakan material dengan struktur berpori yang berhubungan dengan luas permukaannya. Luas permukaannya lebih besar dikarenakan ukuran pori-porinya yang lebih kecil sehingga meningkatkan kemampuan adsorpsinya. Silika bersifat inert, sangat baik dalam pertukaran ion, Selain itu, silika memiliki kestabilan mekanik dan termal

yang tinggi, dan mudah diubah dengan beberapa senyawa kimia untuk meningkatkan kinerjanya. Proses pengikatan analit pada permukaan silika dapat diubah secara reversibel, sehingga dapat digunakan untuk pemisahan analit atau prekonsentrasi analit.

Silika sebagai material berpori memiliki banyak aplikasi dalam berbagai bidang, termasuk katalisis, adsorpsi, pemisahan, dan lain-lain. Material berpori berbasis silika, seperti silika gel dan mesoporous silika, memiliki pori-pori yang dapat menampung molekul-molekul kecil, memungkinkan interaksi antara permukaan silika dan molekul tersebut. Ada beberapa jenis silika berpori, termasuk silika gel, MCM-41, SBA-15, dan lain-lain, masing-masing memiliki karakteristik pori dan aplikasi yang berbeda. MCM-41 memiliki matriks silika yang mirip dengan sarang lebah, struktur pori heksagonal teratur dengan pori-pori silindris yang teratur, ukuran diameter porinya 1,5 hingga 10 nm (Kim, Balathanigaimani and Moon, 2015) . MCM-41 digunakan dalam berbagai aplikasi termasuk katalisis, adsorpsi, dan penyerapan obat yang dikendalikan karena material ini memiliki tekstur yang baik (Ali *et al.*, 2020), ukuran pori sempit terstruktur, luas permukaan spesifik yang besar ($700\text{--}1100\text{ m}^2\text{g}^{-1}$), stabilitas termal yang baik, sifat yang relatif hidrofobik, dan banyak gugus silanol (-Si-OH) (Shariatnia and Zahraee, 2017).

SBA-15 memiliki struktur heksagonal teratur seperti MCM-41, tetapi dindingnya lebih tebal, sehingga memberikan stabilitas mekanik yang lebih baik. Ukuran pori SBA-15 lebih besar dibandingkan dengan MCM-41, biasanya berkisar antara 5-30 nm (Zhao *et al.*, 1998). Karena dindingnya yang tebal dan stabilitasnya yang tinggi, SBA-15 sering digunakan dalam aplikasi yang memerlukan stabilitas termal dan mekanik yang lebih tinggi, seperti katalisis di bawah kondisi reaktif yang ekstrim (Huirache-Acuña *et al.*, 2013).

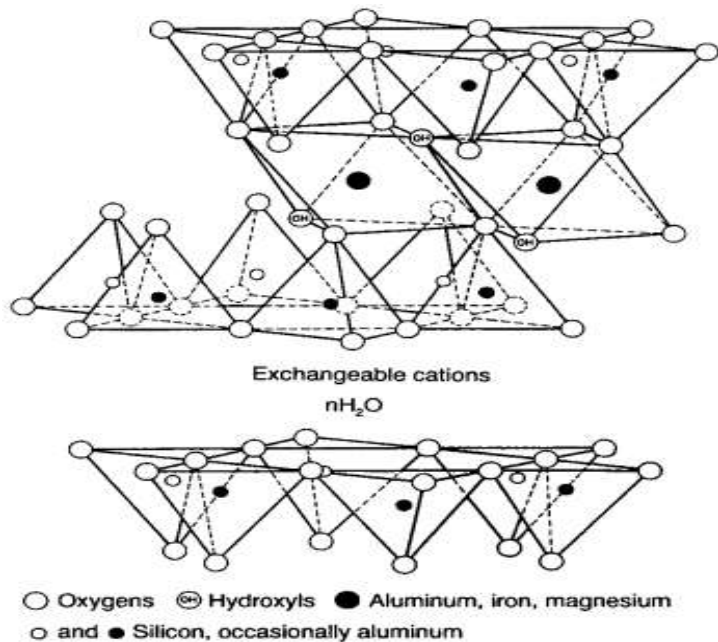
7.3 Material Berlapis (Layered Material)

7.3.1 Pengertian material berlapis (Layered Material)

Material berlapis atau *Layered Material* merupakan material yang berstruktur lapis serta memiliki berbagai lapisan berbeda yang disusun secara berurutan atau disatukan menjadi satu kesatuan. Lapisan-lapisan ini bekerja sama untuk memberikan kombinasi sifat dan fungsi, seperti meningkatkan kekuatan, ketahanan, konduktivitas. Terdapat dua jenis bahan berstruktur lapis antarlain bahan anorganik berlapis dan bahan organik berlapis. Lempung atau *clay* adalah salah satu contoh bahan berlapis yang memiliki kemampuan untuk menginterkalasi ion, senyawa organik, atau senyawa anorganik.

7.3.2 Lempung

Salah satu fraksi anorganik tanah adalah mineral lempung, yang ukuran partikelnya kurang dari 2 mikrometer, struktur dasarnya terdiri dari lembar alumina oktahedral dan silika tetrahedral. Mineral yang paling penting dalam lempung adalah mineral filosilikat yang memiliki struktur lapis, (Tan, 1982). Lempung Montmorillonit berstruktur lapis dengan tipe 2:1 terdiri dari lapisan silikat bermuatan negatif dengan kation-kation di dalamnya yang dapat dipertukarkan (*exchangeable cations*), bersifat mudah mengembang (*swelling*), memiliki luas permukaan dan dapat diinterkalasi.



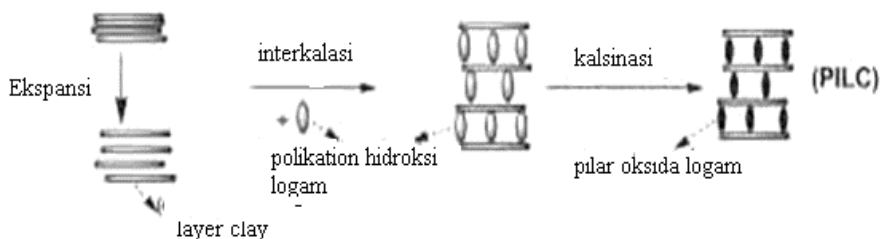
Gambar 7.4. Struktur lempung montmorillonit
(Sumber : (Ohtsuka, 1997))

Struktur montmorillonit tiga dimensi ditunjukkan pada Gambar 7.3 menunjukkan bahwa struktur montmorillonit terdiri dari dua lembar tetrahedral silika dan satu lembar oktahedral alumina dipusatnya. Lembaran tetrahedral dan oktahedral saling terikat, membentuk lapisan yang bertumpuk satu sama lain. Jarak dasar (d_{001}) montmorillonit meningkat karena komponen di lapisan tidak terikat dengan kuat, akibatnya jika lapisan mineral bersentuhan dengan air, ruang di antaranya akan mengembang (*swelling*) sehingga meningkatkan volume liat. Untuk meningkatkan kinerja dalam aplikasinya maka perlu dilakukan modifikasi terhadap material montmorillonit baik secara fisik melalui aktivasi secara thermal ataupun secara kimia menggunakan larutan asam atau basa misalnya asam sulfat, KOH

dan lainnya, hal ini dilakukan untuk menghilangkan impuritis pada antarlapisnya (Bijang, Sekewael and Koritelu, 2014). Modifikasi montmorillonit dapat juga dilakukan melalui teknik pilarisasi pada antarlapisnya menggunakan oksida logam misalnya ZrO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 dan sebagainga (Utubira *et al.*, 2016);(Utubira, Onaola and Manuhutu, 2020).

7.3.3 Lempung terpillar

Lempung terpillar (*Pillared Clay*) merupakan turunan montmorillonit yang kation-kationnya telah ditukar dengan kation yang berukuran lebih besar, sehingga terbentuk material berstruktur pori dengan sifat fisiko kimiawi yang baik Adapun konsep dasar pemilaran meliputi dua langkah. Langkah pertama adalah pertukaran kation yang berukuran kecil dengan kation yang berukuran lebih besar yang berperan sebagai agen pemilar melalui proses interkalasi, polioksokation logam misalnya polioksokation $\text{Zr} [\text{Zr}(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}]_4^{8+}$ (Utubira *et al.*, 2018) merupakan agen pemilar yang stabil terhadap panas. Selain zirconia, alumina juga merupakan agen pemilar yang sangat baik karena Langkah kedua, kalsinasi yang dimaksudkan untuk merubah interkalat menjadi pilar oksida logam yang stabil dan terikat pada lapisan lempung melalui ikatan kovalen koordinasi.



Gambar 7.5. Representasi pembentukan lempung terpillar
Sumber:(Pires, 2014)

Pilarisasi lempung alam dengan zirconia maupun alumina menghasilkan material dengan pori berukuran mesopori maupun mikropori sehingga dapat dimanfaatkan dalam berbagai aplikasi misalnya dalam adsorpsi zat warna *methyl red* menggunakan Lempung alam terpillar Al_2O_3 . Hasil adsorpsinya diperoleh bahwa lempung terpillar Al_2O_3 memiliki efisiensi adsorpsinya sebesar 84% dan kapasitas adsorpsinya 2,545 mg/g dalam waktu 5 menit (Utubira, Onaola and Manuhutu, 2020). Dalam aplikasinya sebagai katalis juga sangat baik untuk produksi biodiesel dari minyak kelapa sawit dengan *yield* biodiesel yang dihasilkan sebesar 81% menggunakan katalis basa heterogen KOH yang terimpregnasi pada lempung terpillar ZrO_2 (Utubira *et al.*, 2018).

7.3.4 Material Berlapis Anorganik

1. Lapisan Mangan Oksida

Mangan Oksida memiliki struktur berlapis yang terdiri dari lapisan-lapisan atom mangan yang dihubungkan melalui oksigen. Struktur ini sering kali dapat diwakili oleh rumus kimia umum " MnO_2 ", yang menunjukkan bahwa ada satu atom mangan untuk setiap dua atom oksigen (Sun *et al.*, 2023). Namun, dalam kenyataannya, struktur ini lebih kompleks daripada MnO_2 tunggal, dan lapisan-lapisan atom mangan dan oksigen dapat diatur dalam berbagai cara. Ada berbagai jenis struktur berlapis yang dapat dibentuk oleh senyawa berbasis mangan oksida, seperti:

- a. **Ramsdellite ($\delta\text{-MnO}_2$):** Struktur ini terdiri dari lapisan oktahedral atom mangan yang terhubung oleh oksigen. Struktur ini dikenal karena keberadaan saluran untuk ion dan molekul yang dapat memasuki dan keluar dari lapisan.
- b. **Pyrolusite ($\beta\text{-MnO}_2$):** Ini juga merupakan struktur berlapis yang serupa dengan Ramsdellite, tetapi dengan susunan atom yang berbeda.

- c. **Hollandite:** Struktur ini memiliki susunan yang lebih kompleks dengan saluran yang lebih luas, memungkinkan difusi ion dan molekul yang lebih besar. Ini dapat menghasilkan sifat elektrokatalisis yang menarik.
- d. **Birnessite:** Ini adalah contoh lain dari struktur berlapis, tetapi dengan lapisan yang lebih tebal dan lebih rumit, sering kali mengandung ion seperti kalsium dan potasium.

Mangan Oksida dapat diaplikasikan sebagai katalis dalam reaksi reduksi dan oksidasi serta reaksi kimia lainnya misalnya oksigenasi dan dehidrogenasi, digunakan dalam baterai sebagai katoda, terutama dalam baterai-ion litium serta adsorben dalam mengadsorpsi ion logam pada lapisannya.

2. Lapisan Zirkonium Phosphat dan Phosphonat

Merupakan kelas material anorganik yang memiliki struktur berlapis yang terdiri dari unsur zirkonium (Zr), fosfor (P), dan oksigen (O), serta dalam beberapa kasus, fosfonat (senyawa kimia yang mengandung gugus $-PO_3H_2$). Tiap lapisan terdiri dari koordinasi oktahedral atau heksagonal atom-atom zirkonium yang dihubungkan oleh gugus fosfat atau fosfonat

Layered α -Zirconium Phosphates: Ini adalah material yang mengandung gugus fosfat ($-PO_4$) dalam lapisan-lapisannya. Struktur ini memiliki kemiripan dengan mineral alami seperti wavellite dan variscite (Ahmad *et al.*, 2015)(Mosby, Díaz and Clearfield, 2014).

Layered α -Zirconium Phosphonates: Material ini menggantikan gugus fosfat dengan gugus fosfonat ($-PO_3H_2$) dalam struktur berlapisnya. Ini menghasilkan sifat-sifat unik dan aplikasi yang berbeda, Material ini menampilkan sifat unik yang membuatnya berguna dalam berbagai aplikasi, termasuk katalisis, pertukaran ion, pembawa obat dan penyimpanan gas, (Dutta and Dutta, 2014)

7.3.5 Material Berlapis Organik

Material Organik berstruktur lapis dapat disintesis melalui tahapan yang mencakup pemilihan substrat dan pengikatannya dengan suatu reseptor, dengan menggunakan interaksi - interaksi lemah seperti ikatan hidrogen, van der Waals, dan dipol-dipol antara kedua spesies berfungsi sebagai pengikat. Salah satu contoh material organik berstruktur lapis yang berhasil dibuat yaitu garam onium imidazolium dimesylamidat yang memiliki titik lebur 120-122°C dengan mereaksikan ri senyawa imidazol dan dimesylamina pada suhu kamar menggunakan pelarut methanol yang menghasilkan produk Kristal tunggal setelah didinginkan pada suhu -30 °C selama beberapa hari (Wijaya, 2002)

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, A. *et al.* 2015. 'Recent advances in new generation dye removal technologies: novel search for approaches to reprocess wastewater'. doi: 10.1039/c4ra16959j.
- Ali, R. M. *et al.* 2020. 'Pengaruh Jenis Adsorben terhadap Efektifitas Penurunan Kadar Timbal Limbah Cair Recycle Aki Bekas', *Jurnal Teknologi Universitas Muhammadiyah Jakarta*, 12(1), pp. 87–92. Available at: <https://dx.doi.org/10.24853/jurtek.12.1.87-92>.
- Beck, J. S., Kresge, C. T. and McCullen, S. B. 1995. *Porous materials, Zeolites*. doi: 10.1016/0144-2449(95)99128-A.
- Bijang, C. M., Sekewael, S. J. and Koritelu, J. A. 2014. 'Base Activated Clay And Its Application As Cation Exchanger To Reduce The Mg^{2+} and Ca^{2+} Ions Concentration In The Well Water', *Indonesian Journal Of Chemical Research*, 1(2), pp. 93–98.
- Davis, M. L. and Masten, S. J. 2004. *Principles of Environmental Engineering and Science McGraw-Hill Companies, Inc.: New York*.
- Dutta, D. and Dutta, D. K. 2014. 'Selective and efficient hydrogenation of halonitrobenzene catalyzed by clay supported Nio-nanoparticles', *Applied Catalysis A: General*. Elsevier B.V., 487, pp. 158–164. doi: 10.1016/j.apcata.2014.09.004.
- Huirache-Acuña, R. *et al.* 2013. 'SBA-15 Mesoporous Silica as Catalytic Support for Hydrodesulfurization Catalysts—Review', *Materials*, 6(9), pp. 4139–4167. doi: 10.3390/ma6094139.
- Javier Sánchez, A. 2011. 'Characterization of activated carbon produced from coffee residues by chemical and physical activation.', *KTH Chemical Science and Engineering*, (March), p. 66.

- Kim, J. Y., Balathanigaimani, M. S. and Moon, H. 2015. 'Adsorptive Removal of Nitrate and Phosphate Using MCM-48, SBA-15, Chitosan, and Volcanic Pumice', *Water, Air, and Soil Pollution*, 226(12). doi: 10.1007/s11270-015-2692-z.
- Klobes, P., Meyer, K. and Munro, R. G. 2006. 'Porosity and Specific Surface Area Measurements for Solid Materials', *Materials Science*, 960–17, p. 79. Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22544181>.
- Liu, P. S. and Chen, G. F. 2014. 'General Introduction to Porous Materials', *Porous Materials*, pp. 1–20. doi: 10.1016/b978-0-12-407788-1.00001-0.
- Meng, T. *et al.* 2017. 'Effect of the Si/Al ratios of nanocrystalline HZSM-5 zeolite on the performance in catalytic conversion of ethanol to propylene', *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 17(6), pp. 3779–3785. doi: 10.1166/jnn.2017.13992.
- Mosby, B. M., Díaz, A. and Clearfield, A. 2014. 'Surface modification of layered zirconium phosphates: A novel pathway to multifunctional materials', *Dalton Transactions*, 43(27), pp. 10328–10339. doi: 10.1039/c4dt00613e.
- Noviarty, N., Anggraini, D. and Nugroho, A. 2009. 'Cs Ion Exchange Capacity of Zeolite Bayah, Lampung, and Tasikmalaya', *Jurnal Zeolit Indonesia*, 8(1), pp. 39–43. Available at: <https://www.neliti.com/id/publications/219549/cs-ion-exchange-capacity-of-zeolite-bayah-lampung-and-tasikmalaya>.
- Ohtsuka, K. 1997. 'Preparation and Properties of Two-Dimensional Microporous Pillared Interlayered Solids', *Chemistry of Materials*, 9(10), pp. 2039–2050. doi: 10.1021/cm9605227.
- Pires, João. 2014. 'No Title', *Quim. Nova*, 37(1), pp. 982–988.
- Qiao, Z. and Huo, Q. 2017. 'Chapter 15 – Synthetic Chemistry of the Inorganic Ordered Porous Materials', in. Available at: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:99619052>.

