

MATERIAL ELEKTRONIKA

**Safira Fegi Nisrina
Amina Umar
Usman Umar
Danang Hendrawan
Sukriyah Buwarda
Prasepvianto Estu Broto
Fitri Puspasari
Risnawaty Alyah**



GET PRESS INDONESIA

MATERIAL ELEKTRONIKA

Penulis :

Safira Fegi Nisrina
Amina Umar
Usman Umar
Danang Hendrawan
Sukriyah Buwarda
Prasepvianto Estu Broto
Fitri Puspasari
Risnawaty Alyah

ISBN :

Editor : Diana Purnama Sari., M.E

Penyunting : Ari Yanto. M.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 2024

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 Material Elektronika ini.

Buku Ini Membahas Bahan Komponen/sistem Elektronika, Struktur Kristal Bahan Padat, Klasifikasi Dan Sifat Konduktansi Bahan, Sifat Dan Jenis Dielektrik Dalam Bahan Komponen/sistem Elektronika, Sifat Dan Jenis Bahan-bahan Semi Kondukto, Arus-tegangan Pada Dioda, Sifat Bahan Pada Transistor Efek Medan (FET), Sifat Dan Jenis Bahan-bahan Optik.

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 2024

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR GAMBAR	vii
BAB 1 BAHAN KOMPONEN SISTEM ELEKTRONIKA....	1
1.1 Komponen Elektronika.....	1
1.1.1 Resistor.....	1
1.1.2 Kapasitor.....	6
1.1.3 Induktor.....	10
1.1.4 Dioda.....	12
1.1.5 Transistor	19
DAFTAR PUSTAKA.....	22
BAB 2 STURKTUR KRISTAL BAHAN PADAT.....	23
2.1 Pendahuluan	23
2.2 Struktur Kristal.....	23
2.2.1 Kubik Sederhana (<i>Simple Cubic</i>).....	24
2.2.2 Kubik Badan Sentral (<i>Body-Centered Cubic/BCC</i>)	25
2.2.3 Kubik Tertutup Rapat (<i>Face-Centered Cubic/FCC</i>)	25
2.2.4 Heksagonal Rapat (<i>Hexagonal Close-Packed/HCP</i>).....	26
2.2.5 Tetragonal (Simple Tetragonal).....	27
2.2.6 Ortorombik (Simple Orthorhombic)	28
2.2.7 Monoklinik (Simple Monoclinic).....	29
2.2.8 Trigonal (Rhombohedral)	30
2.3 Keterkaitan Struktur dengan Sifat Bahan.....	32
2.3.1 Kepadatan atom dan Kepadatan bahan	34
2.3.2 Pengaruh Struktur Terhadap Sifat Mekanik	35
2.3.3 Pengaruh struktur kristal terhadap konduktivitas termal dan listrik.....	36
DAFTAR PUSTAKA.....	38
BAB 3 KLASIFIKASI DAN SIFAT KONDUKTANSI BAHAN.....	39
3.1 Pendahuluan	39
3.2 Konduktansi Bahan	40

3.3 Sifat Konduktansi Bahan	41
3.4 Konduktor	41
3.4.1 Sifat Bahan Konduktor	42
3.4.2 Sifat Thermal Material Konduktor	44
3.4.3 Sifat Fisika Konduktor	46
3.4.4 Klasifikasi Material Konduktor	47
3.5 Jenis Material Konduktor	49
3.6 Klasifikasi Material Semi Konduktor	54
3.7 Jenis Material Semi konduktor	55
3.8 Material Isolator	61
3.9 Klasifikasi Material Isolator	62
3.10 Konduktivas dan Resistivitas Logam	64
DAFTAR PUSTAKA	65
BAB 4 SIFAT DAN JENIS DIELETRIK DALAM	
BAHAN KOMPONEN / SISTEM ELEKTRONIKA	67
4.1 Pendahuluan	67
4.1.1 Pentingnya dielektrik dalam elektronika	67
4.1.2 Kapasitor	67
4.1.3 Isolasi	67
4.1.4 Tuning Sirkuit	68
4.1.5 Perlindungan dan Pendinginan	68
4.1.6 Aplikasi Lainnya:	68
4.2 Fungsi dielektrik dalam komponen dan sistem	
elektronika	68
4.2.1 Kapasitor	68
4.2.2 Transformator	69
4.2.3 Isolator	69
4.3 Tinjauan umum tentang sifat listrik bahan	70
4.3.1 Konduktivitas Listrik	70
4.3.2 Permittivitas Listrik:	70
4.3.3 Permeabilitas Magnetik:	70
4.3.4 Kekuatan Dielektrik	71
4.4 Definisi dan karakteristik Dielektrik	71
4.4.1 Definisi dielektrik	71
4.4.2 Polarisasi Dielektrik	72
4.4.3 Permittivitas Listrik	76
4.4.4 Kerentanan dielektrik	80

4.5 Jenis Dielektrik.....	85
4.5.1 Dielektrik gas.....	85
4.5.2 Dielektrik keramik.....	87
4.5.3 Dielektrik polimer	89
4.5.4 Dielektrik komposit	92
4.6 Pemilihan Dielektrik untuk Komponen Elektronika. 94	
4.6.1 Faktor-faktor Penting dalam Memilih Dielektrik:.....	94
4.6.2 Jenis-jenis Dielektrik dan Aplikasinya:.....	95
4.6.3 Tips Memilih Dielektrik:.....	95
4.7 Dampak Dielektrik pada Komponen Elektronika.....	96
4.7.1 Kapasitor	96
4.7.2 Filter.....	97
4.7.3 Sensor	98
4.8 Tren dan Pengembangan Dielektrik.....	99
4.8.1 Dielektrik Bertimbal Tinggi	99
4.8.2 Dielektrik Nanostruktur	100
4.8.3 Dielektrik Multifungsi	100
4.8.4 Dielektrik Fleksibel	100
4.8.5 Dielektrik Berkelanjutan: (<i>High-k Dielectrics</i>): ..	101
4.8.6 Dampak Tren dan Perkembangan Dielektrik: (<i>High-k Dielectrics</i>):	101
4.9 Kesimpulan.....	101
DAFTAR PUSTAKA.....	104
BAB 5 SIFAT DAN JENIS BAHAN SEMIKONDUKTOR...	107
5.1 Pendahuluan	107
5.2 Jenis Semikonduktor.....	107
5.2.1 Semikonduktor Intrinsik.....	107
5.2.2 Semikonduktor Ekstrinsik	108
5.3 Sifat Semikonduktor	109
5.3.1 Arus Listrik.....	111
5.3.2 Doping Semikonduktor.....	112
5.4 Bahan-Bahan Semikonduktor	113
5.4.1 Silikon.....	113
5.4.2 Germanium.....	114
5.4.3 Arsenida Gallium.....	115
5.4.4 Indium Phosphide	116

5.4.5 Kadmium Telurida.....	116
5.4.6 Telurida Timah	116
5.4.7 Selenium.....	116
DAFTAR PUSTAKA.....	117
BAB 6 ARUS TEGANGAN PADA DIODA	119
6.1 Pendahuluan	119
6.2 Jenis Dioda	120
6.2.1 Dioda Penyearah	120
6.2.2 Dioda Switching.....	120
6.2.3 Dioda Schottky	120
6.2.4 Dioda Germanium.....	121
6.2.5 Dioda Zener	121
6.3 Dioda P-N Juntion.....	121
6.4 Prinsip Kerja Dioda	123
6.5 Karakteristik Arus dan Tegangan Dioda	124
6.5.1 Dioda Bias Maju	127
6.5.2 Dioda Bias Mundur.....	127
6.5.3 Daerah Breakdown pada Dioda	128
6.6 Aplikasi Dioda.....	129
6.6.1 Penyearah Gelombang Setengah dan Gelombang Penuh	129
6.6.2 Proteksi Arus Balik.....	130
6.6.3 Rangkaian Pengaman Tegangan (<i>Voltage</i> <i>Clamping</i>).....	130
6.6.4 Pemancar Cahaya (LED).....	130
6.6.5 Demodulator Sinyal Radio.....	130
6.6.6 Rangkaian Pemotong (<i>Clipper</i>) dan Pembatas (<i>Limiter</i>)	131
6.6.7 Rangkaian Pengganda Tegangan (<i>Voltage</i> <i>Multiplier</i>).....	131
DAFTAR PUSTAKA.....	132
BAB 7 SIFAT BAHAN PADA TRANSISTOR EFEK MEDAN (FET)	133
7.1 Pendahuluan	133
7.2 Pengertian FE	133
7.2.1 Prinsip Kerja FET	134
7.2.2 Karakteristik FET.....	134

7.2.3 Jenis-Jenis FET	134
7.3 Karakteristik Umum Bahan Semikonduktor	138
7.3.1 Densitas Elektron.....	138
7.3.2 Bandgap Energi	138
7.3.3 Mobilitas Elektron dan Hole	139
7.4 Tipe-tipe Bahan Semikonduktor pada FET	139
7.5 Kesimpulan.....	142
DAFTAR PUSTAKA.....	143
BAB 8 SIFAT DAN JENIS BAHAN-BAHAN OPTIK.....	145
8.1 Pendahuluan	145
8.2 Sifat-sifat Bahan Optik	145
8.2.1 Transparansi.....	145
8.2.2 Reflektifitas	146
8.2.3 Indeks Bias (Indeks Refraksi)	147
8.2.4 Dispersi	148
8.2.5 Ketebalan (<i>Thickness</i>)	149
8.2.6 Polarisasi.....	149
8.2.7 Absorptivitas	150
8.3 Jenis-jenis Bahan Optik.....	151
8.3.1 Kaca.....	151
8.3.2 Kristal	152
8.3.3 Plastik Optik.....	154
8.3.4 Kristal Cair:.....	155
8.3.5 Fiber Optik.....	156
8.3.6 Poliester.....	157
8.3.7 Berlian:.....	158
DAFTAR PUSTAKA.....	160
BIODATA PENULIS	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. (a) Simbol resistor tetap standar Amerika (b) Simbol resistor tetap standar IEC (<i>International Electro-Technical Commision</i>)	2
Gambar 1.2. Konstruksi Resistor	2
Gambar 1.3. Resistor Film Karbon.....	3
Gambar 1.4. Konstruksi Resistor film Karbon	3
Gambar 1.5. Potensiometer Putar.....	5
Gambar 1.6. Potensiometer Trimpot.....	6
Gambar 1.7. Konstruksi Kapasitor.....	6
Gambar 1.8. Simbol Kapasitor.....	7
Gambar 1.9. Kapasitor Mika	7
Gambar 1.10. Kapasitor Poliester	9
Gambar 1.11. Kapasitor Elektrolit	10
Gambar 1.12. Induktor	10
Gambar 1.13. Simbol Induktor	11
Gambar 1.14. <i>Air Core</i> Induktor.....	11
Gambar 1.15. <i>Ferrite Core</i> Induktor.....	12
Gambar 1.16. Karakteristik Dioda	13
Gambar 1.17. Rangkaian Dioda Sebagai Sakelar	14
Gambar 1.18. Gambar Rangkaian Penyearah Setengah Gelombang	15
Gambar 1.19. Analisa Rangkaian Penyearah Gelombang Penuh	17
Gambar 1.20. Karakteristik Dioda Zener	18
Gambar 1.21. Transistor	20
Gambar 2.1. Struktur Kristal.....	24
Gambar 2.2. Kubik Sederhana dan kubik berpusat badan.....	25
Gambar 2.3. Tetragonal Sederhana	28
Gambar 2.4. Struktur Kristal Monoklinik.....	30
Gambar 3.1. Konstruksi Konduktor aluminium.	50
Gambar 3.2. Konstruksi Konduktor aluminium.	51
Gambar 3.3. Timah murni, (a) bentuk beta (putih) dan (b) bentuk alfa (abu-abu).....	52

Gambar 3.4. Distribusi Fermi-Dirac sebagai dasar struktur pita dalam semikonduktor.	55
Gambar 6.1. Simbol Dioda.....	119
Gambar 6.2. Dioda P-N <i>Juction</i>	122
Gambar 6.3. Grafik karakteristi arus dan tegangan pada diode silikon P-N <i>Juction</i>	125
Gambar 6.4. Grafik hubungan arus dan tegangan pada diode silikon P-N <i>Juction</i>	126
Gambar 7.1. Struktur dan simbol JFET Kanal N (a) dan Kanal P (b).....	136
Gambar 7.2. Struktur dan simbol MOSFET (a) Tipe N dan (b) Tipe P	138

BAB 1

BAHAN KOMPONEN SISTEM ELEKTRONIKA

Oleh Safira Fegi Nisrina

Sistem elektronika merupakan berbagai alat atau komponen elektronika yang dirancang menjadi satu sebuah rangkaian elektronika. Sistem elektronika hampir digunakan dalam berbagai kebutuhan atau bidang diantaranya penggunaan dalam sebuah alat elektronika, telekomunikasi, komputer, maupun biomedik.

1.1 Komponen Elektronika

Komponen elektronika merupakan benda yang menjadi elemen dasar sebuah rangkaian elektronika. Komponen elektronika ini mempunyai fungsi dan kegunaan masing-masing sebagaimana mestinya. Komponen elektronika terdapat klasifikasi menjadi dua karakteristik yaitu: komponen pasif dan komponen aktif.

Komponen Pasif

Komponen pasif adalah komponen yang apabila dioperasikan, komponen tersebut tidak membutuhkan perangkat tambahan untuk menghubungkan arus listrik. Berikut macam-macam komponen pasif yaitu :

1.1.1 Resistor

1. Fixed Resistor

Fixed Resistor atau Resistor Tetap merupakan resistor yang memiliki nilai resistansi tetap dan tidak dapat diubah nilainya. Komponen ini memiliki satuan resistansi adalah (Ω) ohm. Pada badan resistor terdapat gelang warna dan kode angka yang menunjukkan nilai resistansi pada resistor tersebut.

Resistor tetap merupakan komponen elektronika yang paling sering digunakan dalam penggunaan rangkaian apapun. Pada umumnya resistor merupakan sebuah hambatan arus listrik yang digunakan dalam rangkaian elektronika, tidak hanya itu saja resistor juga dapat berfungsi sebagai pembagi tegangan, pembagi arus, dan pengaman arus. Simbol resistor Di dalam dunia elektronika ada 2 jenis yaitu :



(a)



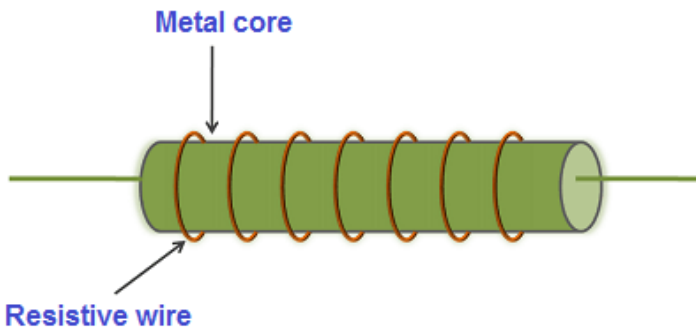
(b)

Gambar 1.1. (a) Simbol resistor tetap standar Amerika (b) Simbol resistor tetap standar IEC (*International Electro-Technical Commision*)

Resistor tetap memiliki dua terminal atau dua kaki yang berfungsi menghubungkan dengan komponen lainnya. Untuk jenis resistor tetap yaitu :

a. Resistor Lilitan Kawat

Resistor lilitan kawat merupakan jenis resistor yang tergolong komponen pasif dibuat dengan memutar kawat di pada inti logam.



Gambar 1.2. Konstruksi Resistor

Kawat logam ini berperan sebagai elemen resistif terhadap arus listrik, kawat logam ini dapat membatasi

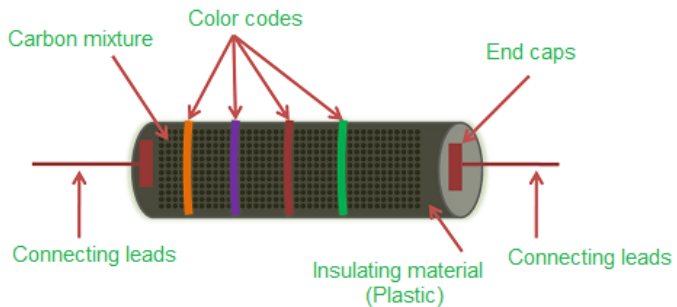
arus listrik yang mengalir. Sedangkan logam inti sebagai bahan non-konduktif, maka tidak memungkinkan arus listrik melewatinya.

b. Resistor Film Karbon

Resistor karbon merupakan resistor yang berkomposisi karbon untuk membatasi aliran arus listrik, kapasitor ini berbentuk silinder dengan ujung batang logam, bahan utama resistor ini adalah karbon yang mana terbuat dari campuran bubuk karbon dan dan keramik. Resistor ini juga dilengkapi gelang warna sebagai kode nilai resistansi.



Gambar 1.3. Resistor Film Karbon



Gambar 1.4. Konstruksi Resistor film Karbon
Sumber: Internet physics-and-radio-electronics

Resistor karbon adalah salah satu bentuk resistor yang menggunakan karbon tipis pada bahan keramik murni. Namun, jika dibandingkan dengan bentuk resistor lainnya, resistor karbon lebih mahal

untuk diproduksi. Resistor film karbon ini lebih baik digunakan pada aplikasi tegangan tinggi dan suhu tinggi.

c. Resistor Film Logam

Resistor film logam adalah jenis komponen pasif dimana film logam digunakan untuk membatasi aliran arus listrik sampai tingkat tertentu. Konstruksi resistor film logam hampir mirip dengan resistor film karbon. Satu-satunya perbedaan adalah bahan yang digunakan untuk membuat film tersebut. Pada resistor film karbon, film dibuat dengan menggunakan karbon sedangkan pada resistor film logam, film dibuat dengan menggunakan nikel kromium atau timah dan antimon. Resistor film logam memiliki TCR (Temperature Co-efisien Resistansi) yang rendah. Laju perubahan resistansi suatu bahan terhadap kenaikan suhu disebut TCR.

d. Resistor glasir logam

Resistor glasir logam adalah jenis komponen pasif yang menggunakan campuran bubuk kaca dan partikel logam untuk membatasi aliran arus listrik hingga tingkat tertentu. Resistor glasir logam memiliki TCR (Temperature Co-efisien Resistansi) yang rendah. Laju perubahan resistansi suatu bahan terhadap kenaikan suhu disebut TCR.

e. Resistor foil

Resistor foil adalah komponen paling akurat dan stabil yang digunakan untuk membatasi aliran arus listrik hingga tingkat tertentu. Resistor foil menghasilkan noise yang rendah dibandingkan dengan jenis resistor lainnya. Resistor ini juga disebut resistor presisi tinggi. Resistor foil memiliki TCR (Koefisien Suhu Resistansi) yang rendah.

2. Potensiometer

Potensiometer atau sering disebut dengan resistor geser, komponen elektronik tersebut termasuk komponen yang dapat diatur atau diubah nilai resistansi nya sesuai dengan kapasitas maksimal komponen.

Potensiometer memiliki 3 kaki terminal berupa Ground, Output dan Tegangan Input, dengan sambungan yang digeser ketika digunakan, membentuk sebuah fungsi pembagi tegangan. Pada terminalnya terdapat tuas yang digunakan untuk pengatur nilai resistansi.

a. Potensiometer Putar

Potensiometer putar terdapat 3 kaki terminal berupa Ground, output, dan tegangan input, memiliki kontak setengah lingkaran, yang terbuat dari kawat atau grafit. Potensiometer jenis ini nilai resistansinya dapat diubah dengan cara nenutar tuas, sepanjang lintasan yang melingkar potensiometer tipe putar ini digunakan untuk mendapatkan tegangan supply yang bisa disesuaikan ke bagian sirkuit elektronik ataupun sirkuit listrik.



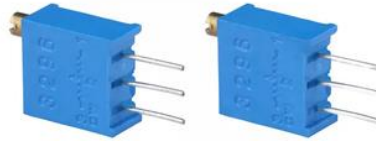
Gambar 1.5. Potensiometer Putar

Sumber : Wikipedia

b. Potensiometer Trimpot

Potensiometer trimpot merupakan versi yang putarannya kecil digunakan pada papan sirkuit ke fine tune yang bertegangan tinggi. Potensiometer trimmer

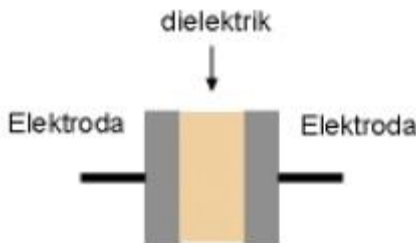
ini berbentuk kecil, sehingga ketika memutarnya harus menggunakan alat khusus seperti obeng.