- Sakthivel, A. *et al.* 2007. 'Esterification of glycerol by lauric acid over aluminium and zirconium containing mesoporous molecular sieves in supercritical carbon dioxide medium', 42, pp. 219–225. doi: 10.1016/j.supflu.2007.03.012.
- Shariatnia, Z. and Zahraee, Z. 2017. 'Controlled release of metformin from chitosan-based nanocomposite films containing mesoporous MCM-41 nanoparticles as novel drug delivery systems', *Journal of Colloid and Interface Science*. Elsevier Inc., 501, pp. 60–76. doi: 10.1016/j.jcis.2017.04.036.
- Sofyanto, Sunarti, Y. U. 2022. 'Adsorben Untuk Menurunkan Kadar Bod Dan Cod Limbah Cair', 12(2), pp. 128–135.
- Sun, X. *et al.* 2023. 'Preparation of layered manganese dioxide nanoparticles by microwave discharge in liquid: a simple, rapid and direct synthetic method', *Journal of Physics D: Applied Physics*. IOP Publishing, 56(43), p. 435201. doi: 10.1088/1361-6463/ace838.
- Szostak R. 1989. 'Molecular sieves — principles of synthesis and identification', *Journal of Molecular Structure*, 213, p. 325. doi: 10.1016/0022-2860(89)85137-3.
- Utubira, Y. *et al.* 2016. 'Microwave assisted preparation of zirconia-pillared bentonite', *International Journal of ChemTech Research*, 9(4), pp. 475–482.
- Utubira, Y. *et al.* 2018. 'Kalium hydroxide/zirconia pillared bentonite for palm oil transesterification', *Oriental Journal of Chemistry*, 34(3), pp. 1484–1491. doi: 10.13005/ojc/340339.
- Utubira, Y., Onaola, B. M. and Manuhutu, J. B. 2020. 'PILARISASI LEMPUNG ALAM DESA OUW DENGAN Al₂O₃ SEBAGAI ADSORBEN ZAT WARNA METIL ORANGE', *Molucca Journal of Chemistry Education (MJoCE)*, 10(1), pp. 63–71. doi: 10.30598/mjocevol10iss1pp63-71.

- Villa, C. C. *et al.* 2022. 'Zeolites for food applications: A review', *Food Bioscience*, 46, p. 101577. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.101577>.
- Weitkamp, J. 2000. 'Zeolites and catalysis Jens', *Solid State Ionics* 1, 131(3), pp. 175–188. doi: 1016/S0167-2738(00)00632-9.
- Wijaya, K. 2002. 'Bahan Berlapis dan Berpori sebagai Bahan Multifungsi', *Indonesian Journal of Chemistry*, 2(3), pp. 142–154.
- Xu, R. *et al.* 2010. *Chemistry of Zeolites and Related Porous Materials: Synthesis and Structure*, *Chemistry of Zeolites and Related Porous Materials: Synthesis and Structure*. doi: 10.1002/9780470822371.
- Zhao, D. *et al.* 1998. 'Triblock copolymer syntheses of mesoporous silica with periodic 50 to 300 angstrom pores', *Science*, 279(5350), pp. 548–552. doi: 10.1126/science.279.5350.548.

BAB 8

MATERIAL MAGNETIK, DIELEKTRIK, DAN OPTIK

Oleh Fahmy Rinanda Saputri

8.1 Pendahuluan

Material magnetik, dielektrik, dan optik adalah komponen utama dalam kerangka kerja ilmu kimia material yang mendalam. Dalam bab ini, kami akan memperkenalkan Anda pada aspek-aspek fundamental dari sifat-sifat material yang berkaitan dengan magnetisme, dielektrisitas, dan optik. Sifat-sifat ini tidak hanya memainkan peran penting dalam dunia ilmu pengetahuan, tetapi juga dalam aplikasi teknologi yang luas, seperti perangkat elektronik, komunikasi, energi terbarukan, dan banyak lagi.

Magnetisme adalah fenomena yang sudah lama memikat perhatian manusia. Dalam bab ini, kita akan menjelajahi bagaimana material-material dapat memperlihatkan sifat-sifat magnetik, mulai dari magnet permanen yang kita temukan dalam peralatan sehari-hari hingga material-material superkonduktor yang mengubah paradigma dalam penyimpanan energi. Kami juga akan membahas bagaimana sifat magnetik dapat dianalisis dan dimanfaatkan dalam berbagai aplikasi teknologi.

Selanjutnya, dielektrik atau isolator listrik adalah jenis material yang memiliki sifat-sifat unik dalam menghantarkan medan listrik dan berpotensi dalam penyimpanan energi. Kami akan menyelidiki bagaimana sifat dielektrik ini dapat dimanfaatkan dalam pembuatan kapasitor, insulator, dan perangkat elektronik lainnya. Kami juga akan mendiskusikan konsep-konsep seperti

permitivitas dan konduktivitas yang mendasari sifat-sifat dielektrik ini.

Terakhir, optik berkaitan dengan cara cahaya berinteraksi dengan materi. Dalam bab ini, kita akan memahami prinsip-prinsip dasar pembiasan, pembelokan, dan pemantulan cahaya. Kami akan melihat bagaimana lensa, serat optik, dan alat-deteksi optik menggabungkan sifat-sifat material untuk mencapai tujuan spesifik dalam bidang optik yang terus berkembang.

Melalui pemahaman mendalam tentang sifat-sifat material magnetik, dielektrik, dan optik, kita akan dapat merancang material-material baru yang memiliki aplikasi inovatif di berbagai bidang. Bab ini akan memberikan fondasi yang kuat untuk memahami bagaimana kimia material berperan dalam pengembangan teknologi masa depan yang menarik. Mari kita mulai dengan memahami dasar-dasar penting ini.

8.2 Material Magnetik

Material magnetik adalah jenis material yang memiliki sifat-sifat khusus yang memungkinkan mereka berinteraksi dengan medan magnet (Zainul, 2021). Salah satu karakteristik utama dari material magnetik adalah kemampuannya untuk menjadi magnet atau untuk merespons medan magnet eksternal. Sifat ini berasal dari tingkat atomik atau molekuler dalam material tersebut.

Secara mikroskopis, material magnetik memiliki momen magnetik atom-atom yang dapat disusun secara teratur. Ketika momen-momen ini diorientasikan secara seragam, material tersebut menjadi magnet dan dapat menghasilkan medan magnet yang dapat memengaruhi material lain di sekitarnya. Sifat ini disebut sebagai magnetisasi intrinsik.

Selain itu, material magnetik juga memiliki kemampuan untuk mempertahankan magnetisasi setelah medan magnet eksternal dihilangkan. Ini disebut retensi magnetik atau

koersivitas. Material dengan koersivitas tinggi akan tetap menjadi magnet setelah medan magnet eksternal dihapus.

Material magnetik memiliki banyak aplikasi dalam berbagai bidang. Mereka digunakan dalam pembuatan perangkat elektronik seperti komputer dan telepon seluler, peralatan listrik seperti generator dan transformator, serta dalam berbagai peralatan medis dan industri lainnya. Selain itu, material magnetik juga penting dalam penelitian ilmiah dan eksperimen fisika terkait magnetisme.

Klasifikasi material magnetik mencakup beberapa jenis, seperti ferromagnetik, ferimagnetik, antiferromagnetik, paramagnetik, dan diamagnetik, masing-masing dengan sifat-sifat magnetik yang unik. Pemahaman mendalam tentang sifat-sifat material magnetik sangat penting dalam pengembangan teknologi modern dan terus berperan dalam inovasi dalam berbagai aplikasi teknologi dan industri.

8.2.1 Klasifikasi Material Magnetik

Material magnetik dapat diklasifikasikan ke dalam beberapa jenis berdasarkan respons mereka terhadap medan magnetik. Berikut adalah klasifikasi umum material magnetik:

1. **Ferromagnetik:** Material ferromagnetik adalah jenis material magnetik yang memiliki momen magnetik yang teratur dan sangat kuat ketika dihadapkan pada medan magnet eksternal. Mereka juga memiliki retensi magnetik yang tinggi, yang berarti mereka tetap menjadi magnet setelah medan magnet dihilangkan. Contoh material ferromagnetik termasuk besi, nikel, kobalt, dan sebagian besar paduan besi-nikel.
2. **Ferimagnetik:** Material ferimagnetik memiliki sifat serupa dengan ferromagnetik, tetapi momen magnetik atom dalam material ini lebih teratur diatur. Ini menghasilkan sifat magnetik yang lebih lemah daripada ferromagnetik. Contoh material ferimagnetik termasuk oksida besi (seperti magnetit) dan beberapa logam seperti mangan.

3. Antiferromagnetik: Material antiferromagnetik memiliki dua set momen magnetik yang berlawanan, sehingga mereka secara keseluruhan netral secara magnetik. Ini berarti bahwa mereka cenderung membatalkan satu sama lain dan tidak menunjukkan sifat magnetik yang kuat ketika tidak ada medan magnet eksternal. Contoh material antiferromagnetik termasuk mangan oksida.
4. Ferromagnetik Berorientasi Uniaxial: Jenis material ferromagnetik ini memiliki satu arah preferensial yang lebih kuat untuk magnetisasi daripada arah lain. Mereka sering digunakan dalam aplikasi seperti pembacaan dan penulisan pada media penyimpanan data, seperti hard drive komputer.
5. Paramagnetik: Material paramagnetik memiliki momen magnetik yang berorientasi secara acak saat tidak ada medan magnet eksternal. Namun, ketika ditempatkan dalam medan magnet, momen-momen ini akan mengalami orientasi sejalan dengan medan tersebut. Sifat paramagnetik umumnya lemah, dan momen magnetik kembali ke orientasi acak setelah medan magnet dihapus. Contoh material paramagnetik termasuk aluminium, platina, dan oksigen.
6. Diamagnetik: Material diamagnetik memiliki momen magnetik yang berlawanan dengan medan magnet eksternal. Mereka cenderung "menghindar" dari medan magnet, menghasilkan respons magnetik yang lemah. Semua material memiliki sifat diamagnetik, tetapi sifat ini sangat lemah dalam sebagian besar material. Sebagai contoh, air dan sebagian besar bahan organik adalah diamagnetik.
7. Superkonduktor: Material superkonduktor adalah jenis khusus material yang pada suhu tertentu (biasanya sangat rendah) kehilangan resistivitas listrik sepenuhnya dan juga menunjukkan sifat magnetik yang unik. Mereka dapat mengusir medan magnet sepenuhnya (efek Meissner) ketika digunakan dalam kondisi superkonduktif.

8.2.2 Magnetisme Dasar

Magnetisme dasar adalah sifat dasar yang dimiliki oleh material yang memungkinkannya untuk merespons terhadap medan magnet eksternal atau bahkan menjadi magnet sendiri. Ini adalah salah satu sifat fundamental dalam ilmu fisika dan bahan yang telah dipelajari selama berabad-abad. Magnetisme sangat penting dalam berbagai aspek kehidupan sehari-hari, dari pembuatan perangkat elektronik hingga pengembangan teknologi medis.

Sifat magnetisme ada dalam berbagai tingkat dan jenis pada berbagai material. Beberapa material mungkin hanya memiliki sedikit reaktivitas magnetik, sementara yang lain bisa sangat responsif terhadap medan magnet. Tingkat magnetisme sebuah material tergantung pada struktur dan sifat atomik atau molekulnya. Dengan demikian, kita dapat menemui material yang bersifat magnetik dalam berbagai derajat, mulai dari yang sangat lemah hingga yang sangat kuat.

Material dapat dibagi menjadi dua kategori utama berdasarkan magnetisme mereka: magnet permanen dan magnet sementara. Magnet permanen adalah material yang akan tetap memiliki magnetisme bahkan setelah medan magnetik eksternal dihapus. Contoh paling umum adalah magnet batang atau magnet lemari es. Di sisi lain, magnet sementara adalah material yang hanya memiliki magnetisme selama dipengaruhi oleh medan magnetik eksternal. Banyak bahan logam, seperti besi, bisa menjadi magnet sementara ketika terkena medan magnetik, tetapi kehilangan sifat magnetismenya begitu medan magnet dihapus. Pemahaman tentang berbagai jenis magnetisme ini adalah kunci untuk berbagai aplikasi dalam teknologi dan ilmu pengetahuan.

8.2.3 Permeabilitas Magnetik

Permeabilitas magnetik adalah sifat materi yang mengukur kemampuannya untuk mengalirkan atau menghambat aliran medan magnetik. Permeabilitas tinggi menunjukkan bahwa materi lebih mudah ditembus oleh medan magnetik dan memiliki konduktivitas magnetik yang baik, sedangkan permeabilitas rendah mengindikasikan bahwa materi lebih resisten terhadap medan magnetik. Material ferromagnetik adalah contoh unik dengan permeabilitas sangat tinggi dalam kondisi tertentu. Ini memungkinkan mereka menjadi magnet permanen, yang dapat mempertahankan magnetisme bahkan setelah medan magnetik eksternal dihapus. Permeabilitas magnetik adalah parameter penting dalam pemahaman sifat-sifat material magnetik dan perancangan perangkat elektronik seperti transformator.

Permeabilitas suatu benda dapat didapatkn dengan menggunakan persamaan:

$$\mu = \mu_r \cdot \mu_o$$

dengan:

μ = permeabilitas suatu benda

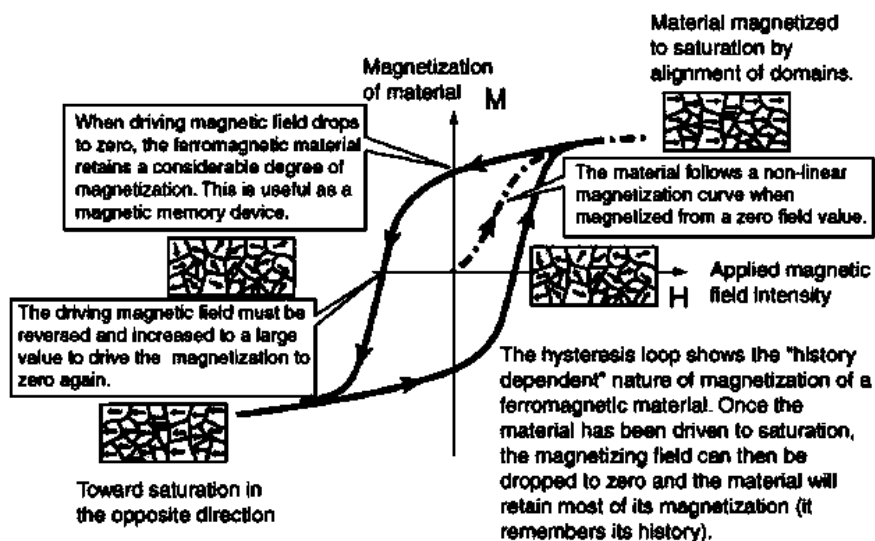
μ_r = permeabilitas relatif

μ_o = permeabilitas udara

8.2.4 Kurva Histeresis Magnetik

Kurva Histeresis Magnetik adalah grafik yang menggambarkan respons magnetik suatu material terhadap perubahan medan magnetik eksternal. Grafik ini memetakan perubahan magnetisasi material, yang juga dikenal sebagai induksi magnetik, sebagai fungsi dari medan magnetik yang diberikan. Kurva histeresis berguna untuk memahami perilaku material ferromagnetik, yang cenderung menjadi magnet permanen. Di dalam kurva ini, terdapat dua parameter penting, yaitu koersivitas dan reluktansi. Koersivitas adalah kekuatan yang diperlukan untuk menghapus magnetisme dalam material, sedangkan reluktansi

adalah resistensi material terhadap perubahan dalam medan magnetik. Dengan memahami kurva histeresis, kita dapat merancang dan mengendalikan perangkat magnetik dengan lebih efektif, seperti transformator dan komponen elektronik lainnya yang menggunakan sifat material ferromagnetik.



Gambar 8.1. Kurva Histeresis dalam Magnetisasi Ferromagnetik

Sumber : (Rambey, 2017)

Dalam pengukuran bahan ferromagnetik, ketika suatu benda ferromagnetik mengalami proses demagnetisasi dalam satu arah, benda tersebut tidak akan mengembalikan magnetisasi ke "nol" ketika medan magnet dihapus. Untuk mengembalikan magnetisasi ke nol, perlu memberikan medan magnet dengan arah yang berlawanan dengan arah sebelumnya. Ketika medan magnet penyeimbang ini diberikan ke material, hasil magnetisasi akan menciptakan sebuah kurva histeresis jika diukur. Histeresis, atau

kesulitan dalam melacak kurva magnetisasi ini, terkait dengan perubahan dalam susunan domain magnetik dalam materi.

8.2.5 Aplikasi Material Magnetik

Material magnetik memiliki banyak aplikasi penting dalam berbagai bidang teknologi dan industri. Berikut adalah beberapa pengaplikasian utama dari material magnetik:

1. **Peralatan Elektronik:** Material magnetik, terutama ferromagnetik seperti besi, nikel, dan kobalt, digunakan dalam berbagai peralatan elektronik. Mereka membentuk inti transformator dan induktor, yang penting dalam pengubah arus, catu daya, dan peralatan elektronik lainnya. Material magnetik juga digunakan dalam komponen seperti mikrofon, speaker, dan hard drive komputer.
2. **Generator dan Motor Listrik:** Material magnetik adalah komponen kunci dalam generator listrik dan motor. Ketika medan magnet eksternal diterapkan pada kumparan kawat yang bergerak dalam generator, itu menghasilkan aliran listrik. Sebaliknya, motor menggunakan medan magnet untuk menggerakkan perputaran dan melakukan kerja mekanis.
3. **Perangkat Elektromagnetik:** Elektromagnet adalah perangkat yang menggunakan material magnetik yang dapat dialiri listrik untuk menghasilkan medan magnet yang dapat diubah-ubah. Ini digunakan dalam berbagai aplikasi, termasuk relai elektromagnetik, solenoida, dan mesin elektromagnetik yang digunakan dalam pembangkit listrik tenaga angin dan lainnya.
4. **Pembangkit Energi Listrik:** Material magnetik digunakan dalam pembangkit listrik, seperti turbin angin, turbin air, dan generator. Mereka berperan dalam mengkonversi energi mekanis atau energi air menjadi energi listrik.
5. **Peralatan Medis:** Material magnetik digunakan dalam peralatan medis seperti resonansi magnetik (MRI) untuk pencitraan tubuh manusia. MRI menggunakan kuat medan

- magnet untuk menghasilkan gambar struktur internal tubuh dengan tingkat resolusi yang tinggi.
6. Industri Audio dan Hiburan: Speaker audio mengandalkan material magnetik, seperti magnet permanen, untuk menghasilkan suara yang jernih dan kuat. Material magnetik juga digunakan dalam pembaca pita magnetik dan dalam perangkat audio lainnya.
 7. Kardiovaskular: Pada beberapa kasus, magnet permanen digunakan dalam perangkat medis seperti alat pacu jantung dan stent untuk membantu dalam pengobatan penyakit kardiovaskular.
 8. Transportasi: Material magnetik digunakan dalam berbagai aplikasi transportasi, termasuk kereta levitasi magnetik (maglev) yang melayani transportasi cepat di atas rel magnet, serta dalam sistem kendali lalu lintas yang memanfaatkan sinyal magnetik untuk deteksi kendaraan di jalan.
 9. Penyimpanan Data: Material magnetik digunakan dalam perangkat penyimpanan data seperti hard drive komputer, di mana informasi disimpan dalam bentuk medan magnet yang dapat diubah-ubah pada permukaan cakram magnetik.
 10. Peralatan Militer: Material magnetik memiliki aplikasi di bidang pertahanan dan militer, termasuk dalam perangkat deteksi logam dan komunikasi militer.