Gambar 1.6. Potensiometer Trimpot
Sumber : Wikipedia

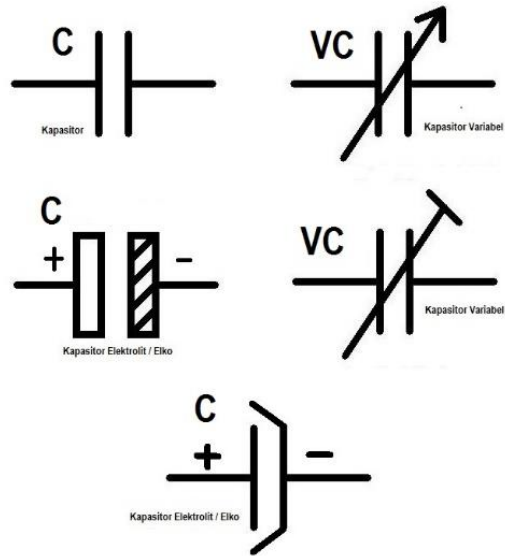
1.1.2 Kapasitor

Kapasitor merupakan sebuah komponen elektronika yang terbuat dari dua buah pelat elektroda yang disusun paralel yang diantara dua sisi pelat tersebut diisi oleh bahan yang bersifat dielektrikum, layaknya seperti sebuah kertas minyak dan minyak, dengan konstruksi dasar seperti gambar 4 dibawah



Gambar 1.7. Konstruksi Kapasitor

Berdasarkan penemunya yaitu Michael Faraday, maka kapasitor memiliki satuan Farad yang diambil dari nama penemunya dengan simbol (F). Bahan-bahan dielektrikum yang digunakan diantaranya adalah : Mika, keramik, kertas film, plastic, polikarbonat, polistiren, polieter, dan elektrolit aluminium.



Gambar 1.8. Simbol Kapasitor
Sumber : Wordpress

1. Kapasitor Mika

Kapasitor mika ini merupakan kapasitor yang terdiri dari isolator listrik berupa sebuah mika. Penggunaan kapasitor mika ini biasanya digunakan pada rangkaian frekuensi radio yang bernilai frekuensi tinggi.



Gambar 1.9. Kapasitor Mika
Sumber : Wikipedia

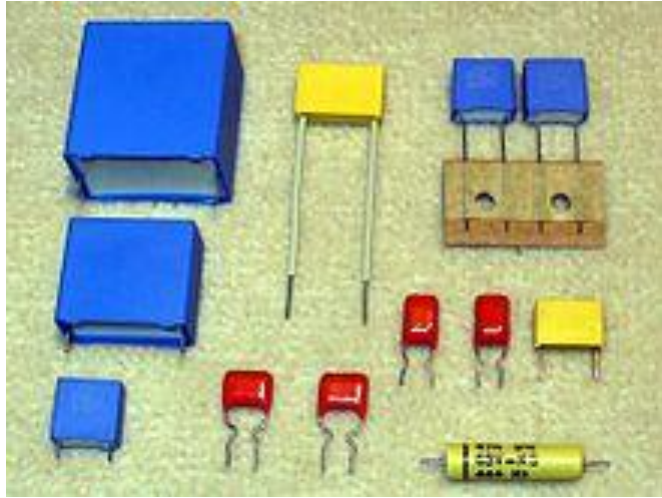
Kapasitor mika ini mempunyai nilai toleransi rendah, memiliki stabilitas yang tinggi dan ketahanan terhadap suhu baik. Kapasitor mika ini juga dapat bekerja dengan tegangan yang tinggi bisa sebagai penyaring, isolator, kopling maupun dekopling.

2. Kapasitor Keramik

Kapasitor keramik berbahan utama keramik. Memiliki bentuk ada yang bulat tipis dan segi empat. Kapasitor keramik ditandai dengan warna merah, hijau, dan coklat. Nilai kapasitansi yang dihasilkan oleh kapasitor keramik sangat kecil dan berkisar antara 1 pikoFarad sampai 0.1 mikroFarad. Kapasitor keramik juga memiliki tegangan kerja yang sangat rendah. Penggunaan kapasitor keramik ditemukan pada papan rangkaian listrik utama dari komputer pribadi atau pada penampil kristal cair televisi. Kapasitor keramik yang berbentuk kotak dengan tiga digit nilai kapasitansi digunakan pada teknologi pemasangan permukaan papan rangkaian listrik

3. Kapasitor Poliester

Kapasitor poliester adalah kapasitor yang pada umumnya berbentuk persegi, kapasitor ini menyerupai permen dengan warna cerah seperti hijau, kuning, merah, dan coklat. Jenis bahan isolator listrik yang biasanya digunakan merupakan poliester yang toleransinya bernilai sekitar 5–10 %.



Gambar 1.10. Kapasitor Poliester

Sumber : Wikipedia

Kapasitor poliester tidak memiliki polaritas. kapasitor poliester ber-nilai kapasitansi sangat bervariasi. Dalam penggunaan tegangan kerjanya rendah. Kapasitor poliester tidak dapat digunakan pada rangkaian dengan arus listrik yang besar atau tidak dapat digunakan pada rangkaian frekuensi tinggi. Penggunaan kapasitor poliester ini diterapkan pada rangkaian pencatu daya.

4. Kapasitor Elektrolit

Kapasitor elektrolit merupakan kapasitor yang mempunyai bentuk tabung. Memiliki polaritas positif dan negatif, untuk itu biasanya perlu berhati-hati dalam pemasangannya, karena apabila kapasitor elektrolit terbalik, bisa terjadi ledakan pada kapasitor dan nilai kapasitansinya membesar. Biasanya kapasitor ini mempunyai kapasitas tegangan yang tinggi.



Gambar 1.11. Kapasitor Elektrolit
Sumber : Wikipedia

Ledakan akan berdaya besar apabila nilai kapasitansinya makin besar. Kapasitas kapasitor elektrolit bisa dengan rentang nilai 0.47 mikroFarad hingga satuan Farad. Bahan isolator dari kapasitor ini adalah cairan elektrolit yang digunakan untuk menyimpan energi listrik yang dibungkus lagi dengan aluminium. Ada juga jenis kapasitor elektrolit dibuat dengan bahan tantalum.

1.1.3 Induktor

Induktor merupakan komponen listrik jenis pasif, Induktor dapat menyimpan energi dalam bentuk medan magnetik. Induktor ini berbentuk seperti lilitan kawat atau biasa disebut dengan *coil*, terbuat dari bahan tembaga, ber-simbol (L) dengan satuan Henry disingkat (H).



Gambar 1.12. Induktor
Sumber Internet : Wikipedia



Gambar 1.13. Simbol Induktor

Pada umumnya fungsi induktor ini berfungsi sebagai menyimpan arus listrik kemudian disimpan dalam medan magnet, Menahan arus bolak balik (AC), sebagai alat yang menimbulkan medan magnet, dan dapat melipat gandakan arus atau tegangan. Diantara jenis-jenis inductor adalah :

1. *Iron Core* Induktor

Iron Core Induktor merupakan jenis induktor yang dengan bentuk tengah nya (inti) berbahan besi atau logam. Ukuran inti besi yang digunakan pada induktor bermacam-macam tergantung kebutuhan.

2. *Air Core* Induktor

Air core induktor merupakan jenis inductor yang mana berbahan udara pada pada inti inti tubuhnya, Biasanya induktor ini disebut induktor tanpa inti.



Gambar 1.14. *Air Core* Induktor
Sumber Internet : Everything RF

3. *Ferrite Core* Induktor

Induktor tersebut menggunakan bahan ferit pada inti. Biasanya jenis induktor ini sering digunakan dan diaplikasikan untuk rangkaian rangkaian elektronika yang cukup rumit.



Gambar 1.15. *Ferrite Core* Induktor
Sumber Internet : Wikipedia

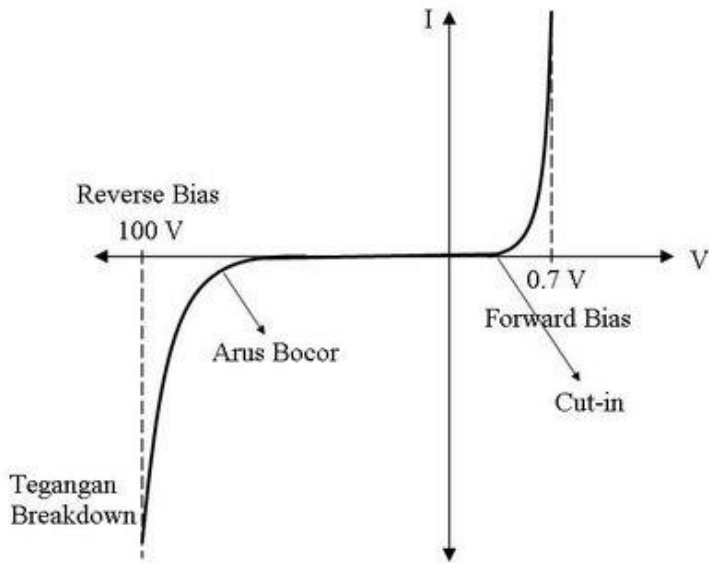
1.1.4 Dioda

Komponen Aktif

Komponen aktif merupakan suatu komponen yang hanya berfungsi apabila dihubungkan dengan aliran listrik.

1. Dioda pn

Dioda merupakan komponen yang berfungsi sebagai penyearah, dioda ini tergolong sebagai komponen semi konduktor yang terbentuk dari dua buah kutub yaitu positif (p) dan negatif (n) atau Anoda (A) dan Katoda (K). Terbuat dari bahan silikon (Si) atau dari bahan Germanium (Ge). Macam-macam jenis dioda diantaranya Dioda penyearah, Dioda Zener, Dioda switching, dan Diac (diode bolak-balik),

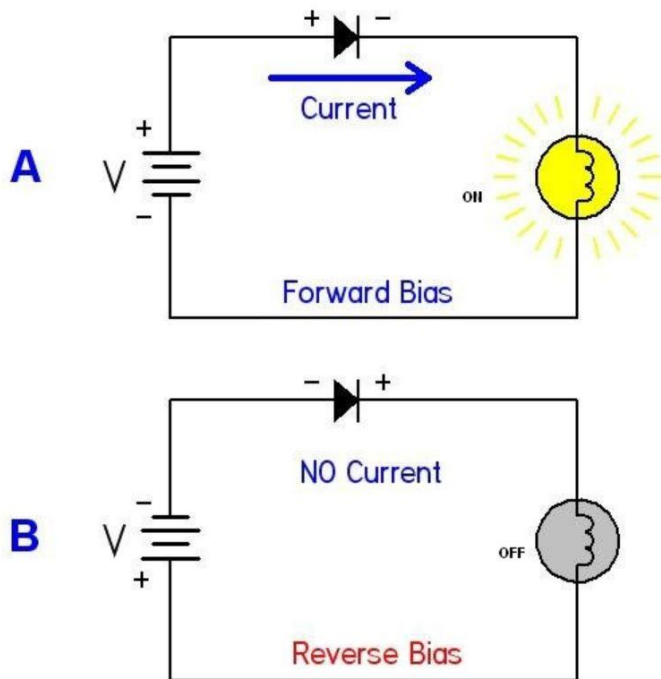


Gambar 1.16. Karakteristik Dioda

Karakteristik dioda ditunjukkan arus diode I_d terhadap tegangan anoda katoda V_{ak} diode p-n (penyearah). Adanya tegangan blok arah negatif yaitu V_{rb} , akan membatasi diode dalam beroperasi menahan besar tegangan reverse bias (negatif). Dalam keadaan konduksi pada diode akan terdapat jatuh tegangan pada persambungan anoda-katoda sebesar V_f , dan tegangan ini akan bergantung pada jenis bahan yang digunakan yaitu Si=0,6V dan Ge=0,2V. Tegangan minimal yang diperlukan untuk mengkonduksikan dioda dinamakan tegangan threshold V_{th} .

2. Dioda Sebagai Sakelar

Ketika sebuah dioda beroperasi, saat mengalirkan arus listrik hanya dalam satu arah, hal ini terjadi apabila dioda mendapat tegangan positif, sehingga pada kutub anoda mendapatkan tegangan yang lebih tinggi (positif), dari pada katodanya. Bila dioda dianggap ideal maka dalam beroperasi dapat digambarkan pada gambar 1.17.



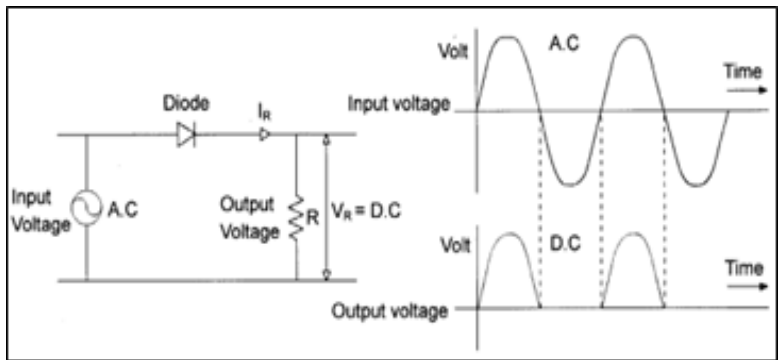
Gambar 1.17. Rangkaian Dioda Sebagai Sakelar
Sumber Internet : kelasplc

3. Dioda Pada Tegangan AC

Tegangan Alternating Current (AC) atau biasa kita sebut tegangan bolak-balik diode akan berfungsi sebagai penyearah (Rectifier), hal ini diode akan memblok tegangan polaritas negatif, maka artinya diode akan konduksi (bias maju) apabila kutub sisi anoda mendapatkan tegangan lebih tinggi (positif) daripada katoda, namun untuk anoda apabila mendapatkan tegangan lebih rendah (negatif) daripada katoda, maka diode tidak konduksi (off), maka artinya dioda akan memblok arus dan tegangan negatif seperti dalam system tegangan bolak-balik. Berikut ini terdapat macam sistem penyearah yaitu rangkaian penyearah setengah gelombang dan penyearah gelombang penuh.

a. Penyearah Setengah Gelombang

Sistem penyearah setengah gelombang (*Half Wave Rectifier*) merupakan sebuah system untuk mengkonversi dari ac ke dc, jenis ini menggunakan dioda p-n untuk menyearahkan gelombang atau arus bolak balik, tegangan yang dikonversii ke dc ini hanyalah bagian positif nya saja.



Gambar 1.18. Gambar Rangkaian Penyearah Setengah Gelombang

Sumber Internet : Wikipedia

Dengan demikian pada beban yang dikeluarkan pada beban akan berbentuk separuh gelombang tegangan hanyalah positif saja. Besar tegangan keluaran V_o yang terkuru pada keluaran adalah nilai rata-rata. Setengah gelombang menghasilkan persamaan yaitu :

$$\begin{aligned} V_0 &= \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \sin \omega t. dt \\ &= \frac{V_m}{\pi} = \frac{\sqrt{2} \cdot V_{rms}}{\pi} \end{aligned}$$

Dimana : V_m adalah tegangan maksimum atau tegangan puncak dari tegangan keluaran yang dapat dilihat dari pada bentuk gelombang tegangan keluaran.

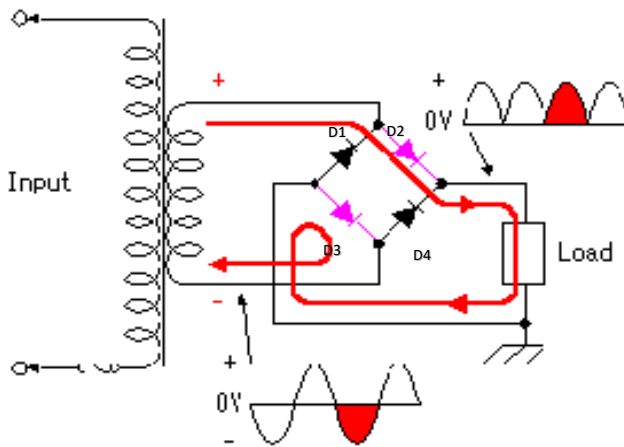
V_{rms} merupakan nilai efektif dari gelombang tegangan
 $= \frac{V_m}{\sqrt{2}}$

Dan apabila beban penyearah berupa sebuah resistor R_b maka arus dc yang mengalir pada beban yaitu :

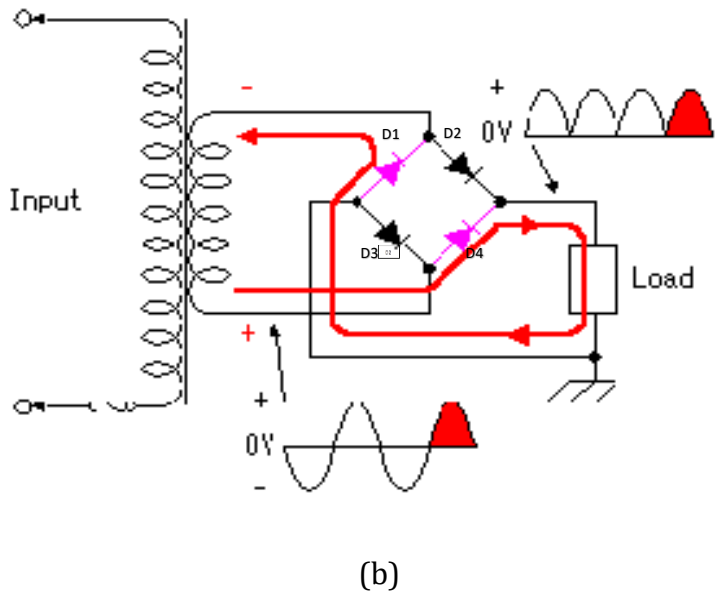
$$I_0 = \frac{V_0}{R_B} = \frac{V_m}{\pi \cdot R_b} = \frac{\sqrt{2} \cdot V_{rms}}{\pi \cdot R_b}$$

b. Penyearah Gelombang Penuh

Penyearah gelombang penuh (*Full Wave Rectifier*) merupakan penyearahan gelombang baik yang positifnya ataupun negatifnya dari siklus gelombang tegangan input.



(a)



Gambar 1.19. Analisa Rangkaian Penyearah Gelombang Penuh
Sumber : Wordpress

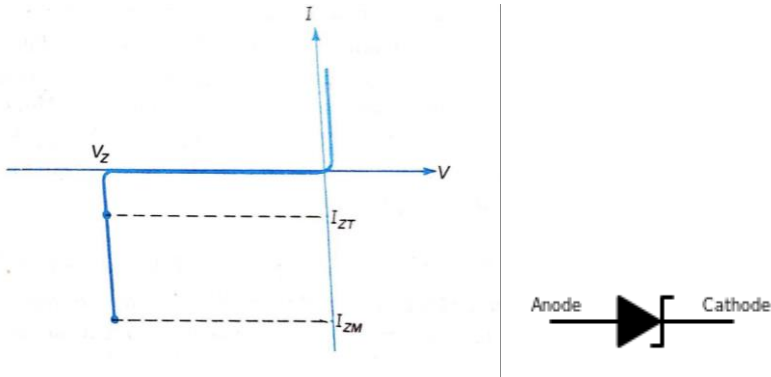
Dituangkan pada Gambar 1.19. (a) terdapat dua siklus yaitu siklus positif dan negatif, Gambar 18 (a) menunjukkan empat dioda, pada sesi yang pertama yaitu pada setengah siklus positif D2 dan D3 telah mengalami bias maju, sedangkan dioda pada D1 dan D4 diberikan bias mundur sehingga tidak menghasilkan arus yang mengalir

Kemudian dituangkan pada Gambar 1.19. (b), pada sesi kedua yaitu kemudian pada setengah siklus negatif diode D2 dan D3 diberikan bias mundur sehingga kedua dioda tersebut tidak menghantarkan arus listrik, kemudian pada diode D1 dan D4 mengalami bias maju

4. Dioda Zener

Dioda Zener merupakan diode tegangan dengan nilai Zener didalam arah mundur (*reverse bias voltage*), Dioda Zener tidak digunakan untuk bias maju (*forward bias*). Sesuai dengan nama nya Dioda Zener ditemukan oleh Clarence

Melvin Zener pada tahun 1934. Dioda Zener biasanya digunakan untuk stabilisator atau system regulator tegangan pada system catu daya kendali otomatis atau semiotomatis



Gambar 1.20. Karakteristik Dioda Zener

Dioda Zener bekerja membatasi tegangan yang akan masuk ke beban yaitu: apabila tinggi puncak gelombang tegangan penyearahan lebih besar dari pada tegangan diode zener, maka dioda akan memotong puncak gelombang tegangan dan akan meneruskan tegangan sisa sebesar tegangan diode zener ke beban apabila diode zener dianggap ideal.

Apabila dilakukan catu daya arah berbalik, maka dioda zener akan mengalirkan arus listrik secara berlawanan (bias mundur) pada tegangan dadalnya. Dioda akan memanaskan dan kemudian akan terputus apabila tercatu oleh daya yang melebihi tegangan aslinya. Tegangan asli dioda biasanya sudah terdapat pada kode tertentu yang menunjukkan besaran tegangan pada tubuh (*body*) dioda. Jika dilakukan dalam batas kemampuan aslinya, maka proses ini *reversible*. Jika diberikan tegangan pada posisi rangkaian bias maju, maka dioda zener akan mengalami *drop* tegangan sekitar 0,6 volt seperti pada dioda yang dibuat dari silikon.

5. Dioda Switching

Dioda switching merupakan suatu komponen diode penyearah dengan kemampuan *switching* di frekuensi tinggi,

biasanya digunakan pada *switching* regulator power supply, atau konverter yang menerapkan system swithing. Penerapan dioda pn untuk penyearah listrik yang memerlukan tegangan tahan tinggi berkisar 200 sampai 1000 Volt dan arusnya yang tinggi yaitu 0,5 atau lebih. Sebaliknya , diode *switching* digunakan pada tegangan rendah. Oleh karena itu, diode switching akan menghasilkan tegangan yang rendah sebesar 80 sampai 200 Volt dan arusnya 0,15 sampai 0,5 Ampere. Sehingga hasilnya area dioda switching dapat dikurangi dan dengan demikian akan terwujud kapasitansi yang rendah dan waktu pemulihan balik yang singkat. Dioda switching ini biasanya digunakan dalam berbagai perangkat elektronik diantaranya aplikasi sakelar, logika diodam rangkaian penjepit tegangan dan pedeteksi tegangan.

6. Diac (diode bolak-balik)

Dioda diac atau lebih dikenal dengan kata lain dioda bolak-balik adalah suatu komponen yang bekerja mengalirkan arus dalam dua arah. Biasanya diode tersebut sering digunakan untuk membatasi sinyal-sinyal kecil arus bolak-balik, biasanya pada rangkaian *Dimmer Controller Lamp* yang menggunakan TRIAC dan DIAC yaitu TRIAC yang didalamnya berintegrasi sebuah DIAC

1.1.5 Transistor

Transistor merupakan komponen golongan semikonduktor yang biasa dipakai sebagai penguat, sirkuit pemutus, penyambung arus, stabilisasi tegangan maupun modulasi sinyal. Layaknya sebuah sakelar, transistor mampu berdasarkan arus masukan (BJT) atau tegangan input (FET).



Gambar 1.21. Transistor
Sumber Wikipedia

Secara umum, transistor memiliki 3 kaki, diantaranya Basis (B), Emitor (E) dan Kolektor (C). Tegangan pada satu terminal misalkan pada kaki Emitor biasa dipakai untuk mengatur arus dan tegangan yang lebih besar daripada arus masukan Basis, yaitu pada keluaran tegangan dan arus output (keluaran) dari Kolektor.

Transistor merupakan komponen yang kegunaannya penting dalam dunia elektronika. Pada rangkaian analog, transistor dapat digunakan untuk sistem penguat. Rangkaian analog diantaranya rangkaian penguat suara, penguat sinyal radio, dan sumber listrik stabil. Dalam rangkaian-rangkaian digital, transistor pun digunakan sebagai saklar yang berkecepatan tinggi. Beberapa transistor juga dapat dirangkai sedemikian rupa sehingga menghasilkan fungsi gerbang logika, memori dan fungsi rangkaian lainnya.

1. Transistor BJT

Transistor BJT (*Bipolar Junction Transistor*) merupakan jenis transistor yang bekerja dengan membayangkakan, apabila terdapat dua dioda pn yang positif dan negatifnya berdempet, sehingga ada tiga terminal. Ketiga terminal tersebut adalah emiter (E), kolektor (C), dan basis (B).

Perubahan arus listrik yang bernilai kecil pada terminal basis dapat menghasilkan perubahan arus listrik dalam jumlah besar pada terminal kolektor. Prinsip inilah yang dapat mendasari penggunaan transistor sebagai penguat elektronik.

2. Transistor FET

Transistor FET dibagi menjadi dua keluarga: Junction FET (JFET) dan *Insulated Gate FET* (IGFET) sering dikenal dengan nama Metal Oxide Silicon (atau *Semiconductor*) FET (MOSFET). IGFET, gerbang terminal dalam JFET membentuk sebuah diode dengan kanal (materi semikonduktor antara Source dan Drain). Fungsinya adalah membuat N-channel JFET menjadi sebuah versi solid-state dari tabung vakum, yang juga membentuk sebuah dioda antara grid dan katoda. Dan juga, keduanya (JFET dan tabung vakum) bekerja di "*depletion mode*", keduanya juga memiliki nilai impedansi input tinggi, dan dapat menghantarkan arus listrik di bawah kontrol tegangan input.

DAFTAR PUSTAKA

Lilikwatil, Yakob, 2013, *Komponen Elektronika*, Yogyakarta :
Deepublish
www.google.com
www.wikipedia.com
www.everythingrf.com
www.physics-and-radio-electronics.com/

BAB 2

STURKTUR KRISTAL BAHAN PADAT

Oleh St.Amina H.Umar

2.1 Pendahuluan

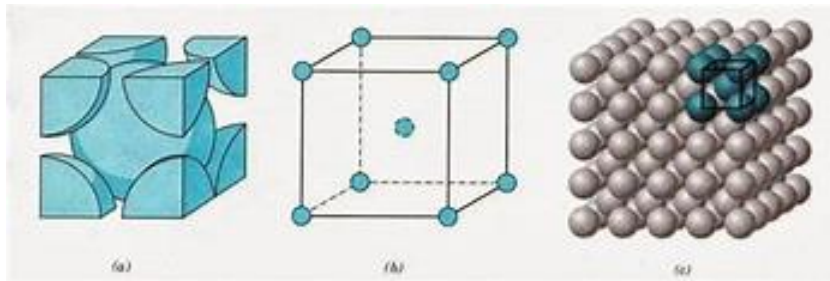
Pada umumnya, dalam ilmu fisika atom atom merupakan penyusun zat pada yang teratur dan sifatnya periodik dimana zat atau bahan ini dikenal dengan kristal, akan tetapi ada juga sebagian bahan yang strukturnya tidak teratur yaitu zat bahan amorf. Kristal adalah (Hariyadi. 2022) merupakan zat padat yang mempunyai susunan atom atau melekul yang teratur dengan rentang tak terhingga. Besar kecilnya kristal mempengaruhi sifat fisis kristal yang penting bentuk dibatasi oleh bidang bidang kristal selanjutnya kristal dapat dibedakan menjadi 2 jenis yaitu kristal tunggal (monokristal) dan polikristal.

Kristal tunggal merupakan kristal ideal yang memiliki derajat keteraturan yang tinggi dimana atom atomnya tersusun secara teratur dan berulang dalam pola tiga dimensi yang dapat mendifraksi sinar X (St Amina H.Umar, 2020). keteraturannya tercermin dalam permukaan kristal yang berupa bidang bidang datar dan rata yang mengikuti pola pola tertentu. Bidang bidang datar ini disebut sebagai bidang muka kristal. Sudut antara bidang bidang muka kristal yang saling berpotongan besarnya selalu tetap pada suatu kristal. Bidang kristal itu baik letak maupun arahnya di tentukan oleh perpotongannya dengan sumbu sumbu kristal. Dalam sebuah kristal, sumbu kristal berupa garis bayangan yang lurus menembus kristal melalui pusat kristal. Sumbu kristal tersebut mempunyai satuan panjang yang disebut sebagai parameter.

2.2 Struktur Kristal

Struktur kristal merujuk pada cara atom, ion, atau molekul disusun dalam suatu pola teratur dalam suatu bahan

padat. Kristalografi adalah ilmu yang mempelajari struktur kristal. Ada beberapa jenis struktur kristal yang berbeda, tergantung pada jenis ikatan kimia antar atom atau molekul dalam bahan tersebut.



Gambar 2.1. Struktur Kristal
(<https://piyohsiat.blogspot.com/>)

Berikut ini adalah beberapa jenis struktur kristal yang umum

2.2.1 Kubik Sederhana (*Simple Cubic*)

Setiap atom ditempatkan pada sudut kubus dan tidak ada atom di pusat kubus. Ini adalah struktur yang paling sederhana dan jarang terjadi secara alami karena kurangnya kestabilan.

Beberapa karakteristik dari struktur kubik sederhana termasuk:

1. Titik-titik atom/ion yang terletak pada sudut-sudut kubus dan pada titik-titik pusat masing-masing sisi kubus.
2. Jumlah atom/ion per sel unit yaitu Terdapat satu atom/ion di pusat masing-masing sisi kubus, sehingga jumlah total atom/ion per sel unit adalah 1.
3. Koordinasi atom atau ion dalam struktur kubik sederhana adalah 6, karena setiap atom atau ion berhubungan dengan enam atom atau ion lainnya yang terletak pada sisi-sisinya.
4. Efisiensi ruang adalah Struktur kubik sederhana memiliki efisiensi ruang sekitar 52,4%. Ini berarti sebagian besar volume dalam sel unit tidak diisi oleh atom atau ion.

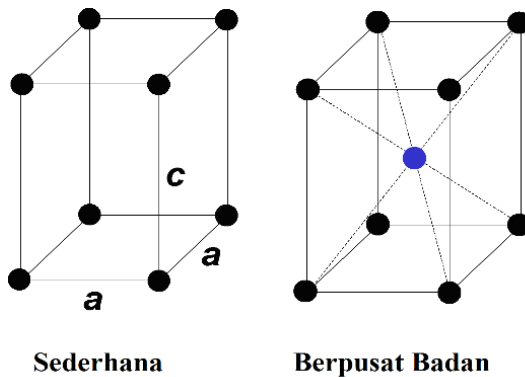
Penting untuk dicatat bahwa meskipun struktur kubik sederhana memberikan model yang sederhana dan mudah dimengerti, kebanyakan logam sebenarnya memiliki struktur kristal yang lebih kompleks seperti kubik terpusat-tubuh (*body-*

centered cubic) atau kubik berpusat-muka (*face-centered cubic*). Struktur ini memberikan sifat-sifat material yang berbeda-beda.

2.2.2 Kubik Badan Sentral (*Body-Centered Cubic/BCC*)

Atom ditempatkan pada sudut kubus dan satu atom tambahan ditempatkan di tengah kubus. Ini lebih umum daripada struktur kubik sederhana dan lebih stabil. Dalam struktur ini, satu atom ditempatkan di sudut kubus, dan satu atom tambahan ditempatkan di tengah kubus. Struktur ini lebih kompleks dan umumnya lebih stabil dibandingkan dengan struktur kubik sederhana karena keberadaan atom tambahan di tengah kubus dapat memberikan kestabilan tambahan.

Struktur kubik sederhana memiliki atom hanya pada sudut kubus, sementara BCC memiliki tambahan atom di pusat kubus. Ini dapat memiliki implikasi penting dalam sifat-sifat materi yang terbentuk dari struktur ini, termasuk sifat mekanik, termal, dan listriknya. Banyak logam kristalin seperti besi memiliki struktur kubus berpusat badan pada suhu tertentu, dan sifat-sifatnya dapat dipengaruhi oleh struktur kristal tersebut.



Gambar 2.2. Kubik Sederhana dan kubik berpusat badan
(<https://rolanrusli.com/>)

2.2.3 Kubik Tertutup Rapat (*Face-Centered Cubic/FCC*)

Kubik Tertutup Rapat (*Face-Centered Cubic/FCC*) adalah suatu jenis struktur kristal yang umum ditemukan pada beberapa logam dan padatan ionik. Dalam struktur ini, atom

atau ion ditempatkan pada setiap sudut dan juga pada setiap muka (atau permukaan) dari kubus imajinernya. Struktur ini juga dikenal sebagai kubik rapat karena memiliki kepadatan atom yang lebih tinggi dibandingkan dengan kubik sederhana atau kubik berpusat badan.

Ciri-ciri dari struktur Kubik Tertutup Rapat (FCC):

1. Atom pada Setiap Sudut Kubus: Seperti kubik sederhana, FCC memiliki atom pada setiap sudut kubus.
2. Atom pada Setiap Muka Kubus: Selain atom pada sudut, terdapat atom tambahan pada setiap muka (permukaan) kubus. Ini memberikan kepadatan atom yang lebih tinggi.
3. Rasio Atom: FCC memiliki rasio atom terhadap jumlah atom pada setiap muka kubus sebesar 1:1, yang berarti terdapat satu atom pada setiap muka.
4. Kepadatan Atom Tinggi: Kepadatan atom dari struktur ini adalah yang tertinggi di antara struktur kubik lainnya, sehingga sering disebut sebagai "rapat."

Beberapa logam yang mengadopsi struktur Kubik Tertutup Rapat meliputi emas (Au), perak (Ag), aluminium (Al), dan tembaga (Cu). Sifat-sifat materi yang terbentuk dari struktur ini dapat dipengaruhi oleh kepadatan atom yang tinggi dan pengaturan atom yang teratur, termasuk sifat mekanik, termal, dan listriknya. Struktur FCC juga sering menjadi dasar untuk pengembangan paduan logam karena kestabilan dan sifat mekanik yang baik.

2.2.4 Heksagonal Rapat (*Hexagonal Close-Packed/HCP*)

Heksagonal Rapat (*Hexagonal Close-Packed/HCP*) adalah salah satu jenis struktur kristal yang umumnya ditemui pada beberapa logam, terutama magnesium (Mg) dan beberapa logam berat seperti kobalt (Co) dan timbal (Pb). Struktur ini disebut "hexagonal" karena unit sel kristalnya membentuk pola heksagonal, dan "rapat" karena kepadatan atomnya relatif tinggi.

Ciri-ciri dari struktur HCP:

1. Polanya yaitu dalam struktur HCP, unit sel kristal terdiri dari dua lapisan atom yang membentuk susunan

- heksagonal. Setiap lapisan atom memiliki tiga atom yang membentuk segitiga sama sisi.
2. Jumlah Atom dalam Unit Sel yaitu terdapat enam atom dalam satu unit sel HCP.
 3. Hubungan Antar Lapisan Atom dengan Lapisan atom kedua diletakkan di atas lubang segitiga di lapisan pertama, dan pola ini terus berlanjut.
 4. Kepadatan Atom yaitu dimana HCP memiliki kepadatan atom yang tinggi karena atom-atomnya saling rapat.

Rumus struktur kristal untuk HCP dapat dituliskan sebagai A_6 , di mana A mewakili jenis atom atau ion yang membentuk struktur tersebut, dan subscript 6 menunjukkan bahwa terdapat enam atom dalam satu sel unit kubik. HCP dan Kubik Tertutup Rapat (FCC) adalah dua struktur kristal yang memiliki kepadatan atom tertinggi di antara struktur kristal yang umum. Struktur HCP sering ditemui pada logam-logam tertentu dan dapat memengaruhi sifat-sifat mekanik dan termal dari materi yang membentuknya.

2.2.5 Tetragonal (*Simple Tetragonal*)

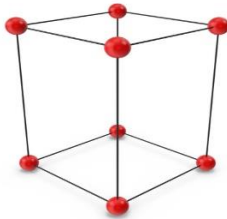
Struktur Tetragonal Sederhana (*Simple Tetragonal*) adalah salah satu jenis struktur kristal yang umumnya ditemui pada beberapa logam dan senyawa kristalin. Struktur ini termasuk dalam kelompok sistem kristal tetragonal, di mana unit sel kristal memiliki sisi yang sejajar dan sudut yang membentuk sudut kanan, tetapi panjang dua sisi yang sejajar tidak sama

Ciri-ciri dari struktur Tetragonal Sederhana:

1. Bentuk Unit Sel: Unit sel kristalnya berbentuk seperti prisma dengan panjang dua sisi yang sejajar berbeda. Sisi yang lebih panjang sejajar dengan sumbu kristal c , sedangkan dua sisi yang lebih pendek sejajar dengan sumbu a .
2. Sudut Antar Sisi: Sudut antar sisi dalam unit sel adalah 90 derajat, sehingga membentuk struktur yang bersifat ortorombik.

3. Jumlah Atom dalam Unit Sel: Jumlah atom atau ion dalam satu unit sel Tetragonal Sederhana bervariasi tergantung pada jenis materi yang membentuk struktur tersebut. Rumus struktur dapat dituliskan sebagai Ax , di mana A mewakili jenis atom atau ion dan x menunjukkan jumlah atom atau ion dalam satu sel unit.
4. Kepadatan Atom: Kepadatan atom dalam Tetragonal Sederhana tidak setinggi pada struktur kubik, seperti Kubik Sederhana atau Kubik Berpusat Badan.

Struktur Tetragonal Sederhana kurang umum dibandingkan dengan struktur kubik atau hexagonal, tetapi masih ditemui pada materi yang memiliki struktur ini dapat dipengaruhi oleh geometri dan tata letak atom dalam struktur kristal tersebut.



Gambar 2.3. Tetragonal Sederhana
(<https://atlas-content-cdn.pixelsquid.com/>)

2.2.6 Ortorombik (*Simple Orthorhombic*)

Struktur Ortorombik Sederhana (*Simple Orthorhombic*) adalah salah satu jenis struktur kristal yang termasuk dalam sistem kristal ortorombik. Sistem kristal ortorombik memiliki tiga sumbu yang saling tegak lurus dengan panjang yang tidak sama. Struktur ortorombik sederhana adalah variasi sederhana dari struktur ortorombik yang lebih umum.

Ciri-ciri dari struktur Ortorombik Sederhana:

1. Unit Sel Ortorombik: Unit sel kristalnya berbentuk ortorombik, dengan panjang a , b , dan c yang berbeda dan saling tegak lurus.

2. Jumlah Atom dalam Unit Sel: Jumlah atom atau ion dalam satu unit sel ortorombik sederhana bervariasi tergantung pada jenis materi yang membentuk struktur tersebut. Rumus struktur dapat dituliskan sebagai A_{xyz} , di mana A mewakili jenis atom atau ion, dan x, y , dan z menunjukkan jumlah atom atau ion dalam arah masing-masing sumbu.
3. Koordinasi Atom/Ion: Koordinasi atom atau ion dalam struktur ini dapat bervariasi tergantung pada konfigurasi spesifik dari suatu materi.
4. Sudut Antar Sisi: Sudut antar sisi dalam unit sel ortorombik adalah 90 derajat.

Struktur ortorombik sederhana kurang umum dibandingkan dengan struktur kubik atau hexagonal, namun, dapat ditemui pada beberapa senyawa kristalin. Sifat-sifat mekanik, termal, dan listrik dari materi yang memiliki struktur ini dapat dipengaruhi oleh geometri dan tata letak atom dalam struktur kristal tersebut. Perubahan pada panjang sisi sumbu ortorombik atau koordinasi atom dapat memengaruhi sifat-sifat tersebut.

2.2.7 Monoklinik (*Simple Monoclinic*)

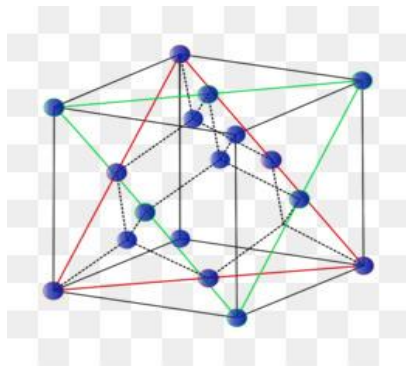
Struktur Monoklinik Sederhana (*Simple Monoclinic*) adalah salah satu jenis struktur kristal yang termasuk dalam sistem kristal monoklinik. Sistem kristal monoklinik memiliki tiga sumbu kristal yang semuanya memiliki panjang yang berbeda, dan dua sumbu di antaranya saling tegak lurus dengan sudut yang tidak sama. Struktur monoklinik sederhana merupakan variasi sederhana dari struktur monoklinik yang lebih umum.

Ciri-ciri dari struktur Monoklinik Sederhana:

1. Unit Sel Monoklinik merupakan unit sel kristalnya berbentuk monoklinik, dengan panjang a , b , dan c yang berbeda. Dua sumbu dari tiga sumbu kristal saling tegak lurus, sedangkan sumbu yang ketiga membentuk sudut yang tidak sama.

2. Jumlah Atom dalam Unit Sel dimana jumlah atom atau ion dalam satu unit sel monoklinik sederhana bervariasi tergantung pada jenis materi yang membentuk struktur tersebut. Rumus struktur dapat dituliskan sebagai A_{xyz} , di mana A mewakili jenis atom atau ion, dan x , y , dan z menunjukkan jumlah atom atau ion dalam arah masing-masing sumbu.
3. Koordinasi Atom/Ion yaitu koordinasi atom atau ion dalam struktur ini dapat bervariasi tergantung pada konfigurasi spesifik dari suatu materi.
4. Sudut Antar Sisi yaitu sudut antar sisi dalam unit sel monoklinik adalah 90 derajat, kecuali antara sumbu yang tidak sejajar, yang membentuk sudut yang tidak sama

Struktur monoklinik sederhana tidak seumum struktur kubik atau hexagonal, namun, dapat ditemui pada beberapa senyawa kristalin. Sifat-sifat mekanik, termal, dan listrik dari materi yang memiliki struktur ini dapat dipengaruhi oleh geometri dan tata letak atom dalam struktur kristal tersebut. Perubahan pada panjang sisi sumbu monoklinik atau sudut antar sumbu dapat memengaruhi sifat-sifat tersebut.