8.3 Material Dielektrik

Material dielektrik adalah jenis material yang memiliki sifat-sifat khusus dalam menghantarkan medan listrik. Sifat utama dari material dielektrik adalah bahwa mereka memiliki resistivitas listrik yang tinggi, yang berarti mereka kurang menghantarkan arus listrik jika dibandingkan dengan konduktor yang memiliki resistivitas rendah. Sebaliknya, material dielektrik mampu menyimpan muatan listrik dalam bentuk medan listrik yang terkonsentrasi di sekitar partikel-partikel bermuatan di dalamnya.

Sifat-sifat dielektrik material ini sering kali bergantung pada struktur atomik atau molekuler mereka. Ketika medan listrik diterapkan, atom atau molekul dalam material dielektrik akan merespons dengan mengalami polarisasi, yaitu pergeseran muatan listrik positif dan negatif dalam arah medan listrik. Hal ini menghasilkan pembentukan medan listrik internal yang berlawanan dengan medan listrik eksternal, yang menghambat aliran arus listrik melalui material.

Material dielektrik banyak digunakan dalam berbagai aplikasi teknologi dan industri. Salah satu aplikasi utama adalah dalam pembuatan kapasitor, di mana lapisan dielektrik digunakan untuk memisahkan dua konduktor dan menyimpan muatan listrik. Material dielektrik juga digunakan dalam isolasi kabel listrik, yang membantu mencegah kebocoran arus listrik dan mengurangi risiko kecelakaan listrik.

Selain itu, material dielektrik juga digunakan dalam perangkat elektronik seperti transistor dan perangkat semikonduktor, di mana sifat dielektrik mereka memengaruhi kinerja perangkat tersebut. Material dielektrik juga digunakan dalam pembuatan lensa optik, serat optik, dan peralatan optik lainnya, di mana sifat dielektrik mereka memengaruhi interaksi cahaya dengan materi.

Kemampuan material dielektrik untuk menyimpan muatan listrik dan memodulasi medan listrik merupakan aspek penting dalam berbagai aplikasi teknologi modern. Pemahaman mendalam tentang sifat-sifat dielektrik material ini memainkan peran krusial dalam pengembangan teknologi yang lebih efisien dan canggih.

8.3.1 Klasifikasi Material Dielektrik

Material dielektrik dapat diklasifikasikan ke dalam beberapa jenis berdasarkan sifat-sifat dielektrik mereka. Berikut adalah beberapa klasifikasi umum material dielektrik:

1. Berdasarkan Struktur Molekuler atau Atomik:
 - a. Material Dielektrik Polimer: Ini termasuk bahan-bahan seperti plastik dan karet yang terbuat dari rantai panjang molekul organik. Mereka sering digunakan dalam aplikasi isolasi dan kapasitor.
 - b. Material Dielektrik Keramik: Keramik dielektrik, seperti yang digunakan dalam kapasitor keramik, terbuat dari material keramik yang memiliki struktur kristal yang teratur.
 - c. Material Dielektrik Kaca: Material dielektrik kaca memiliki struktur amorfous (tidak beraturan) dan sering digunakan dalam lensa optik dan serat optik.
2. Berdasarkan Perubahan Kekuatan Dielektrik dengan Frekuensi:
 - a. Dielektrik Linier: Material dielektrik yang memiliki kekuatan dielektrik yang konstan pada berbagai frekuensi medan listrik.
 - b. Dielektrik Non-Linier: Material dielektrik yang memiliki kekuatan dielektrik yang berubah dengan frekuensi medan listrik. Mereka dapat digunakan dalam aplikasi seperti perangkat elektronik mikro-gelombang dan peralatan komunikasi.
3. Berdasarkan Aplikasi:
 - a. Material Dielektrik Kapasitor: Material dielektrik ini digunakan dalam kapasitor untuk meningkatkan kapasitansi dengan menyimpan muatan listrik tambahan dalam medan listrik.
 - b. Material Dielektrik Isolasi: Material dielektrik ini digunakan dalam isolasi kabel listrik, peralatan tinggi, dan perangkat listrik lainnya untuk mencegah kebocoran arus listrik.

4. Berdasarkan Suhu Kerja:
 - a. Dielektrik Terbatas Suhu Tinggi: Material dielektrik yang dapat beroperasi pada suhu tinggi, seperti yang digunakan dalam aplikasi industri yang melibatkan panas tinggi.
 - b. Dielektrik Terbatas Suhu Rendah: Material dielektrik yang dapat beroperasi pada suhu rendah, seperti yang digunakan dalam aplikasi di bidang fisika nuklir dan fisika dingin.
5. Berdasarkan Kekuatan Dielektrik:
 - a. Dielektrik Kekuatan Rendah: Material dielektrik dengan kekuatan dielektrik yang rendah yang tidak dapat menahan medan listrik yang kuat tanpa peluruhan.
 - b. Dielektrik Kekuatan Tinggi: Material dielektrik dengan kekuatan dielektrik yang tinggi yang dapat menahan medan listrik yang kuat tanpa mengalami peluruhan.

8.3.2 Kegunaan Dasar Bahan Dielektrik

Salah satu penggunaan paling umum dari bahan dasar dielektrik adalah dalam pembuatan kapasitor. Kapasitor adalah perangkat elektronik yang digunakan untuk menyimpan muatan listrik. Dalam kapasitor, bahan dielektrik ditempatkan di antara dua konduktor (biasanya pelat logam) untuk meningkatkan kapasitansi perangkat tersebut. Bahan dielektrik berperan dalam meningkatkan kapasitansi dengan mengurangi reluktansi aliran muatan listrik antara pelat logam. Dengan demikian, bahan dielektrik memungkinkan kapasitor untuk menyimpan dan melepaskan energi listrik dengan efisien dalam berbagai aplikasi, termasuk sirkuit listrik, alat elektronik, dan penyimpanan energi. Bahan dasar dielektrik juga digunakan secara luas sebagai bahan isolasi listrik. Mereka membantu dalam memisahkan dan melindungi konduktor atau perangkat listrik dari kontak langsung dengan konduktor lain atau lingkungan yang dapat mengakibatkan gangguan listrik atau bahkan bahaya. Contoh bahan dielektrik yang

digunakan sebagai isolator listrik meliputi kertas isolasi, plastik, dan bahan keramik. Isolasi listrik sangat penting dalam perangkat listrik, seperti kabel, transformator, dan peralatan rumah tangga, untuk menjaga keamanan dan kinerja yang stabil.

Bahan dasar dielektrik juga memiliki peran penting dalam industri mikroelektronika dan elektronika terpadu. Mereka digunakan sebagai lapisan dielektrik antara komponen mikroelektronik seperti transistor dan kapasitor pada permukaan sirkuit terpadu (IC) atau mikrochip. Lapisan dielektrik ini membantu mengisolasi dan mengarahkan arus listrik dalam rangkaian sirkuit terpadu yang kompleks. Selain itu, bahan dielektrik yang digunakan dalam pembuatan mikroelektronika harus memiliki sifat isolasi yang sangat baik, ketahanan terhadap radiasi, dan stabilitas termal untuk memastikan kinerja yang andal dalam berbagai aplikasi, dari komputer hingga peralatan medis.

8.3.3 Konstanta Dielektrik

Konstanta dielektrik adalah parameter penting dalam ilmu listrik dan elektromagnetik yang mengukur sejauh mana suatu material dapat mengubah medan listrik yang diterapkan padanya dibandingkan dengan hampa udara atau vakum (Parnasari et al., 2022). Konstanta dielektrik umumnya dilambangkan dengan ϵ (epsilon) dan merupakan angka yang digunakan dalam perhitungan kapasitansi perangkat listrik. Nilai konstanta dielektrik material adalah faktor penentu dalam menentukan seberapa besar kapasitansi perangkat tersebut. Konstanta dielektrik biasanya memiliki nilai lebih dari satu karena sebagian besar material mengubah medan listrik lebih baik daripada vakum. Secara matematis konstanta dielektrik suatu bahan didefinisikan sebagai:

$$\epsilon_r = \frac{\epsilon_s}{\epsilon_0}$$

di mana ϵ_s merupakan permitivitas statis dari bahan tersebut, dan ϵ_0 adalah permitivitas vakum.

Dalam bidang kimia, konstanta dielektrik bisa digunakan sebagai parameter perbandingan yang mengindikasikan tingkat kepolaran suatu pelarut. Sebagai contoh, air, yang termasuk pelarut polar, memiliki nilai konstanta dielektrik sekitar 80,10 pada suhu 20 °C, sedangkan n-heksana, yang termasuk dalam kategori pelarut sangat non-polar, memiliki nilai sekitar 1,89 pada suhu yang sama, yaitu 20 °C. Berikut adalah tabel yang mencantumkan nilai konstanta dielektrik beberapa material pada suhu kamar (Lide, 2004).

Tabel 8.1. Daftar Konstanta Dielektrik

Konstanta dielektrik kapasitor pada 25 c	
Udara	1,0006
PTFE	2
Polystyrene	2,6
Lak	3,5
Kertas kering	3,5
SRBP	4-5,5
Porselen	.5-6
Mika	5,4-8
Keramik K-rendah	6-260
keramik K-tinggi	1400-3000
Elektrolit	
Film Oksida aluminium	8,6
Oksida Tantalum	>10

Sumber:(Dhan, 2011)

Konstanta dielektrik adalah indikator responsivitas material terhadap medan listrik. Materi dengan konstanta dielektrik yang tinggi memiliki kemampuan untuk "menyimpan" muatan listrik dalam jumlah yang lebih besar dan lebih efisien

daripada materi dengan konstanta dielektrik rendah. Ini karena medan listrik dapat "memengaruhi" muatan dalam material dengan lebih kuat jika konstanta dielektrik tinggi. Sebaliknya, dalam materi dengan konstanta dielektrik rendah, muatan listrik lebih bebas bergerak dan konduktivitas listrik cenderung lebih tinggi. Karena konstanta dielektrik sangat tergantung pada sifat-sifat material dan kondisi lingkungan seperti suhu dan frekuensi medan listrik, pemahaman yang baik tentang parameter ini sangat penting dalam perancangan perangkat elektronik dan teknologi komunikasi.

Penggunaan konstanta dielektrik sangat luas dalam teknologi modern. Misalnya, dalam industri kabel listrik, bahan dielektrik digunakan untuk mengisolasi konduktor listrik dan mencegah kebocoran arus. Dalam perangkat semikonduktor dan mikroelektronika, bahan dielektrik berfungsi sebagai lapisan isolasi antara komponen elektronik, memungkinkan perangkat bekerja dengan efisien tanpa gangguan dari medan listrik luar. Pengembangan material dielektrik dengan konstanta dielektrik yang lebih tinggi terus dilakukan untuk meningkatkan kinerja perangkat elektronik seperti kapasitor, yang memainkan peran penting dalam penyimpanan energi dan perangkat komunikasi. Dengan demikian, konstanta dielektrik adalah salah satu parameter fundamental yang mendukung kemajuan teknologi modern.

8.3.4 Kapasitansi dan Isolasi

1. Kapasitansi adalah sifat perangkat elektrik yang menunjukkan kemampuannya untuk menyimpan muatan listrik. Ini diukur dalam farad (F).
2. Material dielektrik sering digunakan dalam kapasitor untuk meningkatkan kapasitansi perangkat tersebut. Ketika kapasitor diisi dengan material dielektrik, kapasitansi akan meningkat sebanding dengan konstanta dielektrik material tersebut.

3. Selain kapasitansi, isolasi adalah sifat penting dari material dielektrik. Mereka dapat digunakan untuk mengisolasi konduktor dan mencegah aliran arus listrik yang tidak diinginkan antar konduktor. Ini menjaga keamanan dan keandalan perangkat listrik dan kabel.

8.3.5 Aplikasi Material Dielektrik

Material dielektrik memiliki banyak aplikasi penting dalam berbagai bidang teknologi dan industri, terutama karena kemampuan mereka untuk menghambat aliran arus listrik dan menghasilkan medan listrik. Berikut adalah beberapa pengaplikasian utama dari material dielektrik:

1. **Kapasitor:** Material dielektrik digunakan secara luas dalam kapasitor untuk meningkatkan kapasitansi kapasitor. Ketika medan listrik diterapkan, material dielektrik memungkinkan penyimpanan muatan listrik tambahan dalam medan listrik yang terbentuk antara plat kapasitor. Ini memungkinkan kapasitor untuk menyimpan energi listrik dan menggunakannya dalam berbagai aplikasi elektronik, termasuk sirkuit penyaringan, pembangkit pulsa, dan banyak lagi.
2. **Isolasi Listrik:** Material dielektrik digunakan sebagai lapisan isolasi dalam kabel listrik dan peralatan listrik untuk mencegah kebocoran arus listrik dan untuk memastikan keamanan penggunaan listrik. Mereka membantu menjaga isolasi antara konduktor listrik yang berpotensi berbahaya.
3. **Alat Elektrooptik:** Material dielektrik dengan sifat optik yang sesuai digunakan dalam berbagai alat elektrooptik, seperti modulator elektrooptik dan berbagai perangkat optik terkait. Mereka memungkinkan kontrol dan manipulasi sinyal optik dengan menerapkan medan listrik.
4. **Perangkat Piezoelektrik:** Beberapa material dielektrik, seperti kuarsa, memiliki sifat piezoelektrik yang memungkinkan

- mereka untuk menghasilkan muatan listrik ketika diberikan tekanan mekanis atau getaran. Ini digunakan dalam mikrofon, speaker, dan perangkat sensor piezoelektrik.
5. Filter Mikrogelombang: Material dielektrik digunakan dalam filter mikrogelombang yang digunakan dalam aplikasi komunikasi nirkabel dan radar. Mereka memungkinkan kontrol frekuensi gelombang mikro dan radio.
 6. Sensor Kapasitif: Material dielektrik digunakan dalam sensor kapasitif untuk mendeteksi perubahan kapasitansi yang dapat disebabkan oleh perubahan lingkungan atau variabel tertentu. Ini digunakan dalam aplikasi seperti sensor suhu, sensor kelembaban, dan sensor sentuhan.
 7. Perangkat Penyimpanan Data: Beberapa material dielektrik dengan sifat ferroelektrik digunakan dalam perangkat penyimpanan data non-volatile, seperti flash memory dan ferroelectric random-access memory (FeRAM).
 8. Aplikasi Mikroelektronik: Material dielektrik juga digunakan dalam proses fabrikasi mikroelektronik untuk menghasilkan isolator dan struktur dielektrik dalam sirkuit terintegrasi dan mikroelektronik.
 9. Aplikasi Medis: Material dielektrik dapat digunakan dalam aplikasi medis, seperti dalam pencitraan medis berdasarkan resonansi magnetik (MRI) dan peralatan diagnostik lainnya.

8.4 Material Optik

Material optik adalah jenis material yang memiliki sifat-sifat yang memengaruhi cara mereka berinteraksi dengan cahaya (Zainul, 2021). Sifat-sifat ini dapat mempengaruhi perambatan, pembiasan, pembelokan, pemantulan, dan dispersi cahaya saat melewati atau berinteraksi dengan material tersebut. Pemahaman tentang sifat-sifat optik material sangat penting dalam berbagai aplikasi teknologi, seperti pembuatan lensa, serat optik, alat deteksi optik, dan banyak lagi.

Salah satu sifat utama material optik adalah *indeks bias*, yang mengukur seberapa banyak cahaya melambat saat memasuki material tersebut dibandingkan dengan ketika berada dalam vakum. Indeks bias yang berbeda-beda dapat menghasilkan pembiasan cahaya ketika cahaya berpindah dari satu medium ke medium lainnya, seperti ketika cahaya melewati air dan masuk ke udara.

Material optik juga dapat memiliki *dispersi*, yaitu perubahan indeks bias mereka tergantung pada panjang gelombang cahaya. Dispersi dapat menyebabkan pemisahan warna, seperti yang terlihat dalam prisma. Dispersi juga dapat menjadi faktor penting dalam perancangan lensa dan peralatan optik lainnya.

Selain itu, material optik dapat memperlihatkan efek seperti *pembelokan total*, yang terjadi ketika cahaya mencoba keluar dari medium yang lebih padat ke medium yang lebih jarang. Ini adalah dasar bagi prinsip kerja serat optik, di mana cahaya dapat dipandu melalui serat kaca dengan mengalami pembelokan total berulang-ulang di dalam serat tersebut.

Beberapa material optik memiliki *absorpsi*, yang berarti mereka menyerap cahaya pada panjang gelombang tertentu. Ini bisa menjadi basis untuk filter optik dan alat spektroskopi. Material optik yang digunakan dalam pembuatan lensa harus memiliki transmisi cahaya yang tinggi untuk menghindari penyerapan cahaya yang berlebihan.

Efek *polarisasi* juga merupakan sifat penting dalam material optik. Polarisasi mengacu pada arah getaran medan listrik cahaya. Banyak material optik dapat memengaruhi polarisasi cahaya yang melewati mereka, dan ini memiliki aplikasi dalam alat-alat seperti filter polarisasi dan mikroskop polarisasi.

Material optik sering kali digunakan dalam aplikasi seperti pembuatan lensa kamera, teleskop, dan mikroskop untuk memfokuskan dan memperbesar gambar. Serat optik digunakan dalam komunikasi data jarak jauh dan berbagai aplikasi lainnya

karena kemampuan mereka untuk memandu cahaya. Alat spektroskopi menggunakan sifat optik material untuk menganalisis komposisi kimia dari sampel-sampel.