Gambar 2.4. Struktur Kristal Monoklinik
(<https://www.pngdownload.id/png-qima4d/>)

2.2.8 Trigonal (*Rhombohedral*)

Struktur Trigonal, yang juga dikenal sebagai Rhombohedral, adalah salah satu jenis struktur kristal yang

termasuk dalam sistem kristal trigonal. Sistem kristal trigonal memiliki tiga sumbu kristal yang saling berperan simetris, namun panjangnya tidak sama. Ketiga sumbu ini membentuk sudut yang sama satu sama lainnya.

Ciri-ciri Struktur Trigonal (*Rhombohedral*):

1. Unit Sel Trigonal dimana unit sel kristalnya berbentuk segitiga yang memanjang, serupa dengan piramida segitiga.
2. Jumlah Atom dalam Unit Sel dimana jumlah atom atau ion dalam satu unit sel trigonal bervariasi tergantung pada jenis materi yang membentuk struktur tersebut. Biasanya, terdapat satu atom di setiap sudut piramida segitiga dan satu atom di tengah.
3. Sudut Antar Sisi yaitu Sudut antar sisi dalam unit sel trigonal adalah sama, yaitu sekitar 60 derajat.
4. Sifat Khusus dari struktur ini memiliki tingkat simetri yang tinggi dan dapat ditemukan pada beberapa mineral alami seperti kalsit.

Struktur Trigonal (*Rhombohedral*) cenderung kurang umum dibandingkan dengan sistem kristal lainnya seperti kubik atau hexagonal, namun masih penting dalam kristalografi mineralogi dan kimia kristal. Sifat-sifat fisik dan kimia dari materi yang memiliki struktur ini bisa sangat dipengaruhi oleh geometri dan tata letak atom dalam struktur kristal tersebut. Perubahan pada panjang sisi atau sudut dalam unit sel trigonal dapat memengaruhi sifat-sifat tersebut.

Berikut adalah tabel yang memberikan gambaran umum tentang beberapa jenis struktur kristal beserta ciri-ciri khasnya:

Tabel 2.1. Jenis Struktur Kristal dan Ciri cirinya

Jenis Struktur Kristal	Contoh Materi	Ciri-Ciri Khas
Kubik Sederhana (SC)	Timah (Sn)	- Atom pada sudut kubus - 1 atom per unit sel
Kubik Berpusat Badan (BCC)	Besi (Fe)	- Atom pada sudut kubus dan di tengah kubus - 2 atom per unit sel
Kubik Tertutup Rapat (FCC)	Perak (Ag)	- Atom pada sudut kubus dan pada setiap muka kubus - 4 atom per unit sel
Heksagonal Rapat (HCP)	Magnesium (Mg)	- Unit sel membentuk pola heksagonal - 6 atom per unit sel
Tetragonal Sederhana	Raksa (Hg)	- Unit sel berbentuk prisma dengan dua sisi sejajar - Jumlah atom dalam unit sel bervariasi
Ortorombik	Sulfur (S)	- Panjang tiga sumbu kristal berbeda dan tegak lurus - Sudut antar sisi 90°
Monoklinik	Gypsum (CaSO ₄ •2H ₂ O)	- Panjang tiga sumbu kristal berbeda - Sudut antar sisi 90°, kecuali satu sumbu yang tidak sejajar
Trigonal (Rhombohedral)	Kalsit (CaCO ₃)	- Unit sel berbentuk segitiga - Sudut antar sisi sekitar 60°

2.3 Keterkaitan Struktur dengan Sifat Bahan

Keterkaitan antara struktur kristal dengan sifat-sifat bahan sangat penting dalam memahami perilaku dan karakteristik materi. Struktur kristal memengaruhi berbagai sifat fisik, mekanik, termal, dan listrik dari suatu bahan. Berikut

adalah beberapa contoh keterkaitan antara struktur kristal dan sifat bahan:

1. **Kepadatan** yaitu struktur kristal yang lebih rapat, seperti kubik tertutup rapat (FCC) atau heksagonal rapat (HCP), cenderung memiliki kepadatan atom yang lebih tinggi. Oleh karena itu, bahan dengan struktur ini biasanya memiliki kepadatan yang lebih tinggi daripada bahan dengan struktur yang lebih terbuka, seperti kubik sederhana.
2. **Kekuatan Mekanik** yaitu struktur kristal yang memengaruhi kekuatan dan keuletan bahan. Misalnya, bahan dengan struktur kubik berpusat badan (BCC), seperti baja, cenderung memiliki kekuatan yang lebih tinggi karena dislokasi atomnya lebih sulit terjadi. Struktur kristal yang kompleks atau anisotropik, seperti dalam kristal fasa tunggal, juga dapat memengaruhi perilaku mekanik bahan dalam berbagai arah.
3. **Konduktivitas Termal dan Listrik** yaitu struktur kristal yang memengaruhi konduktivitas termal dan listrik bahan. Bahan dengan struktur kristal yang lebih teratur cenderung memiliki konduktivitas yang lebih tinggi karena pembawa muatan atau panas dapat bergerak lebih bebas melalui jaringan kristal yang teratur.
4. **Transisi Fase** adalah Perubahan struktur kristal sering terkait dengan perubahan fase dalam bahan. Misalnya, transisi fase dari struktur kubik berpusat badan (BCC) ke struktur kubik tertutup rapat (FCC) dapat terjadi pada beberapa logam dengan meningkatnya suhu.
5. **Optik** adalah Struktur kristal juga memengaruhi perilaku optik bahan, seperti indeks bias dan dispersi cahaya, yang dapat memengaruhi warna dan transparansi materi.

Dengan memahami hubungan antara struktur kristal dan sifat-sifat bahan, para ilmuwan dan insinyur dapat merancang bahan dengan sifat-sifat yang diinginkan untuk berbagai aplikasi, mulai dari teknologi semikonduktor hingga material struktural dalam industri.

2.3.1 Kepadatan atom dan Kepadatan bahan

Kepadatan atom dan kepadatan bahan adalah dua konsep yang terkait erat namun memiliki makna yang sedikit berbeda:

1. Kepadatan Atom mengacu pada jumlah atom yang terdapat dalam satu unit volume dari sebuah materi. Ini adalah ukuran dari seberapa rapat atom-atom tersebut tersusun dalam sebuah struktur kristal. Kepadatan atom dihitung dengan membagi jumlah total atom dalam satu unit sel kristal dengan volume unit sel tersebut. Satuan yang sering digunakan untuk kepadatan atom adalah atom per sentimeter kubik (atom/cm^3) atau atom per meter kubik (atom/m^3) tergantung pada konteksnya.
2. Kepadatan bahan adalah ukuran dari massa bahan yang terkandung dalam satu unit volume dari materi tersebut. Ini adalah ukuran dari seberapa rapat materi tersebut tersusun secara keseluruhan. Kepadatan bahan dihitung dengan membagi massa total bahan dengan volume yang ditempati oleh bahan tersebut. Satuan yang sering digunakan untuk kepadatan bahan adalah gram per sentimeter kubik (g/cm^3) atau kilogram per meter kubik (kg/m^3).

Hubungan antara kepadatan atom dan kepadatan bahan terletak pada struktur kristal materi tersebut. Sebagai contoh, bahan dengan struktur kristal yang lebih rapat, seperti kubik tertutup rapat (FCC) atau heksagonal rapat (HCP), akan memiliki kepadatan atom yang lebih tinggi. Ini akan menyebabkan kepadatan bahan secara keseluruhan juga menjadi lebih tinggi. Namun, bahan dengan struktur kristal yang lebih terbuka, seperti kubik sederhana, akan memiliki kepadatan atom yang lebih rendah, dan oleh karena itu, kepadatan bahan secara keseluruhan juga lebih rendah.

Dengan memahami hubungan antara kepadatan atom dan kepadatan bahan, kita dapat memahami bagaimana struktur kristal dari suatu materi memengaruhi sifat fisiknya secara keseluruhan, termasuk kepadatan, yang merupakan parameter penting dalam berbagai aplikasi teknologi dan industri.

2.3.2 Pengaruh Struktur Terhadap Sifat Mekanik

Pengaruh struktur terhadap sifat mekanik bahan sangat penting karena struktur kristal memengaruhi cara atom-atom atau ion-ion tersusun dalam bahan padat. Berikut adalah beberapa pengaruh utama struktur terhadap sifat mekanik bahan:

1. Kekuatan Struktur dimana kristal memengaruhi kekuatan bahan, yang merupakan kemampuan bahan untuk menahan beban tanpa mengalami deformasi permanen. Kekuatan bahan dipengaruhi oleh kekuatan ikatan antar atom atau ion dalam struktur kristal. Misalnya, bahan dengan struktur kubik berpusat badan (BCC) cenderung memiliki kekuatan yang lebih tinggi daripada bahan dengan struktur kubik tertutup rapat (FCC) pada suhu tertentu.
2. Kekerasan adalah kemampuan bahan untuk menahan penetrasi atau deformasi permanen. Struktur kristal yang lebih teratur dan kaku cenderung memberikan kekerasan yang lebih tinggi. Misalnya, bahan dengan struktur Heksagonal Rapat (HCP) sering memiliki kekerasan yang tinggi.
3. Keuletan adalah kemampuan suatu bahan untuk menahan deformasi tanpa patah. Struktur kristal yang lebih teratur dan simetris cenderung memberikan keuletan yang lebih rendah karena sulit untuk menggerakkan dislokasi dalam struktur tersebut. Namun, beberapa struktur kristal memiliki keuletan yang lebih tinggi, seperti struktur BCC.
4. Plastisitas adalah kemampuan suatu bahan untuk mengalami deformasi permanen tanpa retak atau patah. Struktur kristal yang memungkinkan pergerakan atom atau ion dengan mudah cenderung memberikan plastisitas yang lebih besar. Misalnya, struktur FCC cenderung lebih plastis daripada struktur BCC pada suhu tertentu.
5. Anisotropi dimana beberapa struktur kristal bersifat anisotropis, yang berarti sifat mekaniknya berbeda dalam arah yang berbeda. Hal ini dapat terjadi karena struktur kristal tidak simetris dalam semua arah. Misalnya, struktur kristal HCP umumnya memiliki anisotropi yang signifikan.

Pengaruh struktur kristal terhadap sifat mekanik dapat dirancang bahan dengan sifat mekanik yang diinginkan untuk berbagai aplikasi, mulai dari komponen struktural hingga komponen mikroelektronika.

2.3.3 Pengaruh struktur kristal terhadap konduktivitas termal dan listrik

Pengaruh struktur kristal terhadap konduktivitas termal dan listrik adalah perhatian utama dalam bidang ilmu material. Struktur kristal memainkan peran penting dalam menentukan bagaimana muatan listrik atau panas berpindah melalui materi. Berikut adalah penjelasan lebih lanjut mengenai pengaruh struktur terhadap konduktivitas termal dan listrik:

1. Konduktivitas Termal

- a. Struktur kristal yang lebih teratur biasanya memiliki konduktivitas termal yang lebih tinggi karena energi dapat bergerak lebih bebas melalui jaringan kristal yang teratur. Kristal dengan atom atau ion yang padat dan teratur, seperti dalam struktur kubik tertutup rapat (FCC) atau heksagonal rapat (HCP), cenderung memiliki konduktivitas termal yang lebih tinggi.
- b. Penghalang Termal dimana pada struktur kristal ini yang lebih kompleks atau terdiri dari lapisan-lapisan yang tidak sejajar, energi panas dapat dihambat oleh batas-batas antar lapisan, menyebabkan konduktivitas termal yang lebih rendah.

2. Konduktivitas Listrik

- a. Konduktivitas listrik juga dipengaruhi oleh struktur kristal. Bahan dengan struktur kristal yang lebih teratur dan memiliki banyak elektron yang bebas untuk bergerak cenderung memiliki konduktivitas listrik yang lebih tinggi. Misalnya, logam yang umum seperti tembaga atau aluminium, yang memiliki struktur kristal FCC atau BCC, memiliki konduktivitas listrik yang tinggi karena elektron bebas untuk bergerak.
- b. Penghalang Listrik yaitu bahan dengan struktur kristal yang lebih kompleks atau memiliki ikatan kovalen yang

kuat, seperti dalam beberapa keramik atau polimer, mungkin memiliki konduktivitas listrik yang lebih rendah karena elektron tidak sebebas di dalam materi untuk berpindah.

Pengaruh struktur kristal terhadap konduktivitas termal dan listrik penting dalam merancang dan mengoptimalkan bahan untuk berbagai aplikasi, seperti dalam pengembangan material termoelektrik, pendingin termal, penghantar listrik, dan sebagainya. Dengan memahami hubungan ini, kita dapat merancang material dengan konduktivitas termal dan listrik yang sesuai dengan kebutuhan aplikasi tertentu.

DAFTAR PUSTAKA

- H.Umar, S., 2020. *Material Teknik*. Makassar: Yayasan Barcode.
- Hamid, A., 2021. *Fisika dan Zat Padat*. s.l.:syiah kuala university press.
- Hariyadi, 2022. *pengantar Fisika Kristal Untuk Piranti elektronika*. Yokyakarta: UAD Press.
- Pramono, E. d., 2010. *Kristalografi*. s.l.:Universitas Gaja Mada.
- setyowati, Agnes Purwidyantri, 2019. *Prinsip Dasar Kristalografi dan Mineralogi*. s.l.:Penerbit Graha Ilmu.
- Suhada, dkk, 2020. *Buku Pintar Kristalogi dan Mineralogi*. s.l.:Perbit Andi.
- <https://www.pngdownload.id/png-qima4d>

BAB 3

KLASIFIKASI DAN SIFAT KONDUKTANSI BAHAN

Oleh Usman Umar

3.1 Pendahuluan

Bahan dalam bidang kelistrikan merupakan elemen yang sangat penting dalam menyalurkan energi listrik. Bahan listrik yang dikenal pada umumnya terdiri dari konduktor, Semi konduktor dan isolator. Bahan atau zat yang dapat dilewati arus listrik merupakan bahan konduktor atau konduktor listrik, tetapi bahan yang tidak dapat dilewati arus listrik merupakan bahan atau zat non-konduktor atau bahan isolator. Contoh material non- konduktor seperti kayu, plastik, karet, kayu, semua bahan non logam kecuali grafit (Karbon). (Lienig and Scheible, 2020)

Konduktansi merupakan suatu parameter kemudahan arus listrik melalui suatu material yang kebalikan dari resistansi, yang berarti bahwa bahan atau material yang memiliki konduktansi tinggi, maka memiliki resistansi rendah begitu pula sebaliknya. Konduktansi diukur dalam siemens (S) dan digunakan untuk mengukur kemampuan suatu material untuk menghantarkan listrik. Ini adalah konsep penting dalam studi rangkaian listrik dan ilmu material. (I Ketut Wijaya, 2015)

Untuk memahami konduktansi, hal pertama yang perlu dipahami adalah resistensi. Sederhananya, dalam rangkaian listrik *resistance* adalah hambatan yang dilewati elektron yang mengalir pada konduktor. Analoginya jika seseorang berjalan melintasi pasar yang ramai, tidak akan bisa berjalan dari suatu titik ke titik yang tanpa terhalang di keramaian dan tidak mungkin bisa jalan cepat atau berlari. Seperti yang terjadi pada aliran elektron yang dialirkan pada konduktor dari satu titik ke titik lainnya.

Kebalikan dari *resistance* adalah konduktansi yang berarti kemudahan elektron mengalir pada konduktor untuk bergerak melewatinya. Satuannya adalah mho atau Siemens.

Dalam teknik listrik khususnya arus lemah atau bidang elektronika sangat perlu mempelajari, memahami jenis, - jenis bahan dan sifat sifatnya yang bertujuan agar dapat memilih bahan yang tepat yang sesuai dengan kegunaannya. Pemilihan bahan disesuaikan dengan penggunaannya misalnya bahan penyekat harus memiliki sifat tahanan baik, tahan terhadap kelembaban, panas, reaksi bahan kimia dan sebagainya.(Boylestad and Nashelsky, 2002).

Konduktor dibedakan menjadi dua jenis yaitu (i) konduktor jenis padat (metallic), (ii) Konduktor jenis cair atau elektrolit dan (iii) konduktor jenis gas.

3.2 Konduktansi Bahan

Konduktivitas listrik suatu bahan merupakan ukuran kemampuannya dalam menghantarkan arus listrik. Sifat konduktivitas ini sangat penting dalam bidang teknik dan bidang ilmiah lainnya, terutama ketika memilih bahan untuk aplikasi listrik dan elektronik, (Vogel, 2007) Klasifikasi Konduktansi material digolongkan menjadi 3 kelompok yaitu.

1. **Konduktor:** bahan sangat konduktif yang menghantarkan arus listrik dengan baik. Contoh konduktor umum termasuk logam seperti tembaga, perak, dan aluminium.
2. **Isolator** : Bahan memiliki daya hantar listrik yang sangat rendah dan tidak dapat menghantarkan arus. Contoh isolator antara lain kaca, plastik, dan keramik.
3. **Semikonduktor:** Bahan yang daya hantar listriknya antara konduktor dan isolator. Konduktivitas semikonduktor dapat dikontrol dengan mengubah suhu atau dengan menerapkan medan listrik. Contoh semikonduktor termasuk silikon dan germanium.

3.3 Sifat Konduktansi Bahan

Sifat konduktivis material atau bahan dikelompokkan sebagai berikut:

1. **Konduktivitas Listrik (Konduktivitas Elektrik):** Ini adalah properti material yang mengukur seberapa baik suatu material dapat menghantarkan arus listrik. Konduktivitas listrik dinyatakan dalam satuan Siemens per meter (S/m) atau ohm per meter (Ω/m). Semakin tinggi nilai konduktivitas listrik maka semakin konduktif listrik suatu bahan.
2. **Konduktivitas Termal:** Properti ini mengukur kemampuan suatu material untuk menghantarkan panas. Umumnya bahan yang dapat menghantarkan panas dengan baik juga dapat menghantarkan listrik dengan baik. Konduktivitas termal dinyatakan dalam watt per kelvin (W/mK).
3. **Hambatan Listrik:** Ini adalah kebalikan dari konduktivitas listrik dan mengukur seberapa sulit suatu bahan untuk menghantarkan arus listrik. Hambatan listrik dinyatakan dalam ohm (Ω) dan dapat dihitung menggunakan rumus hambatan ($R = V/I$), dimana R adalah hambatan, V adalah tegangan, dan I adalah arus.
4. **Efek Hall:** Sifat ini terjadi pada bahan yang terkena medan magnet, menghasilkan arus listrik dan tegangan tegak lurus arah medan magnet. Efek Hall digunakan dalam sensor dan perangkat elektronik lainnya yang mengukur medan magnet.

3.4 Konduktor

Bahan Penghantar yang baik dalam bidang kelistrikan adalah zat yang dapat menghantarkan arus listrik, baik berupa zat padat, cair atau gas. Karena sifatnya yang konduktif maka disebut konduktor. Konduktor yang baik adalah yang mempunyai tahanan jenis yang kecil. Pada umumnya logam bersifat konduktif. Emas, perak, tembaga, aluminium, zink, besi berturut-turut memiliki tahanan jenis semakin besar. jadi sebagai penghantar emas adalah sangat baik, tetapi sangat mahal harganya, maka secara ekonomis tembaga dan

aluminium paling banyak digunakan.(Paul, Scully and Steffka, 2022)

3.4.1 Sifat Bahan Konduktor

Bahan konduktor merupakan bahan yang menghantarkan arus listrik, bahan bahan konduktor tersebut memiliki sifat sifat sebagai berikut;

- 1. Memiliki daya hantar listrik
- 2. Memiliki daya hantar panas
- 3. Mempunyai kekuatan tegangan tarik
- 4. Memiliki nilai koefisien suhu tahanan
- 5. Menimbulkan daya elektro – motoris thermo

Menurut (Raghavan, 2015), Sifat sifat bahan tersebut akan diuraikna dan dijelaskan sebagai berikut:

1. Daya hantar listrik

Arus listrik yang mengalir pada suatu penghantar (konduktor) akan mengalami hambatan yang ada pada konduktor itu sendiri. Besaratau kecilnya hambatan yang ada pada konduktor atau penghantar tersebut tergantung jenis bahannya., Nilai hambatan jenis setiap meter atau 1 mm² pada suhu normal atau 20°C . Untuk mengetahui nilai hambatan suatu konduktor dapat dihitung menggunakan rumus;

$$R = \rho l/A (1)$$

Dimana:

R = Hambatan pada konduktor/penghantar satuan Ω(ohm)

ρ = Hambatan jenis bahan dengan satuan mm² / ml (ohm)

l = Panjang konduktor / penghantar satuan meter (m)

A = Luas Penampang penhantar (kawat) konduktir satuan mm².