8.4.1 Karakteristik Material Optik

Material optik memiliki beberapa karakteristik khusus yang memengaruhi interaksi mereka dengan cahaya. Berikut adalah beberapa karakteristik utama material optik:

1. Indeks Bias (Refraktif): Salah satu karakteristik paling mendasar dari material optik adalah *indeks bias* (atau indeks refraktif) mereka. Indeks bias mengukur seberapa banyak cahaya melambat saat memasuki material tersebut dibandingkan dengan ketika berada dalam vakum. Indeks bias yang tinggi mengindikasikan bahwa cahaya melambat secara signifikan saat memasuki material, sedangkan indeks bias yang rendah mengindikasikan perubahan kecepatan yang lebih kecil.
2. Dispersi: Dispersi adalah fenomena di mana indeks bias material optik berubah seiring dengan perubahan panjang gelombang cahaya. Ini menghasilkan pemisahan warna, seperti yang terlihat dalam prisma. Material optik dengan dispersi yang kuat dapat menyebabkan perubahan warna yang mencolok.
3. Absorpsi: Absorpsi adalah sifat di mana material optik menyerap cahaya pada panjang gelombang tertentu, yang dapat mengubah intensitas cahaya yang melewati atau berinteraksi dengan material tersebut. Material optik dengan spektrum absorpsi yang berbeda dapat digunakan dalam filter optik dan alat spektroskopi.
4. Pembelokan Cahaya: Material optik dapat memengaruhi jalur perambatan cahaya, yang menghasilkan pembelokan cahaya. Ini dapat terjadi ketika cahaya memasuki material dengan indeks bias yang berbeda atau ketika cahaya berinteraksi

dengan permukaan material. Pembelokan cahaya adalah dasar bagi pembentukan gambar dalam lensa dan prisma.

5. **Polarisasi:** Polarisasi adalah arah getaran medan listrik cahaya. Material optik dapat memengaruhi polarisasi cahaya yang melewati mereka, yang memiliki aplikasi dalam alat-alat seperti filter polarisasi dan mikroskop polarisasi. Beberapa material optik hanya memungkinkan perambatan cahaya dengan polarisasi tertentu.
6. **Transmisi Cahaya:** Material optik sering memiliki karakteristik *transmisi cahaya*, yang mengukur seberapa banyak cahaya yang dapat melewati material tersebut tanpa diserap atau dibelokkan secara signifikan. Material optik yang digunakan dalam aplikasi seperti lensa harus memiliki transmisi cahaya yang tinggi untuk menghasilkan gambar yang jelas.
7. **Ketebalan Materi (Tebal Optis):** Ketebalan materi atau tebal optis adalah ketebalan material optik yang memengaruhi perambatan cahaya dan pembelokannya. Ini merupakan karakteristik penting dalam desain lensa dan filter optik.

8.4.2 Aplikasi Material Optik

Material optik memiliki beragam aplikasi dalam berbagai bidang, terutama karena kemampuannya untuk memengaruhi cahaya dan berinteraksi dengan radiasi elektromagnetik. Berikut adalah beberapa pengaplikasian utama dari material optik:

1. **Peralatan Optik dan Fotografi:** Material optik, seperti lensa dan prisma, digunakan dalam peralatan optik dan fotografi untuk memfokuskan, membelokkan, dan memecah cahaya. Lensa digunakan dalam kamera, teleskop, mikroskop, dan peralatan optik lainnya untuk menghasilkan gambar dengan resolusi tinggi.
2. **Serat Optik:** Serat optik terbuat dari material dielektrik khusus yang memungkinkan perambatan cahaya dengan tingkat kehilangan yang sangat rendah. Mereka digunakan dalam

komunikasi data jarak jauh, seperti telepon dan internet, serta dalam berbagai aplikasi medis dan industri.

3. **Laser:** Material optik digunakan dalam pembuatan laser, yang menghasilkan sinar cahaya kohesif yang digunakan dalam berbagai aplikasi, termasuk pemotongan presisi, lasering, pengukuran jarak, dan komunikasi optik.
4. **Peralatan Ilmiah:** Material optik digunakan dalam alat-alat ilmiah seperti spektrometer, spektroskopi, dan berbagai alat analisis yang mengukur sifat cahaya dan radiasi elektromagnetik untuk tujuan penelitian dan diagnostik.
5. **Pencitraan Medis:** Material optik digunakan dalam peralatan pencitraan medis seperti MRI (resonansi magnetik) dan CT (tomografi komputer) untuk membuat gambar struktur internal tubuh manusia. Ini membantu dalam diagnosis dan penelitian medis.
6. **Peralatan Penginderaan Jarak Jauh:** Material optik digunakan dalam peralatan penginderaan jarak jauh seperti teleskop luar angkasa, peralatan pemetaan udara, dan perangkat pemantauan jarak jauh lainnya yang digunakan dalam ilmu bumi, astronomi, dan pemantauan lingkungan.
7. **Perangkat Hiburan:** Material optik digunakan dalam perangkat hiburan seperti proyektor, layar LED, dan perangkat tampilan lainnya yang menghasilkan gambar dan video untuk hiburan dan tampilan informasi.
8. **Perangkat Elektrooptik:** Material optik digunakan dalam perangkat elektrooptik yang memanipulasi cahaya dengan bantuan medan listrik atau medan elektromagnetik, termasuk perangkat modulasi, modulator, dan berbagai perangkat optoelektronik.
9. **Peralatan Keamanan:** Material optik digunakan dalam berbagai peralatan keamanan seperti pemindai sidik jari, pemindai retina, dan kamera keamanan yang memanfaatkan sifat-sifat optik untuk mengidentifikasi individu dan objek.

10. Peralatan Militer: Material optik digunakan dalam peralatan militer, seperti alat pemantauan inframerah, perangkat penglihatan malam, dan peralatan deteksi yang digunakan dalam pengamatan dan navigasi.

8.5 Pengujian dan Karakterisasi Material

Pengujian dan karakterisasi material adalah proses penting dalam ilmu material untuk memahami sifat-sifat dasar dan perilaku material magnetik, dielektrik, dan optik. Berikut adalah penjelasan singkat tentang metode pengujian magnetik, pengukuran sifat dielektrik, dan teknik-teknik pengukuran optik:

1. Metode Pengujian Magnetik:
 - a. Histeresis Magnetik: Metode ini digunakan untuk mengukur respons magnetik material terhadap perubahan medan magnetik. Grafik histeresis menunjukkan sifat magnetik seperti koersivitas dan reluktansi.
 - b. Pengukuran Permeabilitas: Permeabilitas magnetik material adalah kemampuan material untuk mengalirkan medan magnetik. Metode pengukuran permeabilitas digunakan untuk mengukur respons material terhadap medan magnetik.
 - c. Pengukuran Susceptibilitas Magnetik: Susceptibilitas mengukur sejauh mana material dapat menjadi magnet dalam medan magnet eksternal. Metode ini membantu dalam mengklasifikasikan material sebagai feromagnetik, paramagnetik, atau diamagnetik.
2. Pengukuran Sifat Dielektrik:
 - a. Pengukuran Kapasitansi: Kapasitansi adalah sifat dielektrik yang mengukur kemampuan material untuk menyimpan muatan listrik. Kapasitor digunakan dalam pengukuran kapasitansi untuk berbagai aplikasi.

- b. Pengukuran Konstanta Dielektrik: Konstanta dielektrik mengukur kemampuan material untuk mengurangi medan listrik. Pengukuran konstanta dielektrik membantu dalam pemilihan material untuk aplikasi isolasi dan penyimpanan energi.
 - c. Pengukuran Faktor Difraksi: Untuk material dielektrik yang digunakan dalam optik, pengukuran faktor difraksi membantu memahami sifat-sifat material dalam mengubah arah cahaya saat melewati permukaannya.
3. Teknik-teknik Pengukuran Optik:
- a. Pembiasan Cahaya: Pengukuran ini melibatkan perubahan arah cahaya saat melewati permukaan antara dua media dengan indeks bias yang berbeda.
 - b. Pemantulan Cahaya: Teknik ini digunakan untuk mengukur pemantulan cahaya dari permukaan material, seperti pada spektrofotometer untuk analisis kimia.
 - c. Interferensi Cahaya: Pengukuran interferensi cahaya memeriksa efek interferensi ketika dua gelombang cahaya bertemu. Ini digunakan dalam spektroskopi dan analisis lapisan tipis.
 - d. Difraksi Cahaya: Difraksi adalah perubahan arah cahaya saat melewati celah atau penghalang yang memiliki ukuran sebanding dengan panjang gelombang cahaya. Ini digunakan dalam analisis pola difraksi untuk mengungkap struktur kristal dan lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Dhan. 2011. *Dielektrik*. <http://dasarelektronik.blogspot.com/2011/01/dielektrik.html>
- Lide, D. R. 2004. *CRC Handbook of Chemistry and Physics* (85th ed.). CRC Press.
- Parnasari, Nurhanisa, M., & Nugroho, B. S. 2022. Studi Kapasitansi dan Konstanta Dielektrik Pada Karbon Aktif Tandan Kosong Kelapa Sawit. *Prisma Fisika*, 10(1), 98–104.
- Rambey, M. F. 2017. *Deskripsi Singkat Kurva Histerisis*. <https://medium.com/@m.faizrambey/deskripsi-singkat-kurva-histerisis-4543360d287c>
- Zainul, R. 2021. *Kimia Material* (Vol. 3, Issue 3). Penerbit Berkah Prima.http://repository.unp.ac.id/id/eprint/31099%0Ahttp://repository.unp.ac.id/31099/1/4_rahadian_Zainul_OK_CETAK_Buku_Kimia_Material_kompres_ok.pdf

BAB 9

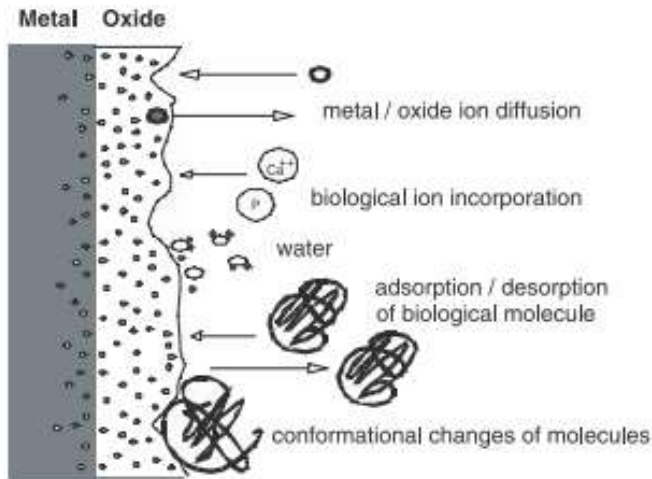
BIOMATERIAL

Oleh Aliyah Fahmi

9.1 Pengertian Biomaterial

Suatu zat yang telah diprogram untuk berinteraksi dengan sistem biologis tubuh dapat disebut biomaterial. Selama sekitar lima puluh tahun, biomaterial telah dikenal sebagai ilmu pengetahuan. Ilmu biomaterial atau rekayasa biomaterial adalah istilah untuk kajian biomaterial. Banyak bisnis menginvestasikan dana besar ke dalam pengembangan produk terbaru dalam bidang ilmu biomaterial, yang telah berkembang dengan cepat dan stabil. Unsur-unsur kedokteran, biologi, kimia, teknik jaringan tubuh, dan ilmu material adalah bagian dari ilmu biomaterial (Schmalz & Arenholt-Bindslev, 2009).

Dengan menggunakan teknologi rekayasa jaringan yang luas, biomaterial dapat digunakan untuk memulihkan atau mengganti komponen tertentu dari sistem kehidupan. Dalam sepuluh tahun terakhir, permintaan telah meningkat dengan cepat sebagai akibat dari fenomena penuaan populasi di seluruh dunia. Ini meningkatkan risiko kegagalan jaringan keras pada orang lanjut usia. Tujuan utamanya adalah untuk memperoleh umur yang lebih panjang dari biomaterial yang ditanamkan atau yang bertahan sampai akhir hayatnya tanpa mengalami cacat atau memerlukan operasi revisi, sehingga meningkatkan kualitas hidup pasien. Karena itu, biomaterial harus memiliki beberapa sifat yang diperlukan untuk digunakan dalam beberapa aplikasi tertentu. Sifat-sifat ini termasuk kekuatan mekanik yang memadai, korosi dan biokompatibilitas tinggi, ketahanan aus yang tinggi, gesekan rendah, dan kompatibilitas mekanis (Gobbi et al., 2020).



Gambar 9.1. Peristiwa tingkat molekuler pada permukaan implan logam (Sumber: Dee et al., 2003)

Sistem biologis membuat biomaterial, tidak seperti tulang. Biomaterial dapat berasal dari alam atau dibuat di laboratorium dengan menggunakan komponen logam, polimer, keramik, atau material komposit dengan berbagai teknik kimiawi. Dalam aplikasi medis, biomaterial adalah seluruh atau sebagian dari struktur hidup atau perangkat biomedis yang melakukan, meningkatkan, atau menggantikan fungsi organ alami. Mereka mungkin melakukan sesuatu secara relatif pasif, seperti membuat katup jantung, atau mereka mungkin bioaktif dan melakukan sesuatu secara lebih interaktif, seperti membuat implan pinggul yang dilapisi hidroksiapatit.

Aplikasi biomaterial pula dilakukan dalam prosedur gigi, pembedahan, dan pemberian obat terhadap gigi. Sebagai contoh, biomaterial dapat dimasukkan ke dalam tubuh untuk memungkinkan pelepasan obat untuk waktu yang lama. Pada prosedur transplantasi, biomaterial biasa ditemukan dalam bentuk berupa allograf, xenograf, atau autograf.

Aktivitas biologis adalah daya dari biomaterial dalam hal menstimulasi respons fisiologis untuk menyokong fungsi dan kinerja biomaterial tersebut. Istilah ini biasanya diaplikasikan dalam keramik dan gelas bioaktif yang mendorong daya bahan-bahan yang ditanamkan untuk berikatan dengan jaringan di sekitarnya untuk melakukan fungsi osseoproduktif dan osseokonduktif. Salah satu tujuan dari bahan yang digunakan untuk implan tulang adalah untuk meningkatkan pertumbuhan tulang dengan memungkinkan mereka untuk melarutkan diri ke dalam cairan tubuh yang mengelilingi mereka. Sangat diinginkan jika memiliki biokompatibilitas, kekuatan, dan laju pelarutan yang baik. Banyak orang menggunakan tingkat biomineralisasi di permukaan material, di mana lapisan hidroksiapatit terbentuk, untuk mengukur aktivitas biologis (Zhu et al., 2018).

Dalam komunitas ilmiah modern, istilah "swarakit", yang berarti pengumpulan atau agregasi partikel (atom, molekul, koloid, misel, dll.) secara spontan tanpa pengaruh kekuatan luar. Ada bukti bahwa kelompok besar partikel-partikel ini memiliki kemampuan untuk membentuk susunan yang terstruktur dengan baik dan stabil secara termodinamika. Strukturnya hampir mirip dengan salah satu dari tujuh sistem kristal yang dikenal dalam mineralogi dan metalurgi. Kubik berpusat-muka (*face-centered cubic*), kubik berpusat-badan (*body-centered cubic*), dan sebagainya adalah contohnya. Parameter kisi, atau skala spasial sel satuan, membedakan struktur keseimbangan.

Swarakit molekuler banyak sistem biologis menyediakan dasar untuk berbagai macam struktur biologis yang kompleks. Berbagai jenis biomaterial pegari, atau biomaterial yang sedang muncul, yang memiliki keunggulan mekanis berdasarkan mikrostruktur dan desain yang ditemukan di alam, termasuk dalam kategori ini. Oleh karena itu, swarakit sekarang menjadi opsi baru untuk sintesis kimia dan nanoteknologi. Teknik ini menghasilkan berbagai jenis struktur yang sangat teratur. Ini dapat

ditemukan dalam kristal molekuler, kristal cair, koloid, misel, emulsi, polimer fasa-terpisah, film tipis, dan lapisan tunggal swarakit. Pengorganisasian mandiri membedakan metode ini (Whitesides et al., 1991; Ariga et al., 2008; Dabbs & Aksay, 2000).

Aplikasi biomaterial mencakup bidang Kesehatan diantaranya yaitu saluran saraf, cangkuk pembuluh darah, pengganti sendi, pelat tulang, lensa intraokular (IOL) untuk operasi mata, semen tulang, ligamen dan tendon buatan, implan gigi untuk fiksasi gigi, prostesis pembuluh darah, katup jantung, alat perbaikan kulit (jaringan buatan), pengganti koklea, lensa kontak, implan payudara, mekanisme pengiriman obat, materi yang berkelanjutan, stent, jahitan bedah, klip, dan stapler (Sukmana et al., 2022).

Saat ini, ada dua jenis biomaterial yang digunakan dalam bidang kedokteran gigi: biomaterial sintesis, yang mencakup material seperti logam, keramik, polimer, dan komposit; dan biomaterial rekayasa jaringan, yang mencakup pembuatan scaffold, sel, dan sinyal saat membuat jaringan pengganti gigi (Cahyanto, 2009).

Biomaterial biasanya diberlakukan sejumlah persyaratan, seperti halnya penemuan obat baru, hal itu dikarenakan syarat biomaterial diharuskan kemampuannya bergerak sesuai (kompatibel) dengan tubuh. Tak jarang banyak terjadi masalah terkait biokompatibilitas sebelum diturunkan ke pasar atau digunakan dalam pengaturan uji klinis. Selain itu, perusahaan manufaktur harus memastikan bahwa semua produk mereka dilacak, sehingga produk lain dalam kelompok yang sama dapat dilacak jika produk yang salah ditemukan (Sukmana et al., 2022).

9.2 Biopolimer

Polimer yang dibuat oleh organisme hidup disebut biopolimer. Selulosa, yang merupakan salah satu biopolimer dan senyawa organik paling umum di Bumi, menyumbang sekitar 33%

dari semua materi tanaman. Biopolimer lainnya termasuk protein, pati, peptida, DNA, dan RNA, di mana nukleotida, gula, dan asam amino adalah unit monomernya. Dengan cara yang sama, sutera (kaya akan protein) sangat diminati untuk penelitian dalam berbagai bidang ilmu, diantaranya kedokteran regenerative, rekayasa jaringan, mikrofluida dan lain-lain.

Biomaterial adalah material sintetis yang digunakan untuk membuat alkes dan berinteraksi dengan sistem biologi saat digunakan. Mereka digunakan untuk membuat implan operasi dan devais, yang secara aman dan hemat biaya menggantikan bagian atau fungsi organ tubuh. Biomaterial mencakup semua jenis material, seperti polimer, keramik, logam, dan komposit.

Tabel 9.1. Jenis biomaterial dan aplikasinya (Sumber: Hermawan, 2019)

No	Material	Keunggulan	Kelemahan	Aplikasi
1	logam	Kuat, tangguh, ulet	non-bioaktif	Implant, ring jantung, sendi buatan dll
2	keramik	Bioaktif, inert	gelas	Implant ortopedik dan gigi
3	komposit	Bioaktif, elastis	Tidak terlalu kuat	Benang, graft pembuluh darah
4	polimer	Dibuat khusus	sukar dibuat	Semen tulang gigi, resin gigi dll

Implan logam untuk alkes telah berkembang pesat sejak penemuan baja tahan karat (baja tahan karat) pada tahun 1920-an. Komite F04, yang dibentuk oleh ASTM (*American Society for Testing and Materials*) pada tahun 1962, memainkan peran penting dalam menciptakan standarisasi untuk penggunaan logam sebagai biomaterial. Logam digunakan sebagai implan untuk mengobati gangguan organ tubuh yang disebabkan oleh pembebanan

mekanik. Selama perkembangan awalnya, implan logam menghadapi dua masalah utama: kekuatan mekanik yang rendah dan korosi. Penemuan baja tahan karat 18Cr-8Ni menyelesaikan masalah korosi, yang mendorong pengembangan dan pemakaian klinis implan logam. Ratusan jenis logam berbeda telah digunakan untuk implan saat ini.

Secara umum, implant logam termasuk dalam kategori berikut:

1. Compound/paduan stainless steel;
2. Paduan co-cr;
3. Ti dan paduannya; dan
4. Logam mulia.

Pemilihan logam didasarkan pada dua alasan utama: kekuatan strukturalnya dan ke-inertannya, yang berarti logam tidak akan mengalami reaksi lingkungan. Namun, berdasarkan kemajuan terbaru, diharapkan implant memiliki bioaktivitas atau biofungsionalitas seperti kompatibel dengan darah (hemokompatibel) dan kompatibel dengan tulang, yang berarti permukaan harus diubah. Salah satu contohnya adalah logam dilapisi hidroksiapatit untuk membuatnya konduktif dengan tulang, atau teflon untuk meningkatkan hemokompatibilitas. Logam berbasis magnesium (Mg) yang ramah lingkungan (*biodegradable*) dan non-toksik dan bebas alergi adalah salah satu jenis biomaterial logam yang telah dikembangkan baru-baru ini. Logam ini dapat digunakan untuk implan yang berfungsi secara temporer.

Logam harus memiliki sifat mekanik dan fisik yang baik, seperti kekuatan tarik, kekakuan, ketahanan lelah, dan rapat massa, karena digunakan sebagai biomaterial dan harus biokompatibel dengan jaringan hidup tubuh.



Gambar 9.2. Implan sendi panggul dari baja tahan karat (Sumber: Aherwar et al., 2015)

Alasan lainnya dikarenakan sebagian besar implan terpapar pada kondisi beban mekanik baik statik maupun dinamik, dimana membutuhkan kombinasi kekuatan dan keuletan yang optimal, implan logam harus non-magnetik dan memiliki rapat masa tinggi untuk memastikan kombinasi kekuatan dan keuletan yang ideal. Karena faktor ini, logam unggul dibandingkan polimer dan keramik. Karakteristik implan logam menjadi lebih spesifik untuk aplikasi tertentu. Misalnya, stent dan stent graft diimplankan untuk membuka pembuluh darah yang menyempit dengan bantuan kateter. Untuk memungkinkan pembukaan tetap terbuka, diperlukan keuletan dan kekakuan.

Pada umumnya, logam dibutuhkan untuk aplikasi ortopedik untuk memiliki karakteristik seperti ketangguhan, elastisitas, kekakuan, kekuatan, dan ketahanan patah yang tinggi.

Untuk menghindari serpihan yang terbentuk akibat gesekan, implan pengganti sendi juga membutuhkan ketahanan aus.

Pemilihan logam sebagai implan dipengaruhi oleh tujuan penggunaannya. Stainless steel tipe 316L (SS316L) merupakan jenis logam yang paling umum yang masih banyak digunakan. Akan tetapi. Paduan Co-Cr merupakan pilihan yang lebih baik untuk implan yang memerlukan ketahanan aus yang tinggi, seperti sendi buatan.



SS316L



Co- Cr-Mo



Ti

Gambar 9.3. Logam pada Biomaterial

Jenis-jenis logam yang digunakan sebagai implan di berbagai aplikasi dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 9.2. Implan dan jenis logam yang dipakai (Sumber: Hermawan, 2019)

No	Divisi	Implan	Jenis Logam
1	Ortopedik	• Fiksasi tulang • Sendi buatan	• SS316L; Ti; Ti-6Al-4V • Co-Cr-Mo; T-Ti-6Al-4V
2	Kraniofasial	• Plat dan skrup	• SS316L; Ti; Ti-6Al-4V; Co-Cr-Mo
3	Kardiovaskular	• Katup buatan • Ring • Pembungkus pacu jantung • Stent graft	• Ti-6Al-4V • SS316L; Co-Cr-Mo; Ti • Ti; Ti-6Al-4V • SS316L
4	Otorinologi	• Gendang telinga buatan • Elektroda telinga dalam	• SS316L • Pt
5	Gigi	• Tambal gigi • Inlay, crown • Kawat ortodontik	• Ag-Sn (-Cu) amalgam, Au • Au-Cu-Ag; Au-Cu-Ag-Pt-Pd; Ti; Co-

No	Divisi	Implan	Jenis Logam
		• Implant gigi	Cr • SS316L; Co-Cr-Mo; Ti-Ni; Ti-Mo • T- Ti-6Al-4V

Pembentukan mikrostruktur, fasa metalurgi, dan sifat mekanik logam dipengaruhi oleh sifat kimia logam. Salah satu contohnya adalah menambahkan aluminium (Al) dan vanadium (V) ke dalam timah murni, yang dapat menaikkan kekuatan tariknya secara signifikan. Sifat mekanik logam juga dipengaruhi oleh kondisi metalurginya; misalnya, ketika logam dipanaskan, anilnya lebih keulet. Sifat mekanik logam juga dipengaruhi oleh proses pembuatan; contohnya, implan yang terbuat dari logam cor memiliki kekuatan yang lebih rendah daripada implan yang terbuat dari logam tempa.

Baja tahan karat pada awalnya digunakan untuk implan karena mengandung 18% Cr dan 8% Ni, yang membuatnya lebih kuat dan tahan korosi daripada baja karbon. Standar ASTM seperti ASTM F138, F899, dan F2181 menetapkan baja tahan karat untuk implan. Tipe 316 dikenal karena penambahan molibdenum (Mo), yang meningkatkan ketahanan korosinya terhadap larutan yang mengandung ion khlorida (Cl⁻). Tipe 316L dikenal karena penurunan kadar karbon (C) dari 0,08% ke 0,03% dan meningkatkan ketahanan terhadap korosi intergranular dan sensitisasi.

Paduan tempa Co-Ni-Cr-Mo umumnya digunakan untuk membuat implan gigi dan sendi buatan disebabkan ketahanan ausnya yang tinggi. Implan panggul dan lutut, misalnya, terbuat dari bahan Co-Ni-Cr-Mo. Paduan tersebut sangat mirip dengan baja tahan karat. Dengan rapat massa hanya 4,5 g/cm³, Ti adalah logam

yang sangat ringan. Ini berbeda dengan SS316L (7,9 g/cm³) dan paduan Co-Cr-Mo (8,3 g/cm³). Pada saat dipadukan dengan Ni, paduan Ti-Ni, juga disebut Nitinol, memiliki efek *shape memory effect* yang dapat digunakan sebagai aplikasi khusus seperti kawat. Standar ASTM meliputi titanium dan bahan terkaitnya untuk penggunaan medis (Hermawan, 2019).

Dalam kedokteran gigi, logam mulia seperti perak (Ag). Platina (Pt) dan emas (Au) dan paduannya lebih dikenal karena kemampuan mereka untuk dicor dengan baik, serta keuletan dan ketahanan korosi yang tinggi. Paduan Au-Ag-Cu digunakan untuk menyolder gigi jika ditambahkan seng (Zn) dan timah (Sn). Au-Pt-Pd juga digunakan untuk reparasi gigi porcelin yang terikat pada logam.

Logam lain yang dapat digunakan dalam implan termasuk paduan amorf, tantalum (Ta), dan logam biodegradabel. Karena kerentanan magnetiknya yang rendah dan ketajaman gambar X-raynya yang tinggi, Ta sering digunakan sebagai penanda X-ray untuk stent. Namun, logam amorf memiliki kekuatan lelah, kekuatan tarik, ketahanan aus, dan ketahanan korosi yang lebih tinggi daripada logam kristalin. Paduan amorf berbasis zirkonium (Zr), yang memiliki modulus elastisitas rendah, dapat digunakan untuk implan tulang mini. Paduan amorf magnesium (Mg) juga memiliki perilaku degradasi yang menarik, dengan evolusi hidrogen tidak teramati (Sukmana et al., 2022).

9.3 Biomaterial Logam

9.3.1 Paduan bebas nikel

Para peneliti sangat menginginkan agar implan logam bebas dari efek toksik yang dapat muncul akibat korosi, keausan, dan peluruhan elemen paduan. Diganti dengan bahan paduan lain untuk mempertahankan kestabilan fasa austenit, baja tahan karat telah dikembangkan menjadi bebas kandungan Ni. Ini

menghasilkan paduan Fe-Cr-N, Fe-Cr-Mo-N dan Fe-Cr-MnMo-N dengan nitrogen.

9.3.2 Paduan bermodulus elastisitas rendah

Untuk mengurangi efek pelindung beban (efek pelindung beban), biomaterial logam diharapkan memiliki modulus elastisitas rendah dan memiliki ketahanan aus dan kemampuan membentuk yang tinggi. Modulus elastisitas paduan Ti-Nb, seperti Ti-29Nb13Ta-4.6Zr dan Ti-35Nb-4Sn, dapat turun ke 50-60 GPa, hampir sama dengan modulus elastisitas tulang kortikal (10-30 GPa). Dengan meningkatkan kandungan C dan penambahan Zr dan N, ketahanan aus paduan cor Co-Cr telah ditingkatkan. Pengerasan presipitat yang optimal memungkinkan pembentukan dan distribusi partikel halus karbida serta mencegah munculnya fasa sigma. Penambahan N juga membantu mempertahankan bentuk paduan tempa Co-Cr. Ini karena penambahan N mencegah pembentukan karbida dan fasa intermetalik.

9.3.3 Logam porous

Struktur tulang kortika memiliki modulus elastisitas lebih tinggi dibandingkan logam porous. Struktur logam porous dapat dibuat melalui proses metalurgi serbuk, teknik penyimpanan ruang, metode dekomposisi zat pengembang, rapid prototyping, dan 3D printing. Beberapa proses yang menjanjikan untuk pengembangan logam porous adalah kombinasi dari rapid prototyping dengan pengecoran, metalurgi serbuk, dekomposisi fiber 3D, dan laser melting pilihan. Teknik manufaktur rapid prototyping yang dikenal sebagai manufaktur *solid free form* telah berhasil menghasilkan struktur kompleks untuk perancah tulang.

9.3.4 Logam amorf

Logam amorf adalah logam kelas baru. Sifat mekanik menarik logam amorf bebas Ni berbasis Zr termasuk kekuatan tarik, modulus elastisitas, dan ketahanan korosi yang lebih tinggi daripada paduan kristalinnya. Resistensi tinggi logam-logam ini terhadap kristalisasi selama proses pendinginan memungkinkan pembentukan struktur amorf yang besar.

9.3.5 Logam biodegradabel

Konsep biomaterial aktif muncul sebagai bagian dari perkembangan terbaru dalam bioteknologi. Bioaktivitas meningkatkan hubungan positif antara implan dan jaringan sekitarnya. Sektor tertentu, seperti rekayasa jaringan, membutuhkan tingkat aktivitas biologi tertentu, karena interaksi langsung antara biomaterial dan komponen jaringan sangat penting. Dalam beberapa situasi, kemampuan biomaterial hanya diperlukan untuk sementara waktu selama proses penyembuhan dan diharapkan akan hancur setelahnya. Salah satu biomaterial yang paling awal diteliti dan digunakan adalah polimer biodegradable.

9.4 Biomaterial Non Logam

Keramik, polimer, dan komposit merupakan biomaterial non logam.

9.4.1 Keramik

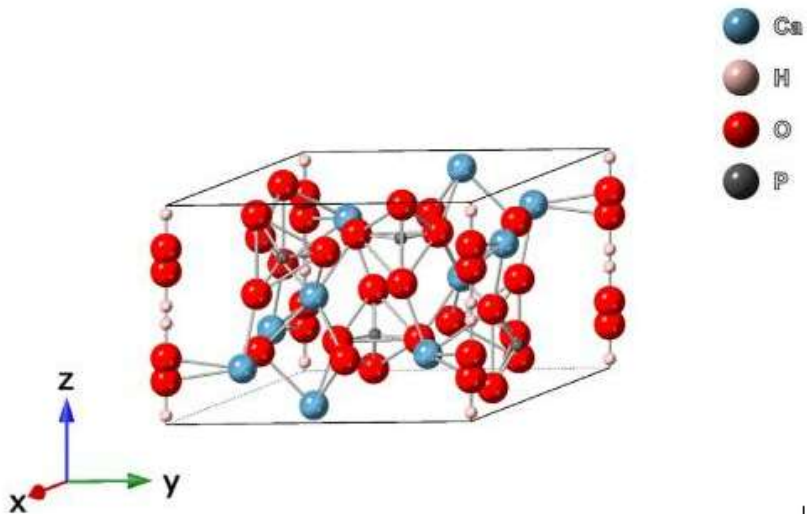
Biomaterial keramik, juga dikenal sebagai biokeramik, terdiri dari tiga kategori: pertama adalah biokeramik inert, seperti zirconia, alumina, aluminium nitrid, dan karbon; kedua adalah biokeramik aktif, seperti hidroksiapatit, bioglas, dll; dan ketiga adalah keramik biodegradabel, seperti kalsium aluminat, kalsium fosfat, dll.

Bioglass dan keramik adalah biomaterial yang bagus yang digunakan untuk penggantian tulang. Komposit, kaca mesopori, dan keramik nanokristalin dapat menjadi biomaterial masa depan karena memiliki luas permukaan tinggi, tahan korosi, dan sifat mekanik yang lebih baik. Jalur sintesis halus seperti sol-gel dan manufaktur aditif dapat digunakan untuk mengontrol porositas biomaterial dengan distribusi pori-pori yang seragam. Selain itu, bioglass dan biokeramik dapat dibuat dengan mudah dari limbah pangan. Mereka dapat disesuaikan sesuai dengan kebutuhan dan aplikasinya. Karena zat organik terikat dengan bahan anorganik, sumber daya berkelanjutan ini juga menunjukkan porositas yang melekat. Bioaktivitas keramik berkurang seiring dengan peningkatan kristalinitas. Biomaterial nano-kristal dan komposit dapat mengoptimalkan kedua sifat tersebut (Punj et al., 2021).

Hidroksiapatit adalah salah satu biomaterial aktif non-logam yang sedang diteliti. Hidroksiapatit dapat digunakan dalam banyak bidang yang tidak berhubungan dengan medis. Ini termasuk katalis, sensor gas, sensor kimia untuk kolom kromatografi cair, dan bahan untuk pengolahan air limbah. Suhu, pengotor, dan keberadaan molekul air menentukan berbagai bentuk kalsium fosfat. Rasio Ca/P, kristalinitas, dan kemurnian fasa menentukan sifat bioaktivitas dan perilaku degradasi.

Hidroksiapatit memiliki struktur kimia yang kompleks, dengan rasio Ca/P 1,67, simetri heksagonal S.G. $P6_3/m$ dengan parameter kisi $a = 0,95$ nm dan $c = 0,68$ nm [19,33], dan merupakan garam kalsium fosfat paling stabil di suhu normal dan pH antara 4 dan 12. Ion Ca^{2+} , PO_4^{3-} , dan OH^- tersebar pada 2 bagian simetris sel satuan dan setiap sel satuan HAp mengandung 10 atom Ca^{2+} yang tersebar di 2 lokasi, 6 ion PO_4^{3-} dalam tetrahedron, dan 2 ion OH^- mengelilingi ion Ca^{2+} di sudut sel satuan. Struktur apatit mempunyai gugus karbonat pada dua posisi: substitusi OH^- yang menghasilkan apatit karbonat tipe A atau

substitusi $[PO_4]^{3-}$ yang menghasilkan apatit tipe B. Ketika suhu tinggi digunakan dalam proses sintesis, apatit tipe A diperoleh.



Gambar 9.4. Struktur molekul hidroksiapatit ($Ca_{10-x}(PO_4)_6-x(HPO_4)_x(OH)_{2-x}$ ($x=0-1$) (Sumber: Filip et al., 2022)

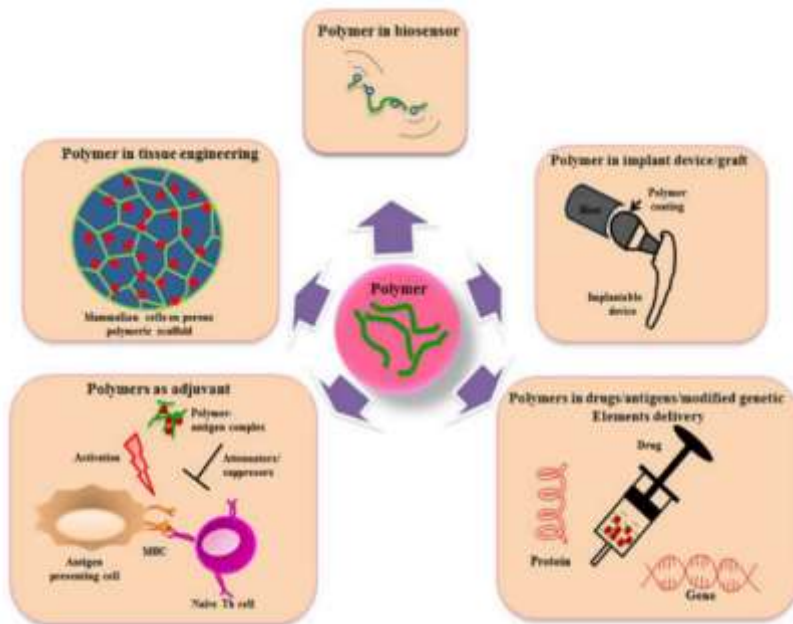
9.4.2 Polimer

Biopolimer, atau biomaterial polimer, memiliki keunggulan besar dibandingkan dengan logam dan keramik karena mereka dapat dibuat dalam berbagai bentuk dengan mudah. Biopolimer terdiri dari dua kategori:

1. Tidak dapat diserap (non-absorbable) misalnya, akrilik, nylon, polietilen, dll.
2. Dapat diserap (absorbable) misalnya, poliglaktik asid dan polilaktik asid.