2. Daya Hantar Panas.

Sifat bahan konduktor ini menghantarkan panan. Daya hantar panas yang melalui lapisan bahan dalam setiap waktu yang dikonversi.

Energi panas yang dihantarkan dalam waktu tertentu di konversi ke satuan Kkal / jam °C. Daya hantar panas yang paling tinggi pada bahan logam, dan bahan non logam daya hantar panas sangat rendah.

3. Kekuatan Tegangan Tarik.

Sifat mekanik material sangat penting untuk jaringan konduktor di atas tanah. Oleh karena itu, perlu diketahui bahwa kekuatan bahan yang digunakan untuk itu. Terutama mengenai penggunaan pada distribusi tenaga listrik tegangan tinggi. Konduktor listrik dapat berupa benda padat, cair, atau gas. Dalam kasus padatan, logam, elektrolit, dan logam cair (merkuri) umumnya merupakan konduktor cair, sedangkan udara terionisasi dan gas mulia (neon, kripton, dll.) merupakan konduktor gas. .

4. Koefisien Suhu Tahanan

Telah diketahui bahwa dalam suatu zat akan mengalami perubahan volume jika terjadi perubahan suhu. Suatu zat akan memuai apabila suhu dinaikkan dan akan menyusut apabila suhu diturunkan. Besarnya nilai perubahan hambatan konduktifitas akibat perubahan suhu dapat diketahui dengan persamaan ;

$$R = R_0 \{ 1 + \alpha (t - t_0) \}, \dots\dots\dots(2)$$

dimana :

R : besar hambatan setelah terjadinya perubahan suhu

R₀ : besar hambatan awal, sebelum terjadinya perubahan suhu

T : temperatur suhu akhir, dalam C.

Material konduktor atau penghantar yang paling banyak digunakan adalah tembaga , sebab tembaga salah satu jenis material konduktor sebagai penghantar yang terbaik setelah emas dan perak dan dapat ditemukan dimana-mana serta harganya murah. Namun pada saat ini banyak digunakan aluminium dan baja sebagai bahan konduktor atau penghantar, walaupun tahanan jenisnya besar dengan

pertimbangan bahwa material ini sangat berlimpah dan harga lebih murah.

5. Timbulnya daya Elektro-motoris Termis

Pada sebuah rangkaian, arus akan menimbulkan daya Elektro -motoris termis pada ke dua titik kontak yang dibuat dari material logam yang berlainan jenis jika terjadi perubahan suhu. Sifat daya elektro-motoris termis ini sangat penting untuk diperhatikan karena dapat menjadi lebih tinggi, akibatnya pada pengaturan arus dan tegangan dapat mengalami penyimpangan walaupun sangat kecil. Besarnya perbedaan tegangan yang dihasilkan tergantung pada sifat sifat kedua material yang digunakan dan sebanding dengan perbedaan suhunya. Perbedaan suhu tersebut akan membangkitkan daya elektro-motris termis.

3.4.2 Sifat Thermal Material Konduktor

Sifat thermal material berkaitan dengan perpindahan kalor atau energi, sehingga sifat thermal merupakan tanggapan material terhadap penambahan energi dengan pemanasan (thermal). Sifat thermal dapat didefinisikan sebagai respon material terhadap panas yang diterima oleh material tersebut. Menurut (Schroeder, 2020) bahwa sifat thermal material konduktor sebagai berikut;

1. Sifat thermal material

Sifat thermal suatu material merespon panas dari aplikasi atau sumber panas. Material konduktor pada umumnya dalam bentuk padat, dimana benda padat dapat menyerap energi dalam bentuk thermal/panas, mengakibatkan temperatur dan dimensinya dapat berubah dan meningkat dan tersimpan. Pada zat padat terdapat dua kemungkinan penyimpanan energi thermal yaitu (i) penyimpanan dalam bentuk vibrasi ion/atom pada posisi keseimbangannya, (ii) berupa energi kinetik yang terkandung dalam elektron bebas.

2. Konduktivitas Thermal.

Konduktivitas atau keterhantaran panas (k), merupakan nilai besaran intensif barang yang menjelaskan suatu material menghantarkan panas. Penghantaran panas dari suatu titik ke titik yang lainnya menggunakan tiga jenis metode yaitu; konduksi, konveksi dan radiasi. Penentuan nilai konduktivitas (k) pada salah satu metode sebagai berikut:

Konduktivitas panas (k) = kesepatan aliran panas x Jarak / (luas x perbedaan suhu)

$$k = \frac{Q}{t} = \frac{L}{A \times \Delta T} \dots\dots\dots (3)$$

Dimana Q adalah panas yang dihantarkan, t adalah waktu yang digunakan menghantarkan panas, L ketebalan material, A adalah luas material dan ΔT adalah perbedaan suhu yang terjadi.

3. Resistansi Panas

Resistansi panas atau termal adalah kemampuan suatu bahan untuk menghambat aliran panas atau kalor. Resistansi panas merupakan perbandingan antara ketebalan material dengan konduktivitas panas material tersebut, sehingga dapat diformulasikan sebagai berikut:

$$R = T/Q \dots\dots\dots (4)$$

Dimana;

R = Resistansi / hambatan panas

Q = Konduktivitas panas/thermal

T = temperatur

Sifat konduktansi panas yang baik pada umumnya pada zat atau material padat, sementara zat cair dan gas memiliki konduktivitas panas yang tidak baik, sehingga dapat disebut isolator panas yang baik. Berikut ini daftar nilai konduktivitas panas/thermal setiap material.

Kemampuan suatu material untuk menghantarkan arus listrik tergantung pada besarnya medan listrik dan kerapatan arus disebut resistivitas (ρ) dengan satuan $\Omega.m$. Semakin besar nilai resistivitas suatu material semakin besar medan listrik yang dibutuhkan untuk menimbulkan

kerapatan arus. Konduktivitas merupakan dari resistivitas (ρ), nilai konduktivitas yang baik ada pada logam. Nilai konduktivitas merupakan perbandingan antara sifat thermal atau panas dan sifat kelistrikan suatu material. Contoh pada logam yang memiliki konduktivitas yang baik, dan daya hantar listrik pada bahan sangat baik sama dengan kepekaan terhadap perubahan suhu. Hal ini disebabkan karena pada logam terdapat banyak elektron bebas yang dapat mengangkut muatan baik konduksi listrik maupun konduksi panas.

3.4.3 Sifat Fisika Konduktor

Sifat Fisika merupakan sifat suatu zat yang bisa diamati tanpa melakukan perubahan pada zat-zat yang menyusun materi tersebut, menurut (Schroeder, 2020) sifat fisika material konduktor antara lain:

1. Daya Hantar Listrik

Material yang dapat dilewati atau menghantarkan listrik dengan baik disebut material konduktor, sebaliknya material yang tidak dapat dilewati atau menghantarkan listrik disebut isolator. Konduktor dan isolator merupakan sifat fisika dari sebuah material, sifat ini dapat dibuktikan misalnya pada sebuah logam yang jenis tembaga jika dihubungkan dengan lampiran dialirkan arus listrik pada logam tembaga tersebut kita dapat melihat lampu akan menyala, dan sebaliknya jika logam tembaga tersebut diganti dengan material plastik atau kayu yang merupakan isolator jika dialirkan arus listrik pada material tersebut, jika diamati lampu tidak menyala. Hal ini terjadi karena terjadi resistansi terhadap arus listrik pada bahan isolator tersebut.

2. Kemagnetan

Sifat kemagnetan material pada umumnya digolongkan menjadi dua golongan yaitu material yang memiliki magnet dan material yang tidak memiliki sifat magnetik. Material yang memiliki sifat magnetik dapat ditarik oleh magnet dan

material yang tidak memiliki sifat kemagnetan material tersebut tidak dapat ditarik oleh magnet.

3. Titik didih

Suatu material memiliki sifat dapat menghantarkan panas dan dapat menahan panas, serta dapat mencapai titik didih dan titik leleh. Titik didih merupakan suatu titik suhu pada material dapat mendidih dan titik leleh adalah merupakan suatu titik suhu material dapat meleleh atau mencair.

3.4.4 Klasifikasi Material Konduktor

Material yang tergolong jenis konduktor adalah semua material yang dapat mengalirkan arus listrik contoh konduktor tembaga, besi, aluminium dan lain lain. Material konduktor dipergunakan untuk mengalirkan arus listrik yang pada umumnya dalam bentuk kabel yang harus memiliki rugi daya yang kecil pada saat dialiri arus listrik yang besar dan daya tahan terhadap suhu yang besar. Menurut (I Ketut Wijaya, 2015) klasifikasi material konduktor sebagai berikut :

1. Resistivitas dan Konduktivitas Material Konduktor

Resistivitas material konduktor atau penghantar dipengaruhi oleh faktor temperatur, tahanan pada beberapa material penghantar, terutama pada jenis logam murni, nilai resistivitas bertambah seiring bertambahnya temperatur logam murni. Perubahan resistivitas setiap ohm per derajat temperaturnya disebut koefisien temperatur resistivitas atau tahanan suatu material. Sehingga resistivitas material konduktor akan berubah sesuai derajat perubahan temperatur material tersebut.

2. Material Resistivitas Rendah

Material atau bahan yang memiliki resistivitas rendah pada umumnya dipergunakan sebagai penghantar dalam instalasi listrik pada perumahan, saluran transmisi dan distribusi dan lilitan kumparan motor, generator , transformator dan pada bagian bagian konektor rangkaian elektronika. Tembaga salah satu material yang paling banyak digunakan

sebagai konduktor pada rangkaian elektronika, karena tembaga merupakan material yang mudah dibuat dalam bentuk kawat dan sangat baik dalam menghantarkan arus listrik serta sangat mudah dalam penyambungan. Selain itu Aluminium juga merupakan salah material yang sering gunakan sebagai konduktor tetapi tidak sebaik tembaga, aluminium bangak digunakan pada saluran transmisi dan transformator tenaga dibandingkan pada rabngkaian elektronika.

Material yang memiliki resistivitas rendah memiliki kondisi sebagai berikut:

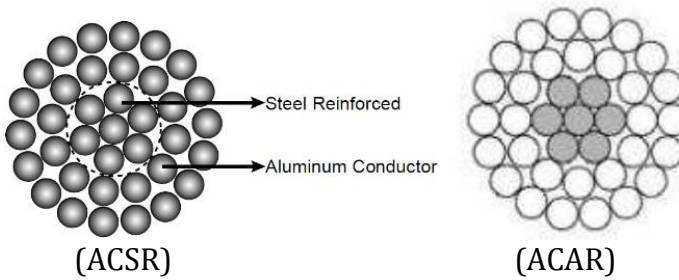
1. Koefisien temperatur adalah rendah
Koefisien temperatur sensivitas adalah perubahan tahanan rendah seiring perubahan temperatur yang rendah. Sehingga untuk meminimalis kerugian maka gunakan material konduktor yang memiliki koefisien temperatur yang rendah
2. Memiliki tekanan mekanik
Tekanan mekanik harus cukup adalah diakibatkan oleh angin dan berat dari konduktor saluran udaranya sendiri, yang digunakan untuk jaringan transmisi dan distribusi energi listrik. Untuk menahan tekanan mekanis untuk beberapa jenis penggunaan konduktor maka dibutuhkan material konduktor yang kuat dibandingkan tekanan mekanisnya.
3. Dapat dilengkungkan (dibengkokkan)
Material konduktor dapat digunakan dalam berbagai bentuk dan jenis penggunaaanya, sehingga harus mudah dibentuk dan diolah sesuai dengan kondisi yang berbeda. Material konduktor diharapkan tahan terhadap korosi atau tidak mudah berkarat saat digunakan tanpa menggunakan isolasi yang digunakan diluar ruangan.
4. Sifat material yang memiliki resistivitas tinggi pada umumnya terbuat dari campuran material yang berbeda, misalnya ichron, anganin, constanta dan lain lain.

3.5 Jenis Material Konduktor

Fungsi konduktor dalam teknik elektro adalah mengalirkan energi listrik. Konduktor yang umum digunakan adalah aluminium, tembaga, dan beberapa bahan lainnya. Sifat dan karakteristik material konduktif yang dibahas bersifat umum dan tidak mengarah pada ilmu material yang lebih spesifik, cocok untuk aplikasi lapangan yang meningkatkan suhu dan sifat material. Bahan konduktif diketahui memiliki konduktivitas termal yang baik. Bahan konduktif mempunyai resistansi yang rendah karena resistansi spesifiknya rendah. Bahan konduktif mengandung elektron pada lapisan atom terluar yang memiliki daya tarik lemah terhadap inti atom. Apabila ujung-ujung kawat dihubungkan hanya dengan tegangan kecil, elektron akan bergerak bebas, sehingga meningkatkan aliran elektron (arus) melalui kawat. Contoh bahan konduktif antara lain besi, tembaga, perak, aluminium, paku, karbon, klip kertas, dan koin. Sedangkan bahan penghantar adalah bahan yang banyak mengandung elektron bebas pada kulit orbital terluarnya. Elektron bebas ini akan sangat mempengaruhi sifat-sifat material.(Hofmann, 2022).

1. Aluminium

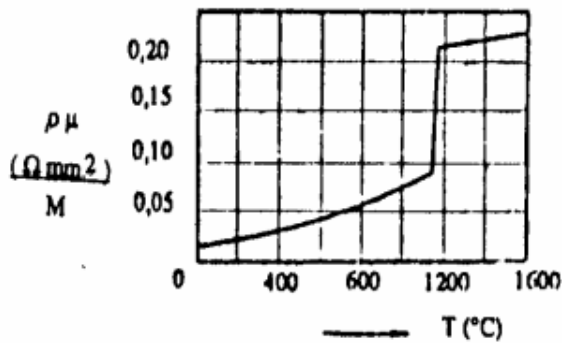
Material aluminium murni (Al) mempunyai massa jenis $2,7 \text{ g/cm}^3$, kekuatan tarik 9 Kg/mm^2 sehingga mudah dibentuk dan titik lelehnya 658°C . Daya hantar 35 m/ohm.mm^2 atau sekitar 61,4% daya hantar tembaga. Material aluminium memiliki resistivitas $2,82 \times 10^{-8} \Omega\cdot\text{m}$ dan konduktivitas $3,5 \times 10^7 \text{ S/m}$ pada suhu 20°C . Aluminium dapat dibentuk dalam keadaan dingin, Tidak tahan terhadap garam dapur atau laut dan memiliki warna silver atau perak. Oleh karena itu, jika aluminium digunakan sebagai konduktor dengan dimensi yang cukup besar, maka selalu diperkuat dengan baja atau paduan aluminium. Kegunaannya seperti: ACSR (Aluminium Conductor Steel Reinforced), ACAR (Aluminum Conductor Alloy Reinforcement).(Mondolfo, 2013). Struktur konduktor aluminium seperti gambar 3.1.



Gambar 3.1. Konstruksi Konduktor aluminium.
(Sumber : (Mondolfo, 2013).

2. Tembaga

Tembaga dengan kode Cu mempunyai daya hantar listrik yang tinggi yaitu 57 m/ohm.mm^2 pada suhu 20°C , dan massa jenis tembaga murni adalah $8,96 \text{ g/cm}^3$, titik beku pada suhu 1083°C serta kekuatan tarik tembaga cukup besar yaitu 20 sampai 40 kg/mm^3 dan kekuatan tarik akan meningkat apabila setelah batang tembaga diperkecil penampangnya seperti dijadikan kawat untuk kabel. Sifat tembaga yang penting lainnya yaitu tembaga memiliki ketahanan terhadap korosi dan oksidasi dapat disepuh dan berkarat bila terkena CO_2 , tembaga memiliki titik didih 2236°C sampai 2340°C , nilai ρ (ρ) ; 0,017 dan Tembaga memiliki koefisien suhu (α) ; 0.0043 per derajat celcius. Tembaga memiliki resistivitas $1,68 \times 10^{-8} \Omega.\text{m}$ dan konduktivitas material $5,98 \times 10^7 \text{ S/m}$. (Li and Zinkle, 2012). Kurva resistivitas tembaga terhadap suhu adalah tidak linier, seperti pada gambar 3.2.



Gambar 3.2. Konstruksi Konduktor aluminium.
(Sumber : (Li and Zinkle, 2012))

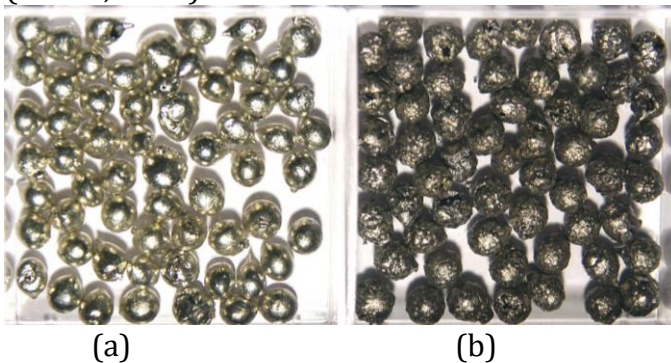
3. Seng (Zn)

Seng adalah logam diamagnetik berwarna putih kebiruan yang mengkilat, meskipun kualitas komersial yang paling umum dari logam ini memiliki permukaan kusam. Seng sedikit lebih ringan dari besi dan memiliki struktur kristal heksagonal, dengan bentuk padat heksagonal terdistorsi, di mana setiap atom memiliki enam tetangga terdekat (pada jarak 265,9 pm) pada bidangnya sendiri, dan enam atom lainnya pada jarak yang lebih jauh (290,6 pm).

Seng merupakan konduktor listrik yang baik, seng merupakan jenis logam yang keras tapi rapuh pada sebagian besar suhu dan lunak pada suhu 100 sampai 150°C, namun pada suhu di atas 210°C seng akan menjadi rapuh kembali dan dapat hancur dengan dipukul. Seng memiliki massa jenis atau kepadatan 7,14 g/cm³ dan pada saat mencair menjadi 6,57 g/cm³, titik didih material seng 907°C dan titik lebur 419,53°C, dan seng memiliki konduktivitas termal 116 W/(m.k) serta resistivitas listrik 59,0 nΩ. m pada suhu 20°C. Sifat yang penting lainnya yang dimiliki material logam jenis seng (Zn) antara lain seng dapat ditempa dalam keadaan dingin, memiliki Rho (ρ) sebesar 0.0043 dan koefisien suhu (α) ; 0.006 per derajat celcius seng tidak tahan terhadap garam dan asma garam. (Porter, 1991).

4. Timah (Sn)

Timah memiliki simbol Sn merupakan unsur kimia dalam tabel priodik dengan nomor atom 50. Timah adalah logam transisi yang termasuk dalam golongan 14 pada tabel priodik dan memiliki sifat kimia yang mirip dengan germanium dan timbal. Timbal Putih: Juga dikenal sebagai timah solder, timah iris, atau timah hitam, ini adalah logam putih keperakan yang digunakan di berbagai industri termasuk elektronik, pengerjaan logam, dan manufaktur kaca. (Gielen, 2008)



Gambar 3.3. Timah murni, (a) bentuk beta (putih) dan (b) bentuk alfa (abu-abu).

(Sumber : (Gielen, 2008)

Beberapa sifat yang penting dimiliki oleh material timah antara lain massa jenis timah yang putih atau beta (β) $7,265 \text{ g/cm}^3$, timah abu abu atau alfa (α) $5,769 \text{ g/cm}^3$ dan pada saat timah mencair kepadatan atau massa jenisnya $6,99 \text{ g/cm}^3$. Titik didih timah adalah 2602°C dan titik lebur $231,93^\circ\text{C}$. Konduktivitas thermal material timah $66,8 \text{ W/(m.K)}$, dan resistivitas listrik $n\Omega.m$ pada suhu 0°C .

5. Baja

Baja merupakan material jenis logam yang terbuat dari besi dengan campuran karbon. Berdasarkan campuran kadar karbon maka baja digolongkan menjadi 3 kelompok yaitu baja dengan campuran karbon 0 sampai $0,25\%$, baja dengan campuran karbon $0,25$ sampai $0,55\%$ dan baja dengan campuran karbon $> 0,55\%$. Namun baja memiliki

konduktivitas thermal 45 W/(m.K). Material logam baja pada umumnya digunakan sebagai konduktor transmisi pada type ACSR, fungsi baja pada type ini sebagai penguat konduktor aluminium setelah dilapisi dengan galvanis dengan seng. (Reardon, 2011)

Baja khusus yang digunakan untuk komponen dalam kelistrikan seperti pada motor listrik dan trafo, baja terebet di campur dengan silikon dengan komposisi silikon berkisar 2 sampai 3.5 % yang bertujuan untuk membuat baja dengan sifat magnet yang sama.