Mereka dapat berbentuk padat atau jeli, atau mereka dapat berbentuk lapisan tipis di permukaan implan logam dengan sifat

mekanik dan fisik yang dapat diubah. Kemajuan terbaru termasuk penerapan polimer absorbabel sebagai lapisan obat pada ring jantung yang mengeluarkan obat.

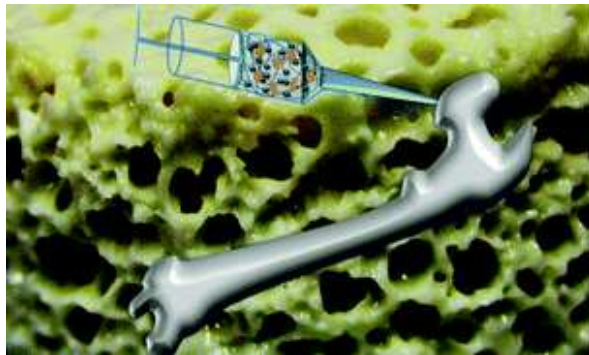


Gambar 9.5. Aplikasi Polimer (Sumber: Shakya & Nandakumar, 2012)

Representasi rencana untuk berbagai penggunaan polimer dalam bidang biomedis. Polimer dapat digunakan dalam rekayasa jaringan sebagai perancah untuk pertumbuhan sel mamalia, untuk mengaktifkan atau menekan respon imun, dalam biosensor, untuk membawa obat, antigen, atau elemen genetik yang dimodifikasi, dan untuk melapisi perangkat implan atau cangkok untuk mengurangi penolakan.

9.4.3 Komposit

Tulang adalah biomaterial dengan struktur porus dan terisi cairan tubuh. Terdiri dari matrik organik dengan modulus elastis rendah dan penguat fiber mineral dengan modulus elastis tinggi. Komposit memungkinkan material yang kaku, kuat, tangguh, dan ringan bergabung. Biomaterial komposit dapat berupa tambalan gigi, implan ortopedik berstruktur porus, dan semen tulang, yang merupakan resin polietilen yang diperkuat akrilik



Gambar 9.6. Komposit hidrogel injeksi biodegradable berbasis sitrat untuk aplikasi ortopedi (Sumber: Gyawali et al., 2013)

Bahan komposit injeksi berbasis sitrat yang dirancang untuk aplikasi ortopedi terdiri dari hidroksiapatit (HA) yang dapat terurai secara hayati dan polietilen glikol maleat sitrat (PEGMC). PEGMC mengandung banyak gugus karboksilat yang dapat mengkelat dengan HA yang mengandung kalsium, yang memudahkan interaksi polimer/HA. Interaksi ini mirip dengan kristal apatit terikat sitrat alami. Ikatan silang polietilen glikol diakrilat (PEGDA) dengan komposit PEGMC/HA memungkinkan kontrol tambahan terhadap degradasi dan sifat mekanik komposit PEGMC/HA yang berikatan silang. Studi enkapsulasi osteoblas janin manusia menunjukkan bahwa komposit CPEGMC/HA dapat berfungsi sebagai pembawa sel yang ideal yang dapat disuntikkan.

Sebuah penelitian *ex vivo* pada kepala femur babi menunjukkan bahwa PEGMC/HA adalah bahan suntik tulang yang dapat terbiodegradasi dan dapat digunakan sebagai pengobatan untuk osteonekrosis kepala femoral. Pengembangan komposit PEGMC/HA injeksi berbasis sitrat yang dapat terbiodegradasi merupakan langkah pertama menuju generasi berikutnya dari rekayasa jaringan tulang dan biomaterial ortopedi (Gyawali et al., 2013).

9.5 Regulasi Biomaterial

Pada akhirnya, agar biomaterial dapat digunakan secara klinis, harus mendapat izin dari berbagai lembaga, seperti FDA (*Food and Drug Administration*) di Amerika Serikat atau tanda persetujuan eropa (CE) di Uni Eropa. Jika secara substansi sebanding dengan produk yang dijual sebelum undang-undang FDA tahun 1976, biomaterial dapat menerima izin Premarket Approval (PMA). Jika tidak, biomaterial harus melalui berbagai tahap evaluasi biokompatibilitas terstruktur. Dirjen Bina Kefarmasian dan Alat Kesehatan Indonesia membuat pedoman izin edar biomaterial dan alkes tahun 2014.

Untuk alasan biokompatibilitas dan biofungsionalitas, keramik dan polimer dapat menggantikan logam dalam beberapa aplikasi. Namun, logam tidak dapat digunakan sebagai pengganti untuk implan yang memerlukan kekuatan, ketangguhan, dan daya tahan. Logam akan terus digunakan sebagai biomaterial di masa depan berkat biofungsionalitas dan aplikasi revolusioner seperti implan biodegradabel.

Tujuan dari pengembangan ini adalah untuk mencapai unjuk kerja klinik terbaik dari implan dengan menggabungkan keunggulan mekanik logam dengan biofungsionalitas keramik dan polimer. Indonesia akan dapat mencapai kemandirian dalam biomaterial dan alat kesehatan yang dikemas dengan bantuan ahli, industri lokal, dan pemerintah

DAFTAR PUSTAKA

- Aherwar, A., Singh, A. K., & Patnaik, A. 2015. Current and future biocompatibility aspects of biomaterials for hip prosthesis. *AIMS Bioengineering*, 3(1).
- Ariga, K., Hill, J. P., Lee, M. V, Vinu, A., Charvet, R., & Acharya, S. 2008. Challenges and breakthroughs in recent research on self-assembly. *Science and Technology of Advanced Materials*.
- Cahyanto, A. 2009. Biomaterial. *Departemen Ilmu Dan Teknologi Material Kedokteran Gigi. Universitas Padjadjaran. Bandung*.
- Dabbs, D. M., & Aksay, I. A. 2000. Self-assembled ceramics produced by complex-fluid templation. *Annual Review of Physical Chemistry*, 51(1), 601–622.
- Dee, K. C., Puleo, D. A., & Bizios, R. 2003. *An introduction to tissue-biomaterial interactions*. John Wiley & Sons.
- Filip, D. G., Surdu, V.-A., Paduraru, A. V., & Andronescu, E. 2022. Current Development in Biomaterials—Hydroxyapatite and Bioglass for Applications in Biomedical Field: A Review. *Journal of Functional Biomaterials*, 13(4), 248.
- Gobbi, S. J., Reinke, G., Gobbi, V. J., Rocha, Y., Sousa, T. P., & Coutinho, M. M. 2020. Biomaterial: concepts and basics properties. *Eur. Int. J. Sci. Technol*, 9, 23–42.
- Gyawali, D., Nair, P., Kim, H. K. W., & Yang, J. 2013. Citrate-based biodegradable injectable hydrogel composites for orthopedic applications. *Biomaterials Science*, 1(1), 52–64.
- Hermawan, H. 2019. *Pengenalan pada biomaterial*.
- Punj, S., Singh, J., & Singh, K. 2021. Ceramic biomaterials: Properties, state of the art and future prospectives. *Ceramics International*, 47(20), 28059–28074.
- Schmalz, G., & Arenholt-Bindslev, D. 2009. *Biocompatibility of dental materials* (Vol. 1). Springer.

- Shakya, A. K., & Nandakumar, K. S. 2012. Polymers as immunological adjuvants: An update on recent developments. *Journal of BioScience & Biotechnology*, 1(3).
- Sukmana, I., Risano, A. Y. E., Wicaksono, M. A., & Saputra, R. A. 2022. Perkembangan dan Aplikasi Biomaterial dalam Bidang Kedokteran Modern: A Review. *INSOLOGI: Jurnal Sains Dan Teknologi*, 1(5), 635–646.
- Whitesides, G. M., Mathias, J. P., & Seto, C. T. 1991. Molecular self-assembly and nanochemistry: a chemical strategy for the synthesis of nanostructures. *Science*, 254(5036), 1312–1319.
- Zhu, H., Guo, D., Sun, L., Li, H., Hanaor, D. A. H., Schmidt, F., & Xu, K. 2018. Nanostructural insights into the dissolution behavior of Sr-doped hydroxyapatite. *Journal of the European Ceramic Society*, 38(16), 5554–5562.

BAB 10

MATERIAL BETON DAN KAYU

Oleh Fredy Picauly

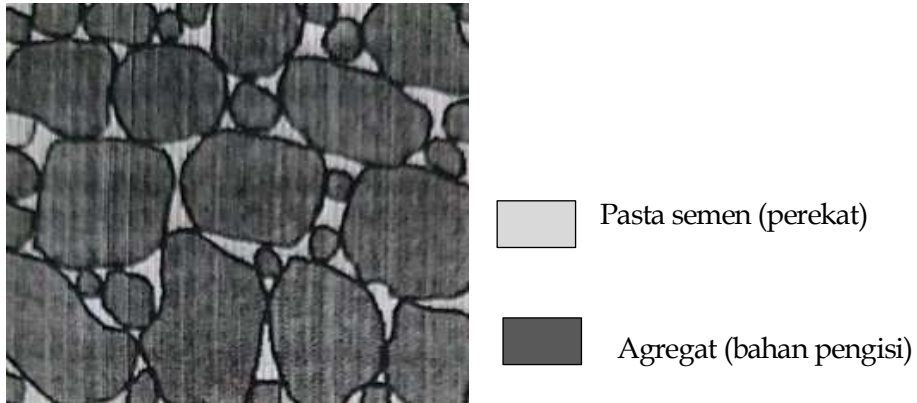
10.1 Pendahuluan

Selama berabad-abad, beton dan kayu telah menjadi bahan konstruksi utama. Keduanya memiliki keunggulan yang berbeda, yang membuatnya sangat berharga untuk berbagai jenis bangunan. Beton sebagai bahan komposit yang dibuat dari campuran semen, agregat, air dan bahan tambah lainnya, memiliki kekuatan yang tinggi, daya tahan yang luar biasa, dan kemampuan untuk membuat bentuk-bentuk konstruksi yang kompleks. Sebaliknya, kayu, sebagai bahan alami, menawarkan sifat mekanik yang unggul, kehangatan alami, dan estetika yang unik. Beton adalah bahan konstruksi yang populer dan serbaguna, sangat cocok untuk struktur yang membutuhkan stabilitas dan ketahanan dalam jangka panjang karena sifatnya yang kuat memikul beban dan tahan terhadap api. Sebaliknya, kayu telah digunakan sebagai bahan konstruksi sejak lama. Salah satu bahan bangunan yang paling berkelanjutan, terbarukan, dan ramah lingkungan adalah kayu. Keunggulan utama kayu adalah beratnya yang ringan, sehingga pembangunan dan transportasinya lebih mudah.

10.2 Material Beton dan Bahan Penyusunnya

Beton adalah material komposit yang terdiri dari pasta yang dibuat dari campuran semen, air, serta agregat (seperti pasir, kerikil, atau batu pecah). Pasta semen akan mengisi celah kosong diantara agregat dan setelah dicampur, campuran tersebut akan mengeras menjadi suatu massa kokoh yang kuat dengan sifat

mekanik yang baik. (Tjokrodinuljo, 2007). Potongan penampang beton dapat dilihat dalam Gambar 10.1.



Gambar 10.1. Potongan Penampang Beton
(Sumber : Tjokrodinuljo, 2007)

Beberapa keunggulan beton antara lain adalah:

1. Mempunyai kuat tekan yang tinggi sehingga mampu menahan beban yang berat
2. Memiliki daya tahan terhadap suhu tinggi
3. Biaya untuk perawatan relatif rendah
4. Tahan terhadap perubahan cuaca (kondisi alam)
5. Dapat dibentuk/dicetak dalam berbagai bentuk dan ukuran

Kelebihan-kelebihan ini menjadikan beton sebagai bahan konstruksi yang populer dan andal dalam berbagai aplikasi. Namun, perlu diingat bahwa penggunaan yang tepat dan perawatan yang cermat sangat penting untuk memastikan beton mencapai kinerja yang optimal dan masa pakai yang panjang. Meskipun demikian, beton juga memiliki kelemahan sebagai berikut: (Nugraha dan Antony, 2007).

1. Memiliki kuat tarik rendah
2. Memiliki bobot yang berat (2200 kg/m^3)
3. Mudah retak
4. Kualitasnya sangat tergantung pelaksanaan di lapangan

10.2.1 Komponen Utama Penyusun Beton

Beton biasanya terbuat dari semen, pasir, dan kerikil bersama dengan air. Dengan mengkombinasikan semua material tersebut maka diperoleh material baru yaitu beton. Di sini akan dibahas tentang bahan-bahan dasar yang digunakan untuk membuat beton tersebut.

1. Semen Portland

Semen Portland adalah salah satu jenis semen yang paling umum digunakan di seluruh dunia untuk pembuatan beton, plester, mortar, dan banyak aplikasi konstruksi lainnya. Nama "Portland" berasal dari pulau Portland di Inggris, di mana warna batu dari pulau tersebut mirip dengan warna semen yang diproduksi. Semen memiliki kemampuan untuk mengikat butiran agregat halus dan kasar menjadi suatu massa padat setelah mengalami proses pengerasan. Semen adalah produk industri yang sangat kompleks, dengan berbagai campuran dan susunan. Ada dua kategori semen yaitu semen hidrolik dan non-hidrolik. Semen hidrolik adalah jenis semen yang mengeras ketika dicampur dengan air karena reaksi kimia yang terjadi antara komponen semen dan air. Proses pengerasan ini disebut hidrasi. Contoh semen hidrolik antara lain: semen portland. Semen non-hidrolik adalah jenis semen yang mengeras ketika bereaksi dengan udara, bukan dengan air. Proses ini disebut karbonisasi, di mana semen bereaksi dengan karbon dioksida, contoh semen non-hidrolik adalah kapur. (Nugraha dan Antony, 2007). Jenis semen hidrolik dapat dilihat dalam Gambar 9.2.



Gambar 10.2. Jenis Semen Hidrolik

(Sumber: <https://solusibetonreadymix.com/blog/bagaimana-beton-dibuat/>)

Semen portland terbentuk dari bahan dasar berupa kapur, silika, alumina dan oksida besi seperti ditunjukkan dalam tabel 10.1. (Tjokrodinuljo, 2007)

Tabel 10.1. Unsur Penting dari Semen portland

Unsur Kimia	Simbol	Persen
Kapur	CaO	60 - 65
Silika	SiO ₂	17 - 25
Alumina	Al ₂ O ₃	3 - 8
Besi	Fe ₂ O ₃	0.5 - 6
Magnesia	MgO	0.5 - 4
Sulfur	SO ₃	1 - 2
Soda/potash	Na ₂ O + K ₂ O	0.5 - 1

Sumber: Tjokrodinuljo, 2007

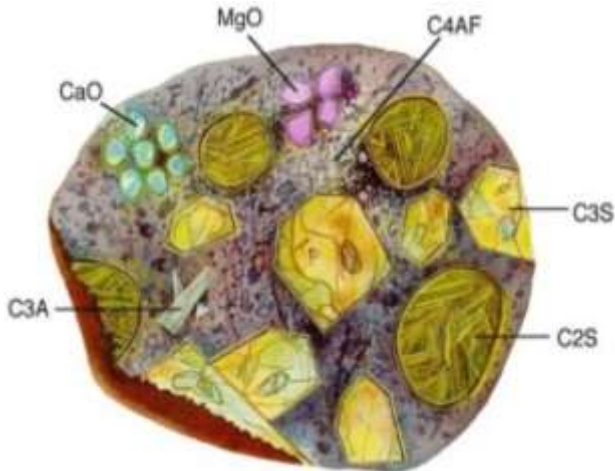
Reaksi antara oksida–oksida tersebut akan membentuk produk yang lebih kompleks, namun terdapat 4 senyawa yang paling penting yaitu seperti ditunjukkan dalam Tabel 10.2 (Nugraha dan Antony, 2007)

Tabel 10.2. Komponen Utama Semen Portland

Komponen	Formula Kimia	Fungsi dan Karakteristik
Trikalsium Silikat	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	Penyumbang utama kekuatan awal terutama pada 7 hari pertama, menghasilkan panas saat hidrasi.
Dikalsium Silikat	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	Penyumbang utama untuk kekuatan jangka panjang (setelah 7 hari).
Trikalsium Aluminat	$3\text{CaO} \cdot \text{AlO}_3$	Bereaksi cepat dengan air, dapat menghasilkan panas dengan cepat, mempengaruhi ketahanan terhadap serangan sulfat.
Tetrakalsium Aluminoferrit	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	Merupakan komponen minor dalam semen Portland, Mempengaruhi warna dan panas hidrasi.

Sumber: Nugraha and Antony, 2007

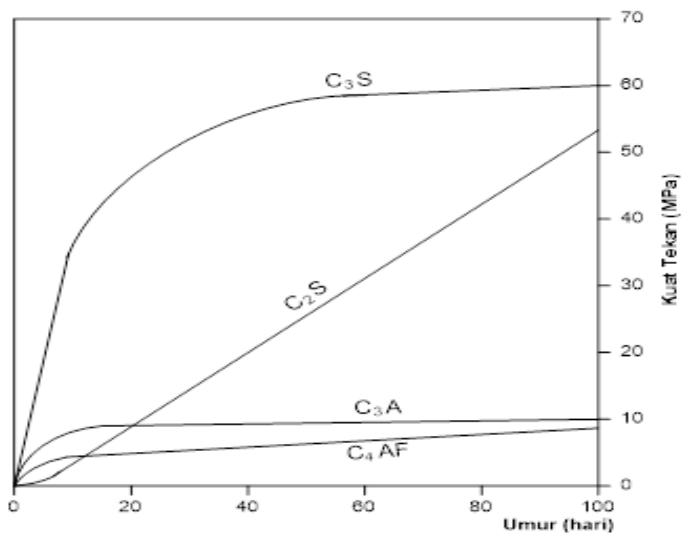
Menurut Tjokrodimuljo (2007), senyawa pertama, C_3S , dan senyawa kedua, C_2S , masing-masing membentuk 70% hingga 80% dari berat semen sehingga merupakan komponen yang paling banyak berpengaruh pada sifat-sifat semen. Hidrasi semen adalah hasil dari interaksi antara semen dan air. Senyawa C_3S bereaksi dengan air dan menghasilkan panas yang berpengaruh pada kecepatan beton mengeras sebelum hari ke-14. Sebaliknya, senyawa C_2S bereaksi lebih lambat dengan air dan mempengaruhi semen setelah 7 hari. C_2S melindungi terhadap serangan kimia dan mengurangi panas lingkungan. Senyawa kimia pada semen dapat dilihat dalam Gambar 10.3 dibawah ini.



Gambar 10.3. Senyawa Kimia yang Terdapat Pada Semen
(Sumber: <https://www.arsitur.com/2019/06/senyawa-kimia-pada-semen>)

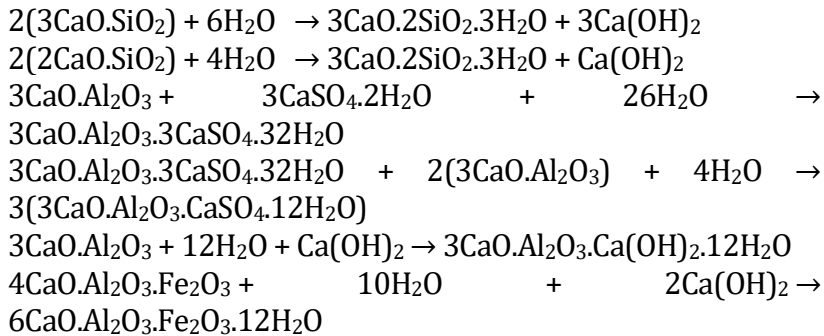
Selama 24 jam pertama, senyawa ketiga, C_3A , bereaksi dengan air (sekitar 40% berat) dan karena kandungannya dalam semen hanya 10%, unsur ini sangat mempengaruhi nilai panas hidrasi, baik saat awal maupun saat pengerasan, oleh

sebab itu, banyaknya air untuk keperluan reaksi tidak terpengaruh secara signifikan. Semen dengan kandungan unsur C_3A lebih dari 10% tidak bertahan terhadap serangan sulfat. Senyawa ke empat, C_4AF memiliki kontribusi tidak signifikan terhadap kekerasan beton jika dibandingkan dengan pada hidrasi C_3S dan C_3A . Senyawa C_4AF berperan dalam pemberian warna semen. Semen yang mengandung C_4AF tinggi cenderung berwarna abu-abu hingga hitam, (Bullard dkk, 2011). Hubungan antara usia dan kuat tekan beton diperlihatkan dalam Gambar 10.4. Ketika semen bersentuhan dengan air, proses hidrasi akan terjadi. Bahan kimia dalam semen bereaksi dengan air dan membentuk senyawa baru dan menyebabkan beberapa produk reaksi terutama $3CaO.2SiO_2.nH_2O_{(s)}$, $3CaO.Al_2O_3.3CaSO_4.nH_2O_{(s)}$, $3CaO.Al_2O_3.nH_2O_{(s)}$, $3CaO.Fe_2O_3.nH_2O_{(s)}$, dan $CaOH_{2(aq)}$. (Taylor, 1997), (Mindess, 1981 dalam Tjokrodinuljo, 2007).



Gambar 10.4. Hubungan Umur dan Kuat Tekan Unsur-Unsur Semen. (Mindess, 1981 dalam Tjokrodinuljo, 2007)

kombinasi dari semua hasil reaksi ini dan komponen pereaksi yang tersisa disebut silikat hidrat (C-S-H gel), Proses hidrasi pada semen akan menghasilkan beberapa reaksi sebagai berikut: (Tjokrodinuljo, 2007)



Reaksi air dengan C_3S dan C_2S pada proses hidrasi akan membentuk trikalsium silikat hidrat, atau dikenal dengan gel tobermorite atau C-S-H gel, dan $\text{Ca}(\text{OH})_2$, sedangkan kalsium trisulfoaluminat hidrat (AFt atau ettringite) atau kalsium monosulfoaluminat hidrat (AFm atau monosulfate) akan dihasilkan dari hidrasi C_3A dengan kalsium sulfat. Tanpa kalsium sulfat, C_3A membentuk tetrakalsium aluminat hidrat ketika air bereaksi dengan kalsium hidrosida, dan kalsium aluminoferrit hidrat terbentuk ketika C_4AF bereaksi dengan air. (Ramezaniapour, 2014).

2. Agregat

Komponen utama campuran beton adalah agregat. Secara umum, agregat merujuk pada butiran-butiran atau partikel mineral yang bersumber dari alam (dikenal sebagai agregat alam), yang digunakan dalam produksi beton atau mortar. Agregat yang dibentuk oleh proses aliran sungai biasanya berbentuk bulat dan licin, sedangkan agregat yang dibentuk oleh proses degradasi biasanya berbentuk kotak

kubus atau bersudut dengan permukaan kasar. Agregat, yang juga disebut sebagai material granular, digunakan dalam adukan beton sebagai pengisi. Ini merupakan bagian utama dari mortar atau beton dan membentuk 60% hingga 70% dari volume total beton. Oleh karena itu, kualitas agregat sangat memengaruhi kualitas beton yang dibuat. (Tokyay, 2016) Agregat dapat digolongkan atas agregat kasar dan agregat halus.

a) Agregat kasar

Agregat kasar (*coarse aggregate*), adalah kerikil dengan butiran antara 5 mm dan 40 mm yang berasal dari batu pecah yang dihasilkan oleh mesin pemecah batu, (*stone crusher*) atau dapat berasal dari batuan yang dipecahkan secara alami. Bentuk dari agregat kasar (batu pecah) dapat dilihat dalam Gambar 9.5. Syarat yang harus dipenuhi agar agregat kasar dapat digunakan dalam campuran beton adalah sebagai berikut, (Tjokrodinuljo, 2007).

- 1) Kuat (keras) dan tidak memiliki rongga (pori-pori). Jika jumlah butiran berbentuk pipih tidak melebihi 20% dari berat agregat seluruhnya, maka masih dapat digunakan.
- 2) Kandungan lumpur lebih kecil dari 1 % berat kering. Agregat kasar harus dicuci terlebih dahulu jika melebihi batas maksimum
- 3) Tidak mengandung zat yang bersida alkali, yang dapat merusak beton.
- 4) Angka kehalusan (*Fineness Modulus*) adalah sekitar 6 – 7,5.



Gambar 10.5. Agregat Kasar (batu pecah)

(Sumber:

<https://solusibetonreadymix.com/blog/bagaimana-beton-dibuat>)

b) Agregat halus

Agregat halus biasanya digunakan untuk mengisi sela-sela diantara agregat kasar. Untuk kebutuhan pembuatan beton, agregat halus yang digunakan berupa pasir alam yang diperoleh dari hasil disintegrasi secara alami dengan ukuran 0,15 mm hingga 5 mm, dan terdiri dari pasir kasar (*Coarse Sand*) dan pasir halus (*Fine Sand*). Agar dapat digunakan pada beton, agregat halus harus memenuhi ketentuan berikut (Kett, 2000):

- 1) Kandungan lumpur tidak lebih besar dari 5% dari berat kering. Jika melebihi batas maka harus dicuci terlebih dahulu.
- 2) Harus terdiri dari butiran yang beraneka ragam besarnya.
- 3) Tidak mengandung bahan organik.
- 4) Modulus kehalusan (*Fineness Modulus*) berkisar diantara 3,2 hingga 4,5 untuk pasir kasar (*Coarse Sand*)

- 5) Modulus kehalusan (*Fineness Modulus*) berkisar antara 2,2 hingga 3,2 untuk pasir halus (*Fine Sand*)

Jenis agregat halus (pasir) dapat dilihat pada Gambar 10.6 berikut.



Gambar 10.6. Agregat Halus (pasir)

(Sumber: <https://solusibetonreadymix.com/blog/bagaimana-beton-dibuat>)

3. Air

Salah satu komponen penting yang mempengaruhi kualitas, kekuatan, dan kinerja beton adalah penggunaan air. Peranan air sangat penting dalam reaksi kimia yang terjadisaat beton mengeras, yang disebut hidrasi semen. Peran penting air dalam campuran beton adalah sebagai berikut: (Murdock dan Brook, 1986)

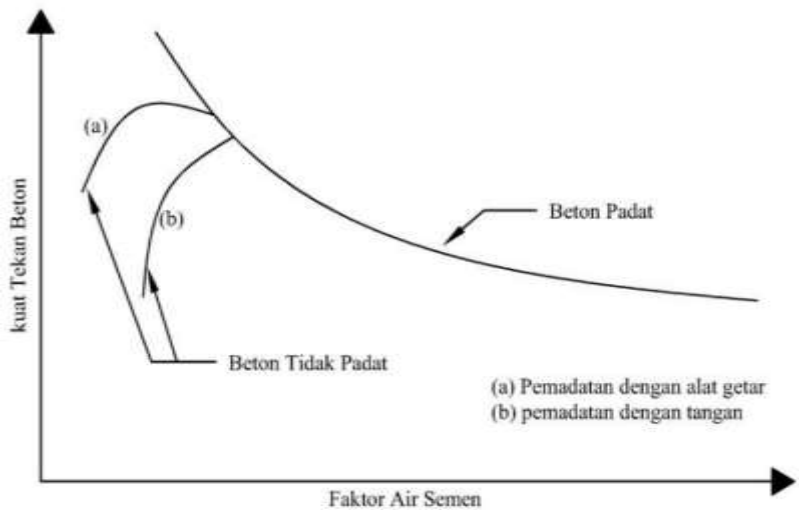
- a. Hidrasi semen. Saat dicampur dengan air, terjadi reaksi kimia yang dikenal sebagai hidrasi. Produk utama hasil dari hidrasi adalah Gel kalsium silikat hidrat (C-S-H), yang membentuk matriks padat yang mengikat agregat, dan memberikan stabilitas dan kekuatan pada beton.

- b. Kemudahan dalam pelaksanaan. Air membuat campuran beton menjadi plastis sehingga dapat dicor, dicetak, atau dikerjakan sesuai kebutuhan sebelum mengeras.
- c. Ikatan kimia. Air sebagai media untuk terjadinya reaksi kimia dalam proses hidrasi. Kekurangan air dapat menghambat hidrasi semen, mengurangi kekuatan dan kinerja beton.

Syarat air yang digunakan untuk mencampur beton menurut SNI 03-6861.1-2002, adalah :

- a. Bebas dari lumpur, minyak, dan lain-lain (bersih)
- b. Tidak mengandung zat tersuspensi dengan konsentrasi diatas 2 gr/liter.
- c. Kandungan berupa asam-asam, zat organik, dan lainnya lebih kecil dari 15 gr/liter.
- d. Kandungan klorida (Cl) tidak lebih dari 0.50 gr/liter, dan senyawa sulfat tidak lebih dari 1 gram/liter

Secara umum air yang digunakan untuk campuran beton minimal harus memenuhi syarat sebagai air minum, namun jika syarat ini tidak terpenuhi maka dapat digunakan air yang ada setelah melalui pemeriksaan kualitas air. Jumlah/banyaknya air dalam campuran beton dinyatakan sebagai faktor air semen (FAS), yaitu berat air dibagi dengan berat semen.



Gambar 10.7. Hubungan FAS dengan Kuat Tekan Beton
(Sumber: Mindess, Young dan Darwin, 2003)

Semakin tinggi nilai FAS (air banyak) maka akan memudahkan dalam pengerjaannya (*workability*) tetapi akan menghasilkan mutu beton yang rendah, sebaliknya jika nilai FAS rendah (air sedikit) maka campuran beton akan sulit dikerjakan namun kekuatan beton yang dihasilkan akan semakin baik, sehingga kuat tekan beton sangat tergantung pada faktor air semen. Seperti ditunjukkan dalam Gambar 10.7.

4. Bahan Tambah (*admixture*) pada Campuran Beton

Bahan tambah (*admixture*) adalah bahan yang ditambahkan ke dalam campuran beton pada saat pencampuran untuk memodifikasi sifat-sifat beton segar atau keras selain air, agregat, dan semen. Tujuannya adalah untuk memperbaiki kualitas, meningkatkan kinerja, atau memenuhi spesifikasi khusus dari beton, (ASTM C125-1995, ACI SP-19, 1985). Bahan tambah telah banyak digunakan di Indonesia.

Bahan tambah yang digunakan harus sesuai dengan standar SNI 03-2495-1991, sedangkan untuk bahan kimia harus memenuhi ('ASTM C.494, *Standard Specification for Chemical Admixture for Concrete*). Tujuan penggunaan bahan tambah seperti tertuang dalam (*American Concrete Institute (ACI), Manual of Concrete Practice, 2017*) adalah:

- A. *Memodifikasi beton segar, mortar dan grouting*
Sifat campuran beton yang ingin dicapai adalah:
 - a. Mudah dalam pengerjaan tanpa menambah air
 - b. Meningkatkan dan atau menghambat waktu yang diperlukan untuk pengikatan awal campuran beton
 - c. Mencegah berubahnya volume beton
 - d. Menurunkan tingkat segregasi
 - e. Ketika dipompa sifat penetrasi pada beton segar akan baik.
 - f. Mencegah hilangnya nilai slump
- B. *Memodifikasi beton keras, mortar dan grouting*
Sifat yang ingin dicapai adalah:
 - a. Mengurangi panas yang dihasilkan oleh hidrasi beton
 - b. Mempercepat laju pengerasan beton saat usia muda
 - c. Menaikan kekuatan beton
 - d. Membuat beton lebih awet terutama terhadap serangan garam sulfat
 - e. Mengurangi sifat permeabilitas dan kapilaritas air
 - f. Menjadikan kualitas menjadi lebih baik
 - g. Memberi warna tertentu pada mortar atau beton

Secara umum jenis bahan tambah yang biasanya dipakai pada beton adalah bahan tambah berupa bahan kimia (*chemical admixture*) dan bahan berupa mineral (*additive*). Yang termasuk bahan tambah kimia (*chemical admixture*) menurut ASTM C.494 adalah :

1. **Type A, *Water-Reducing Admixtures***
Water-Reducing Admixture atau dikenal sebagai bahan tambah untuk mengurangi pencampuran air.
2. **Type B, *Retarding Admixture*.**
 Untuk menghambat waktu pengikatan beton, memberikan waktu lebih lama untuk pengerjaan dan penyelesaian
3. **Type C, *Accelerating Admixture***
 Bahan untuk meningkatkan pengikatan dan kekuatan awal beton atau mengurangi lama waktu pengeringan beton.
4. **Type D, *Retarding Admixtures and Water Reducing***
 Digunakan untuk menghambat ikatan awal beton dan mengurangi air.
5. **Type E, *Accelerating Admixtures and Water Reducing***
 Berfungsi untuk mempercepat proses pengikatan awal beton dan mengurangi jumlah air yang diperlukan.
6. **Type F, *High Range Admixtures Water Reducing***
 Bahan tambah dengan fungsi menurunkan jumlah air yang diperlukan dan untuk membuat beton dengan konsistensi yang diinginkan.
7. **Type G, “*Water Reducing, High Range Retarding Admixtures*”**
 Digunakan untuk mengurangi air dan menghambat proses pengikatan.

Sedangkan yang tergolong bahan tambah mineral (*additive*) adalah : *pozzollan, fly Ash, slag* dan *silica fume*. Keunggulan menggunakan bahan –bahan ini adalah sebagai berikut:

1. Mengurangi panas akibat hidrasi semen dan meningkatkan kinerja (*workability*)
2. Meningkatkan daya tahan terhadap serangan sulfat dan reaksi alkali-silika
3. Meningkatkan usia dan kuat tekan beton
4. Meningkatkan keawetan dan mengurangi susutnya beton

5. Mengurangi rongga dan kapilaritas beton dalam menyerap air.

10.3 Material Kayu

Selama ribuan tahun, kayu telah banyak dimanfaatkan sebagai bahan bangunan. Bahan yang serbaguna ini tidak hanya digunakan untuk membangun bangunan, tetapi juga banyak digunakan dalam industri furnitur dan dekorasi rumah. Keunggulan menggunakan material kayu, (Ross, 2012) adalah sebagai berikut :

1. Dapat diperbarui (*renewable resources*)
2. Mudah dibentuk
3. Merupakan bahan konstruksi yang ringan, kuat, mudah dikerjakan dan di bentuk sesuai kebutuhan
4. Tampilannya menarik dan memiliki daya tahan yang baik bila terlindung dari suhu yang lembab serta serangan serangga
5. Dapat digunakan sebagai bahan isolasi termal dan akustik yang baik

Material kayu juga memiliki kekurangan yaitu :

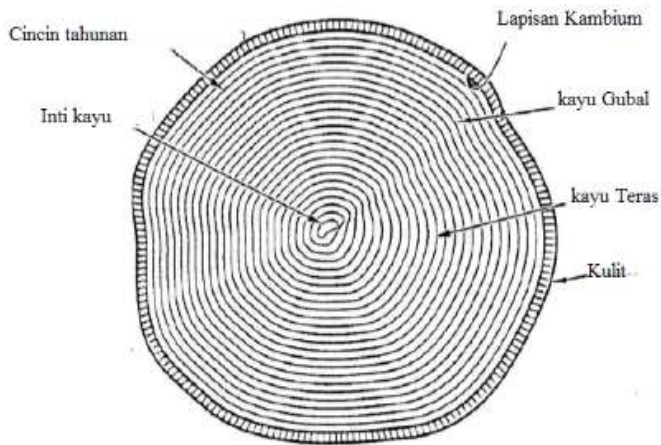
1. Kekuatannya tidak homogen
2. Bersifat *higroskopik*
3. Sangat terpengaruh pada iklim terutama pada kelembaban yang tinggi
4. Mudah terbakar
5. Mudah terserang hama seperti rayap, jamur dan cacing laut
6. Bentuknya tidak seragam
7. Memiliki cacat kayu karena faktor alam seperti mata kayu, dan retak-retak pada struktur kayu

Sifat-sifat kayu dari setiap jenis tumbuhan berbeda, sehingga ketika ingin digunakan harus disesuaikan dengan

kebutuhan, seperti bahan konstruksi, bahan perabot, atau memenuhi kebutuhan non-struktur.