6. Wolfram

Wolfram merupakan jenis logam yang juga biasa disebut tungsten, logam ini berwarna abu abu keputih putihan mempunyai massa jenis 20 g/cm³, titik leleh 3422°C dan titik didih 5930°C, wolfram memiliki resistivitas $5,49 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$ dan konduktivitas $1,82 \times 10^7 \text{ S/m}$. Material wolfram dapat di ditarik untuk mengecilkan diameter 0.01 mm namun dilakukan dengan pemanasan. Penggunaan wolfram pada umumnya digunakan dibidang kelistrikan seperti penggunaan untuk filamen pada lampu pijar, halogen dan lampu ganda, sebagai bahan elektroda dan tanung elektronik. (Lassner and Schubert, 2012).

7. Molibdenum

Logam jenis molibdenum hampir sama dengan wolfram dalam hal sifatnya. Karakteristik molibdenum antara lain memiliki massa jenis 10,2 g/cm³, memiliki titik didih 46390C dan titik leleh atau lebur 26230C, dengan konduktivitas thermal 138 W/(m.K), resistivitas listrik 5,34 nΩ.m pada suhu 20°C dan koefisien suhu (α) 0,0047 per °C. Molibdenum pada umumnya digunakan pada tabung sinar X, tabung hampa udara karena molibdenum dapat membentuk lapisan yang kuat dengan material gelas.(Viswanathan and Lopatin, 2014)

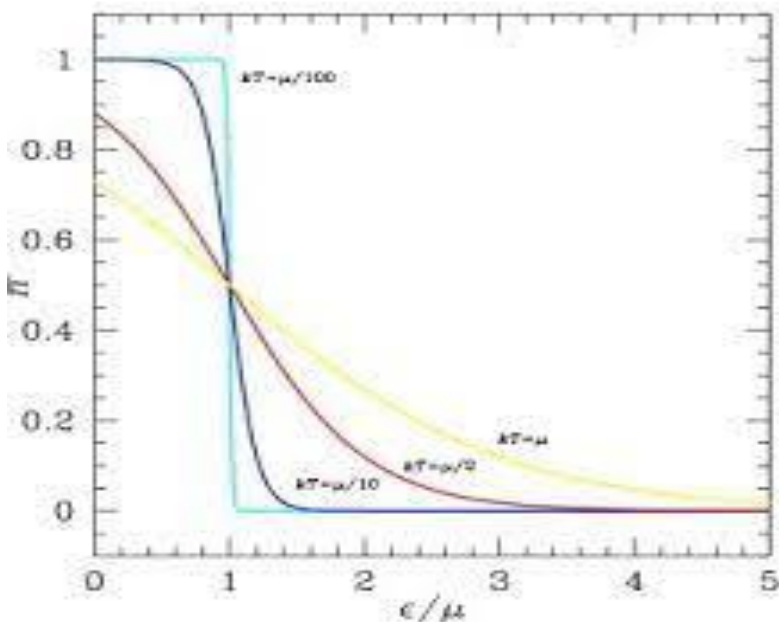
8. Platina

Platina merupakan logam yang paling kurang reaktif, daya tahan terhadap korosi sangat baik walaupun pada suhu yang sangat tinggi, sehingga termasuk golongan logam mulia. Platina termasuk kelompok logam berat yang berwarna putih keabuan dan tahan terhadap bahan kimia. Platina memiliki massa jenis $21,4 \text{ g/cm}^3$, titik leleh 1775°C dan titik didih 4530°C dan koefisien $0,00307$ per $^\circ\text{C}$. Penggunaan platina dalam bidang kelistrikan antara lain adalah sebagai elemen pemanas untuk oven peralatan laboratorium yang menggunakan suhu tinggi diatas 1300°C , untuk termokopel platina rhodium dengan suhu diatas 1600°C . Platina dengan ukuran 1 mikron dapat digunakan untuk menggantung bagian yang bergerak pada meteran listrik, sebagai bahan untuk potensiometer dan instrument sensitive lainnya. (Woodward, 2014).

3.6 Klasifikasi Material Semi Konduktor

Material semi konduktor merupakan material konduktivitas listrik yang berada antara insulator (isolator) dan konduktor. Dengan kata lain bahwa semi konduktor adalah bahan setengah penghantar listrik. Semi konduktor akan bersifat isolator apabila tidak diberikan arus listrik dengan cara dan besaran tertentu. Semikonduktor akan menjadi konduktor dengan syarat pemberian arus listrik dan temperatur serta cara tertentu, misalnya semi konduktor berfungsi sebagai penguat arus, penguat tegangan dan penguat daya. Bahan semi konduktor yang sering digunakan adalah germanium, silikon, dan gallium arsenide. Penggunaan semi konduktor dapat berfungsi dengan baik apabila memenuhi syarat spesifikasi operasinya, dan jika tidak sesuai maka semi konduktor tidak dapat berfungsi atau dapat rusak. (Sze, Li and Ng, 2021).

Konduktivitas semi konduktor dapat diubah ubah dengan memasukkan material lain (menyuntikkan material lain).



Gambar 3.4. Distribusi Fermi-Dirac sebagai dasar struktur pita dalam semikonduktor.
(Sumber : (Sze, Li and Ng, 2021))

Semikonduktor banyak digunakan dalam bidang elektronik merupakan alasan utama karena sifat elektronik dapat dimodifikasi secara signifikan dan terkendali dengan menambahkan sedikit ketidakmurnian disebut dengan dopan. Doping dalam jumlah besar pada semikonduktor dapat meningkatkan konduktivitasnya lebih dari satu miliar. Misalnya, dalam sirkuit terpadu modern, silikon polikristalin yang banyak didoping sering digunakan sebagai pengganti logam.

3.7 Jenis Material Semi konduktor

Semikonduktor adalah material yang mempunyai daya hantar listrik antara konduktor dan isolator. walaupun semikonduktor mempunyai kemampuan menghantarkan listrik, namun konduktornya tidak sebaik logam. Misalnya bahan semikonduktor yang paling terkenal adalah silikon (silikon) dan germanium (germanium).

Sifat-sifat semikonduktor ditentukan oleh banyak faktor, termasuk konsentrasi muatan (doping), suhu, dan tegangan yang diberikan. Kegunaan utama semikonduktor salah satunya adalah sebagai material untuk memproduksi komponen elektronik seperti transistor, dioda, dan chip semikonduktor yang digunakan pada berbagai perangkat elektronik modern seperti komputer, ponsel pintar, dan perangkat elektronik lainnya.

Perkembangan teknologi semikonduktor menjadi salah satu penyokong utama dalam revolusi teknologi informasi dan komunikasi, yang memungkinkan peningkatan signifikan dalam kecepatan, efisiensi, dan daya komputasi perangkat tersebut.

Menurut (Sze, Li and Ng, 2021), jenisnya bermacam-macam tergantung karakteristiknya. Di bawah ini adalah macam-macam semikonduktor dan sifat-sifatnya:

1. Semikonduktor Intrinsik

Semikonduktor intrinsik ini karakteristiknya tergantung pada kemurnian material, dimana konduktivitasnya dapat meningkat seiring peningkatan suhu dan jumlah elektron dan lubangnya akan sama pada suhu tertentu. Contoh semikonduktor intrinsik seperti kristal murni, silikon dan germanium

2. Semikonduktor Ekstrinsik

Semikonduktor Ekstrinsik ini dibagi menjadi dua jenis yaitu semikonduktor tipe N dan tipe P. Semikonduktor tipe N bersifat konduktif secara elektrik karena kelebihan elektron yang dihasilkan oleh doping dengan elemen penggerak seperti fosfor atau arsenik.

Semikonduktor tipe P bersifat konduktif secara elektrik karena lubang yang dihasilkan oleh doping dengan elemen akseptor seperti boron atau galium.

3. Semikonduktor Inhomogen

Semikonduktor yang bahannya mengandung perubahan komposisi kimia dan ketidakmurnian. Sifat-sifat dalam satu sampel tidak konsisten karena perbedaan komposisi atau ketidakmurnian.

4. Semikonduktor Organik

Semikonduktor organik terbuat dari senyawa organik seperti polimer terkonjugasi. umumnya lebih murah dan lebih mudah diproses dibandingkan semikonduktor anorganik. Sifat listrik dan optiknya dapat disesuaikan melalui teknik sintetik dan struktur molekul.

5. Semikonduktor Fotoluminesen

Semikonduktor ini mampu mengubah energi cahaya menjadi energi listrik atau sebaliknya. Contoh penggunaan material semikonduktor ini antara lain penggunaan pada berbagai aplikasi optoelektronik antara lain diode emisi cahaya, LED dan diode laser

6. Semikonduktor Magnetoresistem

Semikonduktor ini sangat responsif terhadap medan magnet sehingga sangat memungkinkan digunakan sebagai sensor dan perangkat memori magnetoresistem. Karakteristik semikonduktor ini dapat dikontrol melalui kontrol medan magnet eksternal.

7. Semikonduktor Termoelektrik

Semikonduktor ini mempunyai kemampuan untuk mengubah perbedaan suhu menjadi tegangan (efek Seebeck) atau perbedaan potensial menjadi perbedaan suhu (efek Peltier). Digunakan dalam aplikasi pembangkitan termoelektrik seperti pendingin dan generator termoelektrik.

Sifat semikonduktor penting untuk pengembangan dan penerapan berbagai perangkat elektronik, mulai dari transistor hingga perangkat optoelektronik dan termoelektrik. Kemajuan pemahaman dan rekayasa material semikonduktor terus memegang peranan penting dalam kemajuan teknologi modern.

Material semikonduktor yang sering digunakan adalah germanium dan silikon, untuk lebih jelas sifat material semikonduktor tersebut sebagai berikut:

a. Germanium

Germanium adalah suatu unsur kimia dengan lambang Ge dan nomor atom 32. Ia termasuk dalam golongan karbon pada tabel periodik, bersama dengan karbon

(C), silikon (Si), timah (Sn), dan timbal (Pb). Germanium adalah metaloid, yang berarti ia memiliki sifat logam dan nonlogam.

Germanium merupakan salah satu material semikonduktor yang banyak digunakan. Germanium adalah metaloid keras, rapuh, berwarna putih keabu-abuan pada suhu kamar. Ia memiliki titik leleh tinggi $938,25^{\circ}\text{C}$ dan titik didih $2,830^{\circ}\text{C}$. Ia memiliki kepadatan sekitar $5,323 \text{ g/cm}^3$, memiliki konduktivitas termal $60,2 \text{ W/(m.K)}$ dan resistivitas listrik $1 \Omega\cdot\text{m}$ pada suhu 20°C . Germanium memiliki Daya hantar panas : $0,14 \text{ Cal/cm dt }^{\circ}\text{C}$, Kapasitas panas : $0,08 \text{ Cal/gr }^{\circ}\text{C}$, Koefisien muai panjang ($0\text{-}100^{\circ}\text{C}$) : $6 \times$ Titik lebur: $938,25^{\circ}\text{C}$, Permittivitas : $16 \text{ C}^2/\text{N m}^2$ serta memiliki tahanan jenis listrik pada 20°C : $0,47 \Omega \text{ m}$

Germanium merupakan bahan penting dalam industri semikonduktor, banyak digunakan pada transistor dan dioda awal sebelum sebagian besar digantikan oleh silikon, dan digunakan dalam produksi serat optik inframerah untuk telekomunikasi dan aplikasi lainnya.

Pada suhu rendah, bahan semikonduktor ini bertindak sebagai isolator. Pada suhu yang cukup tinggi, bahan ini mengubah sifat-sifatnya dan menjadi sangat konduktif. Germanium merupakan bahan yang biasa digunakan dalam pembuatan penyearah, transistor, dan perangkat semikonduktor lainnya.

Campuran germanium dan arsenik (As) disebut N-germanium. Germanium tipe N memiliki banyak elektron bebas yang bermuatan negatif pada suhu kamar, jadi N berarti negatif. Arsenik yang menyumbangkan elektron disebut donor. Campuran germanium dan indium (In) yang memiliki tiga elektron valensi disebut P-germanium. P artinya positif, menandakan bahwa germanium tipe P ini banyak mengandung lubang bermuatan positif.

b. Silikon

Silikon (Si) tidak ada dalam bentuk aslinya, tetapi adalah bentuk silika yang direduksi dengan kokas dan dimurnikan dalam konverter untuk menghasilkan SiO atau SiHCl. Alternatifnya, ia diproduksi melalui reduksi dengan hidrogen setelah mengulangi proses distilasi SiH.

Sifat – sifat silikon

- 1) Konduktivitas termis yang tinggi
- 2) Konstanta dielektriknya kecil
- 3) Disipasi panas yang baik
- 4) Mempunyai mobilitas tinggi
- 5) *Impurity ionization energy* sangat kecil

Karena karakteristik silikon di atas, sehingga banyak digunakan sebagai bahan semikonduktor untuk dioda penyearah, thyristor (SCR), dan lain lain. Senyawa silikon SiO (kuarsa) sering digunakan pada perangkat optik dengan indeks bias 1,54.

c. Dioda dan Transistor

Dioda dan transistor adalah dua komponen penting dalam bidang elektronika dan pemrosesan sinyal.

1) Dioda

Dioda adalah komponen elektronik yang memiliki dua terminal (anoda dan katoda) dan memungkinkan arus mengalir hanya dalam satu arah. Artinya dioda memungkinkan arus mengalir dari anoda ke katoda, namun mencegah aliran arus balik.

Penggunaan Dioda :

Penyearah : Dioda digunakan pada rangkaian penyearah untuk mengubah arus bolak-balik (alternating current) menjadi arus searah (direct current).

Regulasi Tegangan : Dioda Zener dapat digunakan untuk menjaga tegangan dalam rangkaian pada nilai tertentu.

Proteksi : Dioda digunakan sebagai proteksi untuk mencegah arus atau tegangan berlebih yang dapat merusak komponen lain pada rangkaian.

Ketika dua bahan semikonduktor, P dan N , digabungkan menjadi satu, diperoleh sambungan P-N (sambungan p-n), yang disebut dioda. Dalam pembuatannya, material Type-P dan Type-N tidak sekadar digabungkan, melainkan dibuat dari material semikonduktor dengan doping (bahan pengotor) yang berbeda.

Ketika tegangan maju diterapkan yang lebih tinggi di sisi P- daripada di sisi N (bias maju), elektron mengalir masuk dari sisi N, sehingga lebih mudah untuk mengisi kekosongan elektron (lubang) di sisi P.

Sebaliknya, ketika tegangan bias balik diterapkan, tegangan potensial pada sisi N meningkat, sehingga elektron tidak mungkin mengalir dari sisi N dan mengisi lubang di sisi P.

Hal ini memungkinkan dioda menghantarkan arus hanya dalam satu arah, itulah sebabnya dioda digunakan dalam aplikasi rangkaian penyearah.

2) Transistor

Transistor merupakan komponen semikonduktor yang terdiri dari tiga lapisan semikonduktor (basis, emitor, dan kolektor) dan mempunyai fungsi sebagai penguat sinyal atau saklar elektronik. Transistor beroperasi dalam mode yang berbeda tergantung pada konfigurasi rangkaian: B. Mode penguatan, mode cutoff, mode saturasi.

Jenis – jenis transistor

- 1) Transistor Bipolar (BJT)** ; ada dua tipe utama transistor ini, NPN dan PNP, tergantung pada jenis doping lapisan semikonduktor. Transistor BJT digunakan dalam berbagai aplikasi penguatan sinyal.

- 2) Field Effect Transistor (FET):** Transistor jenis ini menggunakan medan listrik eksternal untuk mengontrol arus antara dua terminal. FET umumnya digunakan dalam aplikasi seperti penguat sinyal berdaya tinggi, sakelar digital, dan sirkuit terpadu.

Penggunaan Transistor

- 1. Penguat Sinyal:** Transistor digunakan dalam rangkaian penguat untuk meningkatkan amplitudo sinyal.
- 2. Sakelar Elektronik :** Transistor dapat digunakan sebagai sakelar elektronik yang aliran arusnya dapat dikontrol oleh sinyal input.
- 3. Osilator:** Dalam beberapa konfigurasi, transistor dapat digunakan sebagai bagian dari rangkaian osilator untuk menghasilkan sinyal berosilasi.
- 4. Logika Digital :** transistor digunakan dalam logika digital sebagai sakelar untuk mewakili nilai logika 0 atau 1.

Memahami perbedaan dan fungsi masing-masing dioda dan transistor akan membantu Anda menerapkan keduanya secara efektif dalam merancang dan membangun rangkaian elektronik.

3.8 Material Isolator

Isolator adalah bahan atau material yang tidak dapat menghantarkan listrik, material isolator merupakan material yang hambatan jenis konduktornya terlalu besar sehingga sulit menghantarkan arus listrik. Bahan isolator disebut juga bahan dielektrik, merupakan bahan yang mempunyai sifat menghalangi aliran listrik atau panas.

Bahan dielektrik umumnya memiliki konduktivitas listrik yang rendah dan dapat memisahkan dua konduktor atau mengisolasi bagian suatu sistem satu sama lain.

Menurut (Lienig and Scheible, 2020), bahan isolator ini banyak digunakan dalam berbagai aplikasi elektronik, seperti

isolasi kabel, kapasitor, bahan pelindung, dan peralatan elektronik lainnya.

Di bawah ini beberapa bahan dielektrik yang umum digunakan:

1. **Plastik Polimer:** Contohnya adalah polietilena, polivinil klorida (PVC), polistirena, poliuretan, dan polipropilena. Material ini sering digunakan dalam kabel listrik, isolasi elektrik, dan berbagai perangkat elektronik.
2. **Keramik:** Berbagai jenis keramik dapat berfungsi sebagai bahan dielektrik, seperti oksida aluminium (Al_2O_3), titanat barium (BaTiO_3), dan keramik ferroelektrik lainnya. Mereka digunakan dalam kapasitor, resistor, dan aplikasi isolasi lainnya.
3. **Kertas Laminasi:** Kertas yang dilapisi dengan resin epoksi atau fenolik dapat digunakan sebagai bahan dielektrik dalam berbagai aplikasi isolasi listrik.
4. **Kaca:** Kaca memiliki sifat dielektrik yang baik dan sering digunakan dalam berbagai perangkat elektronik, termasuk kabel optik, kapasitor, dan perangkat lainnya.
5. **Bahan-Bahan Komposit:** Beberapa material dielektrik adalah komposit dari berbagai bahan, seperti serat kaca diperkuat dengan resin epoksi atau serat aramid (misalnya, Kevlar) yang diperkuat dengan resin fenolik.
6. **Gas:** Gas seperti udara, nitrogen, atau sulfur heksafluorida (SF_6) juga dapat berfungsi sebagai bahan dielektrik dalam berbagai aplikasi isolasi gas.

3.9 Klasifikasi Material Isolator

Material isolator atau isolan adalah bahan yang memiliki sifat isolasi atau dapat menghambat aliran panas, listrik, suara, atau gelombang elektromagnetik. Menurut (Lienig and Scheible, 2020), klasifikasi material isolator berdasarkan sifat dan jenisnya sebagai berikut:

1. Isolator Termal:

- a. **Serat Mineral:** Seperti serat kaca, serat mineral wol, dan serat silika, digunakan untuk isolasi termal pada bangunan.

- b. **Busa Polimer:** Seperti busa polietilena dan busa poliuretan, digunakan untuk isolasi termal pada peralatan listrik dan bangunan.
- c. **Seramik:** Seperti batu bata, fiberglass, dan keramik, digunakan untuk isolasi termal pada industri pengolahan panas tinggi.

2. Isolator Listrik:

- a. **Plastik:** Seperti PVC (*Polyvinyl Chloride*), PE (*Polyethylene*), dan PP (*Polypropylene*), digunakan sebagai isolator listrik pada kabel dan peralatan listrik.
- b. **Keramik:** Seperti porselen, steatit, dan alumina, digunakan sebagai isolator pada peralatan listrik tegangan tinggi dan suhu tinggi.
- c. **Karet:** Seperti karet silikon, karet butil, dan karet EPDM, digunakan sebagai isolator listrik pada kabel dan konektor.

3. Isolator Akustik:

- a. **Busa Akustik:** Seperti busa poliuretan akustik, busa melamin, dan busa fiberglass, digunakan untuk isolasi akustik pada dinding, langit-langit, dan ruangan.
- b. **Material Berat:** Seperti beton, batu bata, dan gipsum, digunakan untuk isolasi suara pada dinding dan lantai.

4. Isolator Elektromagnetik:

- a. **Ferrite:** Material magnetik yang digunakan untuk mengurangi interferensi elektromagnetik (EMI) dalam peralatan elektronik.
- b. **Penyaring EMF:** Seperti kain kawat, kaca penapis EMF, dan material khusus lainnya, digunakan untuk mengurangi paparan gelombang elektromagnetik.

5. Isolator Lingkungan:

- a. **Bahan Ramah Lingkungan:** Seperti kaca daur ulang, wol batu daur ulang, dan busa daur ulang, digunakan untuk isolasi termal dan akustik dengan fokus pada keberlanjutan lingkungan.
- b. **Material Tahan Api:** Seperti asbes alternatif yang tahan api, digunakan untuk isolasi termal yang aman dari segi kebakaran.