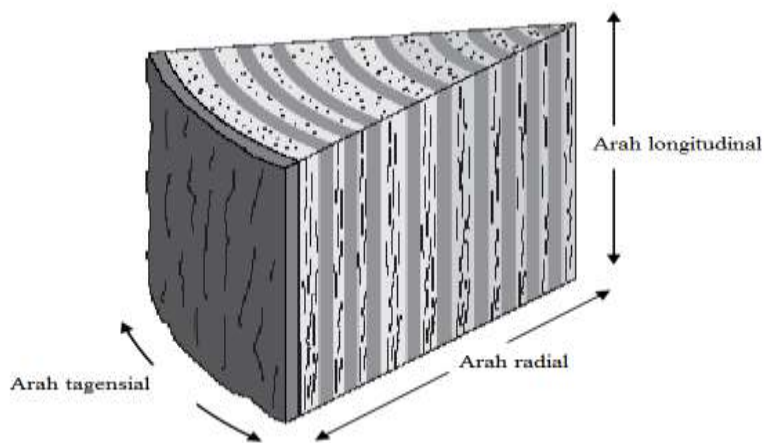
10.3.1 Anatomi Kayu

Komposisi utama senyawa penyusun sel kayu adalah selulosa 50%, hemiselulosa 25%, dan lignin 25% (Desch dkk, 1981, dalam Awaludin dan Irawati, 2005). Kelompok sel kayu ini akan bergabung membentuk bagian/anatomi pohon seperti pada Gambar 10.8.



Gambar 10.8. Potongan Melintang Pohon Kayu
(Sumber: Awaludin dan Irawati, 2005)

Karena kayu merupakan bahan alami yang bersifat anisotropik, karakteristiknya, serta sifat fisik dan mekanisnya, bervariasi tergantung pada arahnya yaitu longitudinal (sepanjang serat), radial (menuju ke pusat pohon), atau tangensial (sejajar dengan cincin tahunan). Potongan tampang kayu yang berbeda pada ketiga arah ini, sangat berpengaruh pada kekuatan kayu. Kekuatan pada arah longitudinal lebih besar daripada pada arah radial dan tangensial. Ketiga arah serat kayu tersebut ditunjukkan dalam Gambar 10.9.



Gambar 10.9. Potongan Arah Serat Kayu
(Sumber: <https://tekniksipil313.wordpress.com>)

10.3.2 Sifat Fisis Kayu

Sifat fisis atau makroskopis merupakan sifat kayu yang dapat di ketahui menggunakan panca indera manusia seperti penciuman, penglihatan, diraba dan sebagainya tanpa menggunakan peralatan. Adapun sifat fisis kayu yang biasa diamati yaitu: (Heinz dan Koesmartadi, 1999).

1. Berat jenis

Pada umumnya semakin tinggi BJ kayu maka kayu akan semakin berat. Hal ini dapat dilihat dalam Tabel 9.3.

Tabel 10.3. Kelas Berat Kayu Berdasarkan Berat Jenisnya

Kelas Kayu	Berat Jenis (gr/cm^3)	Contoh Kayu
Sangat ringan	< 0.40	Balsa
Ringan	$0.40 - 0.50$	Pinus, Meranti
Sedang	$0.50 - 0.60$	Mahoni, Teak
Berat	$0.60 - 0.75$	Kulim, Bintangur
Sangat berat	> 0.75	Ebony, Balau

Sumber : Heinz and Koesmartadi, 1999

2. Keawetan kayu
Adalah ketahanan terhadap jamur, rayap dan perusak kayu lainnya.
3. Warna kayu
Sangat tergantung dari umur, kelembaban dan zat-zat warna di dalam kayu
4. Higroskopik
Adalah sifat yang berhubungan dengan kembang susut kayu
5. Arah serat
Merupakan arah sel kayu terhadap sumbu batang pohon dapat berupa serat diagonal (miring), berpadu, berombak, terpinil, dan lurus.
6. Tekstur kayu
Adalah susunan serat kayu seperti bertekstur halus (misalnya kayu gaham, kayu lara, kayu kulim), bertekstur sedang (misalnya kayu jati, kayu sonokeling), dan bertekstur kasar (misalnya kayu kempas, kayu meranti)
7. Kesan raba
Diperoleh saat meraba permukaan kayu
8. Aroma dan rasa kayu
Sifat ini akan cepat hilang jika berada di tempat terbuka dalam jangka waktu yang lama.
9. Sifat akustik
Kemampuan untuk meneruskan suara
10. Daya hantar listrik dan panas
Kayu memiliki daya hantar listrik dan panas yang jelek
11. Kepadatan/kerapatan kayu
Merupakan perbandingan antara berat kering oven dengan berat isi (volume).
12. Kembang susut kayu
Bila kadar air banyak, kayu akan mengembang dan sebaliknya bila kadar air berkurang kayu akan menyusut.

10.3.3 Sifat Mekanis Kayu

Sifat mekanis kayu merujuk pada karakteristik mekanis yang mempengaruhi cara kayu berperilaku di bawah pembebanan atau tekanan. Sifat-sifat ini penting untuk memahami kemampuan kayu dalam berbagai aplikasi, seperti konstruksi, pembuatan furnitur, peralatan olahraga, dan lain-lain. Kayu yang dibebani akan menimbulkan tegangan di dalam kayu dan dapat menyebabkan terjadinya perubahan bentuk. Berbagai standar yang biasa dipakai dalam pengujian mekanis kayu diantaranya adalah standard Amerika, ASTM (*American Society for Testing and Material*), standar di Inggris, BS (*British Standard*), di Jerman, DIN (*Deutsches Institut fur Normung*) dan di Jepang, JIS (*Japanese Industrial Standard*). Kayu adalah material alami yang sifat mekanisnya dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk jenis pohon, keadaan pertumbuhan, orientasi serat, dan kelembaban. Berikut beberapa sifat mekanis dasar kayu:

1. Kekuatan tarik (*tensile strength*),
Adalah kemampuan kayu untuk menahan beban tarik sejajar dengan arah seratnya. Kayu biasanya memiliki kuat tarik sejajar arah seratnya yang tinggi.
2. Kuat tekan (*compressive strength*),
Merupakan kemampuan kayu untuk menahan beban yang mendorong atau mengompresnya. Kayu memiliki kekuatan tekan yang lebih baik sejajar dengan arah serat daripada tegak lurus terhadap serat
3. Kuat geser (*shear strength*),
kemampuan kayu untuk menahan gaya yang berusaha membuat lapisan-lapisannya bergeser satu sama lain
4. Kuat lentur (*bending strength*),
Kemampuan kayu menahan beban lentur merujuk pada kapasitasnya untuk menahan gaya lentur tanpa mengalami kegagalan struktur. Ini sering diukur dalam pengujian lentur statis.

5. Modulus Elastisitas (MOE),
Merupakan pengukuran sejauh mana kayu akan membengkok di bawah beban tertentu. MOE yang tinggi menunjukkan bahwa kayu tersebut kaku,
6. Modulus Rupture (MOR),
Yaitu tegangan maksimal yang dapat diterima oleh kayu saat mengalami kerusakan karena lentur.
7. Kekerasan (*hardness*),
Merupakan ketahanan kayu terhadap kerusakan akibat beban yang diterapkan
8. Ketahanan belah (*cleavage resistance*),
Yaitu kemampuan kayu untuk menahan pembentukan retakan.

Sifat mekanis kayu ini sangat dipengaruhi oleh faktor baik yang berasal dari dalam maupun luar kayu, seperti struktur anatomi kayu, kelembaban, kandungan resin/ekstraktif, kerusakan dalam kayu, pengaruh lingkungan, pengolahan dan perlakuan serta usia dan pertumbuhan pohon. Sifat mekanis kayu adalah hasil kombinasi kompleks dari semua faktor-faktor diatas, dan faktor lain yang mungkin juga berperan dalam kondisi tertentu.

10.4 Rangkuman

Beton adalah material konstruksi yang terbuat dari campuran semen, pasir, kerikil, dan air. Campuran ini membentuk pasta yang mengeras seiring waktu dan membentuk struktur yang kuat yang tahan terhadap pembebanan. Beton memiliki banyak manfaat, seperti kekuatan tinggi, tahan terhadap api, dan tahan terhadap cuaca, di samping itu beton juga dapat dibentuk dalam berbagai bentuk dan ukuran sesuai kebutuhan. Pemasangan tulangan baja pada beton juga dapat meningkatkan kekuatannya. Kayu merupakan material alami yang sering digunakan dalam konstruksi dan pembuatan furnitur. Kayu berasal dari batang

pohon yang diolah dan diubah menjadi berbagai bentuk dan ukuran sesuai dengan kebutuhan. Kayu memiliki banyak keunggulan, termasuk keberlanjutan sebagai sumber alam yang dapat diperbarui, mudah diolah dan dipotong, serta keindahan alaminya. Namun, kayu juga rentan terhadap kerusakan akibat serangga, cuaca, dan kelembaban, sehingga perawatan dan perlindungan diperlukan untuk memperpanjang umur kayu.

DAFTAR PUSTAKA

- ACI SP-19, Cement and Concrete Terminology*. 1985.
- American Concrete Institute (ACI), Manual of Concrete Practice* 2017.
- ASTM C.494, 'Standard Specification for Chemical Admixture for Concrete' (no date) in *ASTM C.494*.
- ASTM C125-1995, Standard Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates*. 1995.
- Awaludin, A. and Irawati, I.S. 2005. *Konstruksi Kayu*. 2nd edn. Yogyakarta: Biiro Penerbit KMTS Universitas Gadjah Mada.
- Heinz, F. and Koesmartadi, C. 1999. *Ilmu Bahan Bangunan: Eksploitasi, Pembuatan, Penggunaan dan Pembuangan*. Yogyakarta: Kanisius Yogyakarta.
- Jeffrey W. Bullard *et al.* 2011. 'Mechanisms of cement hydration', *Cement and Concrete Research* [Preprint]. Available at: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2010.09.011>.
- Kett, I. 2000. *Engineered concrete : mix design and test methods*.
- Mindess, S., Young, J.F. and Darwin, D. 2003. *Concrete*. 2nd editio. Prentice Hall, New York.
- Murdock, L.J., Brook, K.M. and Terjemahan Stephanus Hindarko. 1986. *Bahan dan Praktek Beton*. Jakarta: Erlangga.
- Nugraha, P. and Antony. 2007. *Teknologi Beton. Dari Material, Pembuatan, ke Beton Kinerja Tinggi*. 1st edn. Yogyakarta: Andi Offset.
- Ramezaniapour, A.A. 2014. *Cement Replacement Materials*.
- Ross, R.J. 2012. *Wood-Based Composites and Panel Products*. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory.
- SNI 03-2495-1991, Spesifikasi Bahan Tambah untuk Beton*. 1991.
- SNI 03-6861.1-2002 Standard Spesifikasi bahan bangunan - Bagian A: Bahan bangunan bukan logam (2002)*.

- Taylor, H.F.W. 1997. *Cement Chemistry*. Second edi.
- Tjokrodimuljo, K. 2007. *Teknologi Beton*. 1st edn. Yogyakarta: Andi Offset.
- Tokyay, M. 2016. *Cement and concrete mineral admixtures (2016, CRC Press LLC)*. CRC Press.

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).

BIODATA PENULIS



Dwi Setyorini, S.T., M.T.

Dosen Program Studi Teknik Kimia Mineral
Politeknik ATI Makassar

Penulis lahir di Sidoarjo tanggal 11 Februari 1995. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Teknik Kimia Mineral, Politeknik ATI Makassar. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Teknik Kimia Institut Sepuluh Nopember pada tahun 2013 dan melanjutkan S2 pada Jurusan Teknik Kimia Institut Sepuluh Nopember selesai tahun 2019.

BIODATA PENULIS



Kostiawan Sukamto, S.Pd., M.T.

Dosen Program Studi Kimia
Fakultas MIPA Universitas Negeri Gorontalo

Kostiawan Sukamto lahir di Kabupaten Bolaang Mongondow Timur Provinsi Sulawesi Utara, pada 20 Januari 1991. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Kimia Fakultas Matematika dan IPA, Universitas Negeri Gorontalo (UNG). Ia tercatat sebagai lulusan Universitas Negeri Gorontalo (S1) Jurusan Kimia dan Institut Teknologi Bandung (S2) Rekayasa Pertambangan bidang khusus Rekayasa Mineral dan Metalurgi. Penulis berfokus pada riset dalam bidang preparasi dan ekstraksi mineral logam dengan metode hidrometalurgi. Selain itu, penulis juga banyak bergelut dalam penyiapan material yang cocok untuk menjamin keberhasilan proses preparasi dan ekstraksi mineral logam tersebut.

BIODATA PENULIS



Fitri Junianti

Dosen Program Studi Teknik Kimia Mineral
Politeknik ATI Makassar

Penulis lahir di Madining tanggal 12 Juni 1988. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Teknik Kimia Mineral Politeknik ATI Makassar. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Kimia dan melanjutkan S2 pada Jurusan Teknik Kimia Mineral. Saat ini Penulis fokus pada penelitian mengenai bioproses seperti produksi hidrogen dari limbah sabut kelapa, produksi bioetanol dari ampas kelapa dan beberapa penelitian mengenai pemanfaatan biomassa.

BIODATA PENULIS



Dr. Ian Kurniawan, S.T., M.Eng., IPM., ASEAN Eng.
Dosen Program Studi Teknik Kimia
Fakultas Teknik, Universitas PGRI Palembang

Dr. Ian Kurniawan, S.T., M.Eng., IPM., ASEAN Eng. lahir di Palembang, 29 Oktober 1984 merupakan anak pertama dari 4 bersaudara dengan orang tua bernama H. Ibrahim Fauzi dan Hj. Suryati. Lulus Sarjana (S1) di Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia tahun 2007. Tahun 2010 lulus di *Master of Engineering* (M.Eng.) program studi Teknik Kimia, Universitas Gadjah Mada. Melanjutkan Program Studi Doktor (S3) Ilmu Lingkungan dengan Beasiswa Pendidikan Pascasarjana Dalam Negeri (BPPDN) diselesaikan tahun 2017 dengan predikat *Cumlaude* di Program Pascasarjana, Universitas Sriwijaya. Tahun 2019 pernah mengikuti *Summerschool* di *Leuphana University, Germany* dengan tema *Sustainable Chemistry*. Aktif dalam berbagai organisasi, salah satunya sebagai Insiyur Profesional Madya (IPM) BKU Kimia PII. Tahun 2023 mendapatkan Gelar Profesi Internasional ASEAN *Engineering* (ASEAN Eng.) dari *ASEAN Federation of Engineering Organizations* (AFEO). Saat ini bekerja sebagai Dosen Tetap di Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas PGRI Palembang. Selain bekerja

sebagai Dosen, aktif sebagai narasumber di berbagai kegiatan seminar internasional dan nasional, televisi nasional maupun lokal. Berbagai tulisan di jurnal internasional bereputasi dan jurnal nasional terakreditasi sudah dipublikasikan dalam menunjang kemajuan dan perkembangan ilmu pengetahuan daerah maupun nasional.

BIODATA PENULIS



Dr. Yeslia Utubira, S.Pd., M.Si.

Dosen Program Studi Pendidikan Kimia
Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Pattimura

Penulis lahir di Ternate tanggal 9 Juni 1976. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Pendidikan Kimia Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Pattimura. Menyelesaikan pendidikan S1 tahun 2000 pada Program Studi Pendidikan Kimia FKIP Universitas Pattimura Ambon, S2 Tahun 2006 dan S3 Tahun 2018 pada Jurusan Kimia FMIPA UGM. Penulis menekuni bidang Material. Mata kuliah yang diasuh Penulis adalah: Energetika Kimia, Dinamika Kimia, Kimia Permukaan, dan Karakterisasi Struktur padatan. Penulis menikah dengan Dr. P.Fredy Picauly, S.T, M.Eng yang merupakan Dosen pada Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Ambon dan telah dikarunia 2 orang anak, yaitu: Glorydeo, dan Gio Marfel. .

BIODATA PENULIS



Fahmy Rinanda Saputri, S.T., M.Eng.

Dosen Program Studi Teknik Fisika
Fakultas Teknik dan Informatika Universitas Multimedia
Nusantara

Penulis lahir pada bulan Agustus 1993 di Cilacap. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Teknik Fisika Fakultas Teknik dan Informatika, Universitas Multimedia Nusantara. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Teknik Fisika Universitas Gadjah Mada dan melanjutkan studi pada Program Magister Teknik Fisika Universitas Gadjah Mada. Penulis menekuni bidang instrumentasi, fisika bangunan, dan energi baru terbarukan.

BIODATA PENULIS



Aliyah Fahmi S.Si, M.Si

Ketertarikan penulis terhadap ilmu kimia 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. 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. P. Fredy Picauly, ST., M.Eng
Dosen Program Studi Teknik Sipil
Politeknik Negeri Ambon

Penulis lahir di Desa Batumiau Kabupaten Maluku Barat Daya tanggal 23 Pebruari 1974. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Teknik Sipil Politeknik Negeri Ambon. Penulis menyelesaikan pendidikan terakhir dan memperoleh gelar Doktor pada Program S-3 Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada Yogyakarta, Tahun 2018. Mata kuliah yang diampu Penulis adalah. Struktur Beton Dasar, Struktur Baja, Mekanika Rekayasa I, Mekanika Rekayasa II, Analisis Struktur dengan Metode Matriks dan Rekayasa Gempa, penuls pernah menjabat sebagai Kepala Laboratorium tahun 2010 serta plt. Sekretaris Jurusan Jurusan Teknik Sipil Poteknik Negeri Ambon tahun 2018.