3.10 Konduktivas dan Resistivitas Logam

Daftar berikut merupakan nilai konduktivitas dan Resistivitas logam :

Iridium	$5,289 \times 10^{-8}$	$1,891 \times 10^7$
Wolfram/tungsten	$5,49 \times 10^{-8}$	$1,82 \times 10^7$
Seng	$5,945 \times 10^{-8}$	$1,682 \times 10^7$
Kobalt	$6,25 \times 10^{-8}$	$1,60 \times 10^7$
Kadmium	$6,84 \times 10^{-8}$	$1,46 \times 10^7$
Nikel (elektrolit)	$6,84 \times 10^{-8}$	$1,46 \times 10^7$
Retenium	$7,595 \times 10^{-8}$	$1,31 \times 10^7$
Litium	$8,54 \times 10^{-8}$	$1,17 \times 10^7$
Besi	$9,58 \times 10^{-8}$	$1,04 \times 10^7$
Platinum	$1,06 \times 10^{-7}$	$9,44 \times 10^6$
Pladium	$1,08 \times 10^{-7}$	$9,28 \times 10^6$
Timah	$1,15 \times 10^{-7}$	$8,7 \times 10^6$
Selenium	$1,197 \times 10^{-7}$	$8,35 \times 10^6$
Tantalum	$1,24 \times 10^{-7}$	$8,06 \times 10^6$
Niobion	$1,13 \times 10^{-7}$	$7,66 \times 10^6$
Baja (cor)	$1,61 \times 10^{-7}$	$6,21 \times 10^6$
Koronium	$1,96 \times 10^{-7}$	$5,10 \times 10^6$
Memimpin	$2,05 \times 10^{-7}$	$4,87 \times 10^6$
Vanadium	$2,61 \times 10^{-7}$	$3,83 \times 10^6$
Uranium	$2,87 \times 10^{-7}$	$3,48 \times 10^6$
Antimon	$3,92 \times 10^{-7}$	$2,55 \times 10^6$
Zirkonium	$4,105 \times 10^{-7}$	$2,44 \times 10^6$
Titanium	$5,56 \times 10^{-7}$	$1,798 \times 10^6$
Air Raksa	$9,58 \times 10^{-7}$	$1,044 \times 10^6$
Germanium	$4,6 \times 10^{-1}$	2,17
Silikon	$6,40 \times 10^{-2}$	$1,56 \times 10^{-3}$

Sumber: ((Bell, 2020))

DAFTAR PUSTAKA

- Bell, T. (2020) *Electrical Conductivity of Metals*, University of British Columbia. Available at: <https://www.thoughtco.com/electrical-conductivity-in-metals-2340117>.
- Boylestad, R.L. and Nashelsky, L. (2002) *Electronic devices and circuit theory*. Pearson Educación.
- Gielen, M. (2008) *Tin chemistry: fundamentals, frontiers, and applications*. John Wiley & Sons.
- Hofmann, P. (2022) *Solid state physics: an introduction*. John Wiley & Sons.
- I Ketut Wijaya (2015) *Material Teknik Elektro*. Jurusan Teknik Elektro dan Komputer Fakultas Teknik Universitas Udayana.
- Lassner, E. and Schubert, W.-D. (2012) *Tungsten: properties, chemistry, technology of the element, alloys, and chemical compounds*. Springer Science & Business Media.
- Li, M. and Zinkle, S.J. (2012) 'Physical and mechanical properties of copper and copper alloys'.
- Lienig, J. and Scheible, J. (2020) 'Fundamentals of layout design for electronic circuits'.
- Mondolfo, L.F. (2013) *Aluminum alloys: structure and properties*. Elsevier.
- Paul, C.R., Scully, R.C. and Steffka, M.A. (2022) *Introduction to electromagnetic compatibility*. John Wiley & Sons.
- Porter, F.C. (1991) *Zinc handbook: properties, processing, and use in design*. Crc Press.
- Raghavan, V. (2015) *Materials science and engineering: a first course*. PHI Learning Pvt. Ltd.
- Reardon, A.C. (2011) *Metallurgy for the Non-metallurgist*. Asm International.
- Schroeder, D. V (2020) *An introduction to thermal physics*. Oxford University Press.
- Sze, S.M., Li, Y. and Ng, K.K. (2021) *Physics of semiconductor devices*. John wiley & sons.

- Viswanathan, S. and Lopatin, S.I. (2014) *Molybdenum and its compounds: applications, electrochemical properties and geological implications*. Nova Science Publishers, Inc.
- Vogel, E. (2007) 'Technology and metrology of new electronic materials and devices', *Nature Nanotechnology*, 2(1), pp. 25–32. Available at: <https://doi.org/10.1038/nnano.2006.142>.
- Woodward, B.K. (2014) 'Platinum group metals (PGMs) for permanent implantable electronic devices', in *Precious Metals for Biomedical Applications*. Elsevier, pp. 130–147.

BAB 4

SIFAT DAN JENIS DIELETRIK DALAM BAHAN KOMPONEN / SISTEM ELEKTRONIKA

Oleh Danang Hendrawan

4.1 Pendahuluan

4.1.1 Pentingnya dielektrik dalam elektronika

Dielektrik adalah bahan isolator yang memiliki peran penting dalam berbagai komponen dan sistem elektronika. Kemampuannya untuk menyimpan energi listrik dan mempengaruhi kinerja sirkuit elektronik menjadikannya elemen fundamental dalam berbagai perangkat elektronik. Berikut beberapa alasan mengapa dielektrik sangat penting dalam elektronika:

4.1.2 Kapasitor

1. Dielektrik merupakan bahan utama dalam kapasitor, komponen yang menyimpan energi listrik dalam medan listrik. Permittivitas dielektrik menentukan kapasitas penyimpanan energi kapasitor.
2. Jenis dielektrik yang berbeda menghasilkan kapasitor dengan karakteristik yang berbeda pula, seperti kapasitor film dengan ukuran kompak dan kapasitor keramik dengan nilai kapasitansi tinggi.

4.1.3 Isolasi

Dielektrik digunakan sebagai isolator antara konduktor dalam berbagai komponen elektronik, seperti kabel koaksial, transformator, dan PCB (*Printed Circuit Board*).

Isolasi ini mencegah terjadinya korsleting dan memastikan aliran arus listrik yang aman dan terarah.

4.1.4 Tuning Sirkuit

Dielektrik dengan permitivitas yang dapat diubah, seperti kapasitor variabel, digunakan untuk menyetel frekuensi resonansi sirkuit elektronik.

Hal ini penting dalam aplikasi seperti radio, filter elektronik, dan osilator.

4.1.5 Perlindungan dan Pendinginan

Dielektrik cair, seperti minyak mineral, digunakan dalam transformator dan kapasitor daya sebagai pendingin dan isolator.

Dielektrik ini membantu mentransfer panas yang dihasilkan dari proses konversi energi listrik dan mencegah kerusakan komponen.

4.1.6 Aplikasi Lainnya:

Dielektrik juga digunakan dalam berbagai aplikasi lain dalam elektronika, seperti:

1. Piezoelektrik: Menghasilkan tegangan listrik ketika ditekan atau diubah bentuknya (sensor, aktuator)
2. Ferroelektrik: Menyimpan informasi dalam bentuk polarisasi permanen (memori elektronik)
3. Optik: Lensa, prisma, dan serat optik

4.2 Fungsi dielektrik dalam komponen dan sistem elektronika

Dielektrik adalah bahan isolator yang memiliki peran penting dalam berbagai komponen dan sistem elektronika. Kemampuannya untuk menyimpan energi listrik dan mempengaruhi kinerja sirkuit elektronik menjadikannya elemen fundamental dalam berbagai perangkat elektronik. Berikut adalah penjelasan mengenai fungsi dielektrik:

4.2.1 Kapasitor

Dielektrik berfungsi sebagai medium penyimpanan muatan listrik di antara dua elektroda kapasitor (Sedra, A. S., & Smith, 2015). Sifat dielektrik, seperti permitivitas, menentukan

kapasitansi yang dapat disimpan dalam kapasitor (Fink, D. G., & Beaty, 2013).

Kekuatan dielektrik yang tinggi memungkinkan kapasitor untuk menahan tegangan tinggi tanpa terjadinya tembus listrik (Pozar, 2012).

4.2.2 Transformator

Dielektrik digunakan sebagai bahan isolasi antara lilitan primer dan sekunder transformator (Elschner, R., Boettcher, R., & Rheinschmitt, 2021).

Sifat dielektrik, termasuk permitivitas dan kekuatan dielektrik, mempengaruhi kemampuan transformator untuk menahan tegangan tinggi (Setter, 2005).

Sirkuit Frekuensi Tinggi:

1. Dielektrik digunakan sebagai bahan substrat dalam sirkuit frekuensi tinggi, seperti pada papan sirkuit cetak (Balanis, 2012).
2. Sifat dielektrik, seperti permitivitas relatif dan faktor disipasi, mempengaruhi kinerja sirkuit pada frekuensi tinggi (Fitzgerald, A. E., Kingsley Jr., C., & Umans, 2003).

4.2.3 Isolator

Dielektrik berfungsi sebagai bahan isolator untuk mencegah kebocoran arus listrik dan hubungan singkat dalam perangkat elektronik (Lenz, 1990).

Kekuatan dielektrik yang tinggi diperlukan agar isolator dapat menahan tegangan tinggi tanpa terjadi tembus listrik (Horowitz, P., & Hill, 2015).

Piranti Feroelektrik: Dielektrik feroelektrik memiliki sifat piezoelektrik dan pyroelektrik yang berguna dalam sensor, aktuator, dan memori feroelektrik (Kuffel, E., Zaengl, W. S., & Kuffel, 2000).

Polarisasi dielektrik feroelektrik dapat dimanipulasi menggunakan medan listrik, suhu, atau tegangan mekanik (Lines, M. E., & Glass, 1977).

Pemilihan dan desain dielektrik yang tepat sangat penting untuk memaksimalkan kinerja dan keandalan komponen serta sistem elektronika.

4.3 Tinjauan umum tentang sifat listrik bahan

Sifat listrik bahan merupakan salah satu aspek penting dalam bidang elektronika dan listrik. Sifat listrik bahan dapat diklasifikasikan menjadi beberapa kategori utama, yaitu:

4.3.1 Konduktivitas Listrik

Konduktivitas listrik adalah kemampuan suatu bahan untuk menghantarkan arus listrik (Sedra, A. S., & Smith, 2015).

Faktor-faktor yang mempengaruhi konduktivitas listrik antara lain struktur kristal, tingkat kemurnian, dan suhu (Fink, D. G., & Beaty, 2013).

Bahan konduktor, semikonduktor, dan isolator memiliki konduktivitas listrik yang berbeda-beda (Pozar, 2012).

4.3.2 Permittivitas Listrik:

Permittivitas listrik adalah ukuran kemampuan suatu bahan untuk mempengaruhi dan mentransmisikan medan listrik (Elschner, R., Boettcher, R., & Rheinschmitt, 2021).

Permittivitas relatif menunjukkan perbandingan permittivitas suatu bahan terhadap permittivitas ruang hampa (Setter, 2005).

Permittivitas listrik mempengaruhi kapasitansi, impedansi, dan propagasi gelombang elektromagnetik (Balanis, 2012).

4.3.3 Permeabilitas Magnetik:

Permeabilitas magnetik adalah ukuran kemampuan suatu bahan untuk mempengaruhi dan mentransmisikan medan magnetik (Fitzgerald, A. E., Kingsley Jr., C., & Umans, 2003).

Permeabilitas relatif menunjukkan perbandingan permeabilitas suatu bahan terhadap permeabilitas ruang hampa (Lenz, 1990).

Permeabilitas magnetik mempengaruhi induktansi, impedansi, dan propagasi gelombang elektromagnetik (Horowitz, P., & Hill, 2015).

4.3.4 Kekuatan Dielektrik

Kekuatan dielektrik adalah kemampuan suatu bahan untuk menahan tegangan listrik tanpa terjadi tembus listrik (Kuffel, E., Zaengl, W. S., & Kuffel, 2000).

Kekuatan dielektrik dipengaruhi oleh struktur molekular, ketebalan, dan suhu bahan (Ghumare, M. P., & Shrivastava, 2015).

Bahan dengan kekuatan dielektrik yang tinggi dapat digunakan sebagai isolator pada peralatan listrik (Pozar, 2012)

Pemahaman yang baik tentang sifat listrik bahan sangat penting dalam perancangan, pembuatan, dan pengoperasian komponen serta sistem elektronika dan listrik.

4.4 Definisi dan karakteristik Dielektrik

4.4.1 Definisi dielektrik

Dielektrik adalah suatu bahan atau material yang tidak dapat menghantarkan arus listrik, atau dengan kata lain merupakan bahan isolator yang dapat terpolarisasi ketika dikenai medan listrik (Sedra, A. S., & Smith, 2015). Dielektrik adalah bahan yang memiliki ikatan atom atau molekul yang kuat sehingga elektron-elektron dalam bahan tersebut sulit untuk bergerak bebas (Fink, D. G., & Beaty, 2013).

Berdasarkan definisi tersebut, dielektrik memiliki beberapa karakteristik utama:

1. Resistivitas yang tinggi: Dielektrik memiliki resistivitas yang sangat tinggi, sehingga tidak dapat menghantarkan arus listrik (Pozar, 2012).
2. Kemampuan polarisasi: Ketika dielektrik dikenai medan listrik, muatan-muatan positif dan negatif dalam bahan akan terpisah, sehingga terbentuk dipol-dipol listrik (Elschner, R., Boettcher, R., & Rheinschmitt, 2021).

3. Permittivitas listrik: Dielektrik memiliki permitivitas listrik yang berbeda-beda, tergantung pada komposisi dan struktur molekul/atomnya (Setter, 2005).
4. Kekuatan dielektrik: Dielektrik dapat menahan tegangan listrik hingga batas tertentu sebelum terjadi tembus listrik (Balanis, 2012).

Contoh bahan dielektrik yang umum digunakan dalam berbagai aplikasi elektronika dan listrik antara lain kaca, keramik, polimer, dan udara (Fitzgerald, A. E., Kingsley Jr., C., & Umans, 2003).

4.4.2 Polarisasi Dielektrik

Polarisasi dielektrik adalah suatu fenomena di mana muatan-muatan listrik dalam suatu bahan dielektrik akan bergeser atau terpisah akibat adanya pengaruh medan listrik eksternal (Sedra, A. S., & Smith, 2015). Ketika dielektrik diletakkan dalam suatu medan listrik, maka akan timbul momen dipol listrik di dalam bahan tersebut.

Terdapat beberapa mekanisme polarisasi yang dapat terjadi pada dielektrik, yaitu:

1. Polarisasi elektronik

Polarisasi elektronik adalah salah satu mekanisme polarisasi dielektrik yang terjadi akibat pengaruh medan listrik eksternal terhadap elektron-elektron dalam atom-atom penyusun bahan dielektrik (Sedra, A. S., & Smith, 2015). Ketika dielektrik diletakkan dalam suatu medan listrik, elektron-elektron dalam atom-atom akan sedikit tergeser dari posisi keseimbangan mereka, sehingga timbul momen dipol listrik (Fink, D. G., & Beaty, 2013).

Proses terjadinya polarisasi elektronik dapat dijelaskan sebagai berikut:

Dalam kondisi normal, elektron-elektron dalam atom-atom dielektrik berada dalam posisi keseimbangan, sehingga tidak terdapat momen dipol neto (Pozar, 2012).

Ketika dielektrik dikenai medan listrik eksternal, elektron-elektron dalam atom-atom akan terdorong ke arah

yang berlawanan dengan arah medan listrik (Elschner, R., Boettcher, R., & Rheinschmitt, 2021). Hal ini menyebabkan terjadinya pemisahan muatan antara muatan positif (inti atom) dan muatan negatif (elektron), sehingga timbul momen dipol listrik.

Besarnya momen dipol yang terbentuk akibat polarisasi elektronik sebanding dengan kekuatan medan listrik eksternal yang diberikan (Sedra, A. S., & Smith, 2015). Semakin kuat medan listrik, semakin besar pula momen dipol yang terbentuk.

Polarisasi elektronik terjadi pada semua jenis bahan dielektrik, baik yang bersifat polar maupun non-polar (Balanis, 2012). Mekanisme ini merupakan mekanisme polarisasi yang paling cepat di antara mekanisme polarisasi lainnya.

Polarisasi elektronik memiliki peranan penting dalam menentukan sifat listrik bahan dielektrik, seperti permitivitas relatif, kekuatan dielektrik, dan lain-lain (Fitzgerald, A. E., Kingsley Jr., C., & Umans, 2003). Pemahaman yang baik mengenai polarisasi elektronik sangat berguna dalam aplikasi teknologi yang melibatkan bahan dielektrik.

2. Polarisasi Ionik

Polarisasi ionik adalah salah satu mekanisme polarisasi dielektrik yang terjadi akibat pergeseran relatif antara kation (ion bermuatan positif) dan anion (ion bermuatan negatif) dalam bahan dielektrik polar (Sedra, A. S., & Smith, 2015). Ketika dielektrik polar dikenai medan listrik eksternal, terjadi pemisahan muatan antara kation dan anion sehingga menimbulkan momen dipol listrik (Fink, D. G., & Beaty, 2013).

Proses terjadinya polarisasi ionik dapat dijelaskan sebagai berikut:

Pada kondisi normal, kation dan anion dalam bahan dielektrik polar berada dalam posisi keseimbangan, sehingga tidak terdapat momen dipol netto (Pozar, 2012).

Ketika dielektrik polar dikenai medan listrik eksternal, kation akan bergeser sedikit ke arah yang berlawanan dengan arah medan listrik, sementara anion akan bergeser ke arah yang searah dengan arah medan listrik (Elschner, R., Boettcher, R., & Rheinschmitt, 2021). Hal ini menyebabkan pemisahan muatan antara kation dan anion.

Pemisahan muatan antara kation dan anion menimbulkan momen dipol listrik pada bahan dielektrik (Setter, 2005). Besarnya momen dipol yang terbentuk sebanding dengan kekuatan medan listrik eksternal yang diberikan.

Polarisasi ionik terjadi pada bahan dielektrik polar, seperti material keramik, gelas, dan kristal ionik (Balanis, 2012). Mekanisme ini relatif lebih lambat dibandingkan dengan polarisasi elektronik.

Polarisasi ionik memiliki peranan penting dalam menentukan sifat listrik bahan dielektrik, seperti permitivitas relatif, kekuatan dielektrik, dan lain-lain [Fitzgerald, 2003]. Pemahaman yang baik mengenai polarisasi ionik sangat berguna dalam aplikasi teknologi yang melibatkan bahan dielektrik.

3. Polarisasi Orientasi

Polarisasi orientasi adalah salah satu mekanisme polarisasi dielektrik yang terjadi pada bahan dielektrik polar akibat penyelarasan dipol-dipol permanen dalam bahan terhadap arah medan listrik eksternal (Sedra, A. S., & Smith, 2015). Ketika dielektrik polar dikenai medan listrik eksternal, dipol-dipol permanen dalam bahan akan berusaha menyelaraskan dirinya dengan arah medan listrik, sehingga timbul momen dipol neto (Fink, D. G., & Beaty, 2013).

Proses terjadinya polarisasi orientasi dapat dijelaskan sebagai berikut:

Pada kondisi normal, dipol-dipol permanen dalam bahan dielektrik polar berada dalam orientasi acak, sehingga tidak terdapat momen dipol neto (Pozar, 2012).

Ketika dielektrik polar dikenai medan listrik eksternal, dipol-dipol permanen dalam bahan akan berusaha menyelaraskan dirinya dengan arah medan listrik (Elschner, R., Boettcher, R., & Rheinschmitt, 2021). Hal ini menyebabkan terjadinya pemisahan muatan antara ujung-ujung dipol, sehingga timbul momen dipol neto.

Besarnya momen dipol yang terbentuk akibat polarisasi orientasi sebanding dengan kekuatan medan listrik eksternal yang diberikan (Setter, 2005). Semakin kuat medan listrik, semakin besar pula momen dipol yang terbentuk.

Polarisasi orientasi terjadi pada bahan dielektrik polar, seperti air, amonia, dan beberapa material keramik (Balanis, 2012). Mekanisme ini relatif lebih lambat dibandingkan dengan polarisasi elektronik dan polarisasi ionik.

Polarisasi orientasi memiliki peranan penting dalam menentukan sifat listrik bahan dielektrik, seperti permitivitas relatif, kekuatan dielektrik, dan lain-lain (Fitzgerald, A. E., Kingsley Jr., C., & Umans, 2003). Pemahaman yang baik mengenai polarisasi orientasi sangat berguna dalam aplikasi teknologi yang melibatkan bahan dielektrik.

4. Polarisasi antarmuka

Polarisasi antarmuka adalah salah satu mekanisme polarisasi dielektrik yang terjadi pada bahan dielektrik heterogen yang terdiri dari dua atau lebih material yang berbeda (Sedra, A. S., & Smith, 2015). Pada antarmuka atau batas-batas material yang berbeda, terjadi akumulasi muatan listrik sehingga menimbulkan momen dipol listrik (Fink, D. G., & Beaty, 2013).

Proses terjadinya polarisasi antarmuka dapat dijelaskan sebagai berikut:

- a. Pada batas-batas antara material yang berbeda, terdapat perbedaan sifat dielektrik, konduktivitas, dan permeabilitas (Pozar, 2012). Perbedaan sifat-sifat ini

menyebabkan adanya diskontinuitas medan listrik pada antarmuka.

- b. Akibat diskontinuitas medan listrik pada antarmuka, terjadi akumulasi muatan-muatan listrik di permukaan batas material (Elschner, R., Boettcher, R., & Rheinschmitt, 2021). Muatan-muatan ini dapat berupa muatan bebas atau muatan terikat.
- c. Akumulasi muatan-muatan listrik pada antarmuka menimbulkan momen dipol listrik (Setter, 2005). Besarnya momen dipol yang terbentuk sebanding dengan kekuatan medan listrik eksternal yang diberikan.

Polarisasi antarmuka terjadi pada bahan dielektrik heterogen, seperti komposit, material keramik berpori, dan material berpendoping (Balanis, 2012). Mekanisme ini relatif lebih lambat dibandingkan dengan polarisasi elektronik dan polarisasi ionik.

Polarisasi antarmuka memiliki peranan penting dalam menentukan sifat listrik bahan dielektrik, seperti permitivitas relatif, kekuatan dielektrik, dan lain-lain (Fitzgerald, A. E., Kingsley Jr., C., & Umans, 2003). Pemahaman yang baik mengenai polarisasi antarmuka sangat berguna dalam aplikasi teknologi yang melibatkan bahan dielektrik heterogen.

- 5. Faktor yang Mempengaruhi Polarisasi
 - a. Jenis dan struktur molekul bahan
 - b. Kekuatan medan listrik eksternal
 - c. Frekuensi medan listrik
 - d. Suhu

4.4.3 Permittivitas Listrik

Permittivitas listrik (ϵ) adalah ukuran kemampuan suatu bahan untuk menyimpan muatan listrik dalam bentuk energi potensial elektrostatik (Sedra, A. S., & Smith, 2015). Permittivitas listrik merupakan salah satu sifat dielektrik yang

penting dalam menentukan perilaku bahan dielektrik dalam medan listrik.

Permittivitas listrik dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu:

1. Permittivitas Vakum (ϵ_0)

Permittivitas ruang bebas, atau permittivitas vakum (ϵ_0), adalah konstanta fundamental yang menggambarkan kemampuan ruang hampa untuk menyimpan muatan listrik dalam bentuk energi potensial elektrostatik (Sedra, A. S., & Smith, 2015). Permittivitas vakum merupakan sifat intrinsik dari ruang hampa dan tidak bergantung pada keberadaan bahan dielektrik.

Berikut adalah penjelasan mengenai permittivitas ruang bebas:

a. Definisi Permittivitas Vakum

Permittivitas vakum didefinisikan sebagai konstanta yang menghubungkan kuat medan listrik (E) dengan rapat muatan listrik (ρ) di ruang hampa.

Secara matematis, permittivitas vakum dinyatakan dengan persamaan: $\epsilon_0 = Q / (E \times A)$, di mana Q adalah muatan listrik, E adalah kuat medan listrik, dan A adalah luas permukaan (Fink, D. G., & Beaty, 2013).

Nilai Permittivitas Vakum

Nilai permittivitas vakum adalah $8,854 \times 10^{-12} \text{ F/m}$ (Farad per meter) (Pozar, 2012).

Nilai ini merupakan konstanta fundamental dalam fisika yang tidak bergantung pada kondisi lingkungan atau sistem satuan yang digunakan.

b. Peran Permittivitas Vakum

Permittivitas vakum merupakan dasar dalam menghitung berbagai besaran dan fenomena elektromagnetik, seperti kapasitansi, polarisasi dielektrik, dan lainnya (Elschner, R., Boettcher, R., & Rheinschmitt, 2021).

Permittivitas vakum juga digunakan sebagai referensi untuk menghitung permittivitas relatif bahan dielektrik lainnya.

c. Aplikasi Permittivitas Vakum

Pemahaman tentang permittivitas vakum sangat penting dalam berbagai aplikasi teknologi, seperti rangkaian elektronik, teknologi radar, dan sistem komunikasi (Setter, 2005)

Besaran-besaran elektromagnetik yang bergantung pada permittivitas vakum, seperti kapasitansi dan impedansi, menjadi dasar perancangan banyak perangkat elektronik.

Permittivitas vakum adalah permittivitas listrik di ruang hampa, tanpa adanya bahan dielektrik.

Nilai permittivitas vakum adalah $8,854 \times 10^{-12}$ F/m (Fink, D. G., & Beaty, 2013).

2. Permittivitas Relatif (ϵ_r)

Permittivitas relatif adalah perbandingan antara permittivitas listrik suatu bahan dielektrik dengan permittivitas vakum.

Permittivitas relatif biasanya memiliki nilai lebih besar dari 1, yang menunjukkan kemampuan bahan untuk menyimpan muatan listrik (Pozar, 2012).

Permittivitas relatif, dilambangkan dengan ϵ_r , adalah besaran tak berdimensi yang menggambarkan perbandingan antara permittivitas suatu bahan dielektrik dengan permittivitas ruang hampa (vakum) (Sedra, A. S., & Smith, 2015).

Nilai permittivitas relatif dapat dihitung menggunakan persamaan: $\epsilon_r = \epsilon / \epsilon_0$.

Permittivitas relatif didefinisikan sebagai rasio antara permittivitas suatu bahan dielektrik (ϵ) dengan permittivitas vakum (ϵ_0).

Secara matematis, permittivitas relatif dapat dinyatakan dengan persamaan: $\epsilon_r = \epsilon / \epsilon_0$ [Fink, 2013].

Nilai Permittivitas Relatif

Permittivitas relatif biasanya memiliki nilai lebih besar dari 1.

Nilai permittivitas relatif dapat bervariasi, tergantung pada sifat bahan dielektrik yang digunakan.

Contoh nilai permittivitas relatif: udara ($\epsilon_r \approx 1$), air ($\epsilon_r \approx 80$), kaca ($\epsilon_r \approx 5-10$), dan keramik ($\epsilon_r \approx 10-100$) (Poza, 2012).

Faktor yang Mempengaruhi Permittivitas Relatif

- a. Struktur molekul bahan
- b. Polarisasi dielektrik
- c. Frekuensi medan listrik
- d. Suhu
- e. Tekanan
- f. Aplikasi Permittivitas Relatif

Permittivitas relatif memainkan peran penting dalam berbagai aplikasi, seperti:

- a. Kapasitor
- b. Isolator listrik
- c. Bahan dielektrik dalam perangkat elektronik
- d. Teknologi radar dan gelombang mikro (Elschner, R., Boettcher, R., & Rheinschmitt, 2021).

Nilai permittivitas relatif digunakan untuk merancang dan menganalisis kinerja perangkat-perangkat tersebut.

Faktor-faktor yang mempengaruhi permittivitas listrik suatu bahan dielektrik antara lain:

- a. Struktur molekul bahan
- b. Polarisasi dielektrik
- c. Frekuensi medan listrik
- d. Suhu
- e. Tekanan

Penggunaan permittivitas listrik sangat penting dalam berbagai aplikasi teknologi, seperti:

- a. Kapasitor
- b. Isolator listrik
- c. Bahan dielektrik dalam perangkat elektronik
- d. Teknologi radar dan gelombang mikro

3. Hubungan antara polarisasi dan permittivitas

Polarisasi dan permittivitas merupakan konsep yang saling terkait dalam elektromagnetika. Polarisasi dielektrik menyebabkan perubahan permittivitas bahan, yang kemudian mempengaruhi sifat-sifat elektromagnetik dalam bahan tersebut.

a. Hubungan antara polarisasi dan permittivitas:

Permittivitas suatu bahan dielektrik (ϵ) dipengaruhi oleh derajat polarisasi yang terjadi dalam bahan tersebut.

Semakin besar polarisasi yang terjadi, maka permittivitas bahan juga akan semakin besar.

Secara matematis, hubungan antara polarisasi (P) dan permittivitas (ϵ) dinyatakan dengan persamaan: $\epsilon = \epsilon_0 + P/E$, di mana E adalah kuat medan listrik (Fink, D. G., & Beaty, 2013).

b. Aplikasi Polarisasi dan Permittivitas

Pemahaman tentang polarisasi dan permittivitas penting dalam perancangan berbagai perangkat elektronik dan dielektrik, seperti kapasitor, bahan isolator, dan sensor (Elschner, R., Boettcher, R., & Rheinschmitt, 2021).

Sifat-sifat dielektrik bahan yang bergantung pada polarisasi dan permittivitas dimanfaatkan dalam teknologi radar, komunikasi, dan energi (Setter, 2005).

4.4.4 Kerentanan dielektrik

Kerentanan dielektrik, dilambangkan dengan χ_e , adalah ukuran kemampuan suatu bahan dielektrik untuk terpolarisasi ketika dikenai medan listrik eksternal. Kerentanan dielektrik merupakan konsep yang erat kaitannya dengan permittivitas relatif.

1. Definisi Kerentanan Dielektrik

Kerentanan dielektrik adalah rasio antara polarisasi dielektrik (P) dengan kuat medan listrik (E) yang dikenakan pada bahan dielektrik (Sedra, A. S., & Smith, 2015).

Secara matematis, kerentanan dielektrik dapat dinyatakan dengan persamaan: $\chi_e = P/\epsilon_0 E$. Hubungan Kerentanan Dielektrik dengan Permittivitas Relatif Kerentanan dielektrik dan permittivitas relatif memiliki hubungan yang erat.

Permittivitas relatif (ϵ_r) dapat dinyatakan dalam bentuk kerentanan dielektrik (χ_e) dengan persamaan: $\epsilon_r = 1 + \chi_e$ (Fink, D. G., & Beaty, 2013).

Semakin besar kerentanan dielektrik suatu bahan, maka permittivitas relatifnya juga akan semakin besar.

Faktor yang Mempengaruhi Kerentanan Dielektrik

- a. Jenis dan struktur molekul bahan dielektrik
- b. Kekuatan medan listrik eksternal
- c. Frekuensi medan listrik
- d. Suhu

Aplikasi Kerentanan Dielektrik

Kerentanan dielektrik merupakan parameter penting dalam perancangan dan analisis kinerja perangkat-perangkat elektronik dan dielektrik, seperti:

- a. Kapasitor
- b. Bahan isolator
- c. Sensor dielektrik
- d. Teknologi radar dan komunikasi (Pozar, 2012).

Pemahaman tentang kerentanan dielektrik membantu dalam memilih bahan dielektrik yang sesuai untuk aplikasi tertentu.

2. Dielektrik loss

Dielektrik loss, atau faktor disipasi, adalah parameter yang menunjukkan seberapa banyak energi yang hilang atau terbuang dalam bahan dielektrik ketika dikenai medan listrik eksternal. Dielektrik loss merupakan salah satu karakteristik penting dari bahan dielektrik.

3. Definisi Dielektrik Loss

Dielektrik loss adalah rasio antara daya listrik yang hilang (disipasi) dalam bahan dielektrik terhadap daya listrik yang disimpan dalam bahan dielektrik tersebut (Sedra, A. S., & Smith, 2015).

Secara matematis, dielektrik loss dapat dinyatakan dengan persamaan: $\tan \delta = P_{\text{loss}} / P_{\text{stored}}$, di mana $\tan \delta$ adalah tangent loss.

4. Mekanisme Dielektrik Loss

Dielektrik loss terjadi karena adanya pergerakan muatan listrik dalam bahan dielektrik akibat polarisasi dielektrik.

Pergerakan muatan listrik ini menimbulkan gesekan dan menghasilkan panas, yang menyebabkan energi listrik terbuang atau hilang (Fink, D. G., & Beaty, 2013).

Semakin besar pergerakan muatan listrik, maka semakin besar pula dielektrik loss yang terjadi.

Faktor yang Mempengaruhi Dielektrik Loss

- a. Jenis dan struktur molekul bahan dielektrik
- b. Frekuensi medan listrik
- c. Suhu
- d. Kelembapan dan kontaminasi bahan dielektrik

Aplikasi dan Implikasi Dielektrik Loss

Dielektrik loss merupakan parameter penting dalam perancangan komponen elektronik yang menggunakan bahan dielektrik, seperti:

- a. Kapasitor
- b. Transformator
- c. Bahan isolator

Dielektrik loss yang tinggi dapat menyebabkan pemanasan berlebih dan penurunan efisiensi perangkat elektronik [Pozar, 2012].

Pemahaman tentang dielektrik loss membantu dalam memilih bahan dielektrik yang sesuai untuk aplikasi tertentu.

5. Tangent loss

Tangent loss, dilambangkan dengan $\tan \delta$, adalah parameter yang menunjukkan besarnya energi yang hilang atau terbuang dalam suatu bahan dielektrik ketika dikenai medan listrik eksternal. Tangent loss merupakan ukuran dari dielektrik loss suatu bahan.

Definisi Tangent Loss

Tangent loss didefinisikan sebagai rasio antara daya listrik yang hilang (disipasi) dengan daya listrik yang tersimpan dalam bahan dielektrik (Sedra, A. S., & Smith, 2015).

Secara matematis, tangent loss dapat dinyatakan dengan persamaan: $\tan \delta = P_{\text{loss}} / P_{\text{stored}}$.

6. Hubungan Tangent Loss dengan Dielektrik Loss

Tangent loss merupakan ukuran dari dielektrik loss suatu bahan. Semakin besar tangent loss, maka semakin besar pula dielektrik loss yang terjadi (Fink, D. G., & Beaty, 2013).

Faktor yang Mempengaruhi Tangent Loss

- Jenis dan struktur molekul bahan dielektrik
- Frekuensi medan listrik
- Suhu
- Kelembapan dan kontaminasi bahan dielektrik

Aplikasi dan Implikasi Tangent Loss

Tangent loss merupakan parameter penting dalam perancangan komponen elektronik yang menggunakan bahan dielektrik, seperti:

- Kapasitor
- Transformator
- Bahan isolator

Tangent loss yang tinggi dapat menyebabkan pemanasan berlebih dan penurunan efisiensi perangkat elektronik (Pozar, 2012).

Pemahaman tentang tangent loss membantu dalam memilih bahan dielektrik yang sesuai untuk aplikasi tertentu.

7. Faktor daya disipasi

Faktor daya disipasi, atau dissipation factor, adalah parameter yang menunjukkan seberapa besar daya listrik yang hilang atau terbangun pada suatu bahan dielektrik saat dikenai medan listrik. Faktor daya disipasi merupakan ukuran dari dielektrik loss suatu bahan.

Faktor daya disipasi didefinisikan sebagai rasio antara daya listrik yang hilang (disipasi) dengan daya listrik yang tersimpan dalam bahan dielektrik (Sedra, A. S., & Smith, 2015).

Secara matematis, faktor daya disipasi dapat dinyatakan dengan persamaan: $D = P_{\text{loss}} / P_{\text{stored}}$, di mana D adalah faktor daya disipasi.

8. Hubungan Faktor Daya Disipasi dengan Tangent Loss

Faktor daya disipasi memiliki hubungan yang erat dengan tangent loss ($\tan \delta$).

Secara matematis, hubungan tersebut dapat dinyatakan sebagai: $D = \tan \delta$ (Fink, D. G., & Beaty, 2013).

Semakin besar faktor daya disipasi, maka semakin besar pula tangent loss yang terjadi.

Faktor yang Mempengaruhi Faktor Daya Disipasi

- a. Jenis dan struktur molekul bahan dielektrik
- b. Frekuensi medan listrik
- c. Suhu
- d. Kelembapan dan kontaminasi bahan dielektrik

Aplikasi dan Implikasi Faktor Daya Disipasi

Faktor daya disipasi merupakan parameter penting dalam perancangan komponen elektronik yang menggunakan bahan dielektrik, seperti:

- a. Kapasitor
- b. Transformator
- c. Bahan isolator

Faktor daya disipasi yang tinggi dapat menyebabkan pemanasan berlebih dan penurunan efisiensi perangkat elektronik (Pozar, 2012).

Pemahaman tentang faktor daya disipasi membantu dalam memilih bahan dielektrik yang sesuai untuk aplikasi tertentu.

4.5 Jenis Dielektrik

4.5.1 Dielektrik gas

Dielektrik gas merupakan bahan isolator yang memanfaatkan gas sebagai medium untuk menyimpan energi listrik dalam medan listrik. Gas-gas ini memiliki peran penting dalam berbagai komponen dan sistem elektronika, seperti kapasitor tegangan tinggi, transmisi daya listrik, dan tabung vakum (Malpass, no date).

1. Sifat Utama Dielektrik Gas: [Dielectric, Martin]

- a. **Permitivitas Listrik (ϵ):** Permitivitas dielektrik gas umumnya lebih rendah dibandingkan dengan material padat, berkisar antara 1.0005 hingga 1.006. Nilai ini menentukan kemampuan gas untuk menyimpan energi listrik.
- b. **Kerugian Dielektrik:** Dielektrik gas memiliki kerugian dielektrik yang sangat rendah, berkisar antara 10^{-4} hingga 10^{-6} . Hal ini berarti gas memiliki efisiensi tinggi dalam menyimpan energi listrik dan meminimalkan panas yang dihasilkan.
- c. **Tegangan Tembus:** Tegangan tembus dielektrik gas relatif tinggi, memungkinkan penggunaannya dalam aplikasi tegangan tinggi.
- d. **Kestabilan Termal:** Dielektrik gas memiliki stabilitas termal yang baik dan tidak mudah terdegradasi oleh panas.

2. Jenis Dielektrik Gas (Malpass, no date):

- a. **Udara:** Gas paling umum digunakan sebagai dielektrik, mudah didapat dan murah.
- b. **Nitrogen:** Digunakan dalam aplikasi tegangan tinggi karena memiliki tegangan tembus yang lebih tinggi dibandingkan udara.

- c. **Sulfur Hexafluoride (SF₆):** Memiliki permitivitas listrik yang lebih tinggi dibandingkan udara dan nitrogen, memungkinkan penggunaan kapasitor yang lebih kecil dan ringan.
- d. **Vakum:** Gas ideal dengan permitivitas listrik terendah dan kerugian dielektrik nol, digunakan dalam tabung vakum dan kapasitor vakum.

3. Aplikasi Dielektrik Gas (Malpass, no date) :

- a. **Kapasitor Tegangan Tinggi:** Dielektrik gas digunakan dalam kapasitor tegangan tinggi untuk transmisi daya listrik, pengujian peralatan elektronik, dan aplikasi lainnya yang membutuhkan tegangan tinggi.
- b. **Transmisi Daya Listrik:** Gas seperti nitrogen dan SF₆ digunakan sebagai isolator dalam kabel transmisi daya listrik untuk mencegah kebocoran arus dan meningkatkan efisiensi transmisi.
- c. **Tabung Vakum:** Dielektrik vakum digunakan dalam tabung vakum seperti tabung sinar katoda (CRT) dan tabung elektronik lainnya untuk menciptakan ruang hampa yang diperlukan untuk operasi tabung.
- d. **Sensor Gas:** Sifat dielektrik gas dapat dimanfaatkan untuk mendeteksi keberadaan gas tertentu, seperti karbon dioksida dan metana.

4. Keuntungan Dielektrik Gas (Malpass, no date) :

- a. **Permitivitas Listrik Tinggi:** Beberapa gas memiliki permitivitas listrik yang lebih tinggi dibandingkan material padat, memungkinkan penggunaan kapasitor yang lebih kecil dan ringan.
- b. **Kerugian Dielektrik Rendah:** Gas memiliki efisiensi tinggi dalam menyimpan energi listrik dan meminimalkan panas yang dihasilkan.
- c. **Tegangan Tembus Tinggi:** Gas dapat menahan tegangan tinggi, membuatnya ideal untuk aplikasi tegangan tinggi.
- d. **Kestabilan Termal:** Gas memiliki stabilitas termal yang baik dan tidak mudah terdegradasi oleh panas.

- e. **Ketersediaan:** Gas seperti udara mudah didapat dan murah.

5. Kekurangan Dielektrik Gas:

- a. **Permitivitas Listrik Rendah:** Permitivitas listrik gas umumnya lebih rendah dibandingkan dengan material padat, sehingga membutuhkan kapasitor yang lebih besar untuk mencapai nilai kapasitansi yang sama.
- b. **Keamanan:** Beberapa gas seperti SF₆ memiliki potensi bahaya bagi kesehatan manusia dan lingkungan.
- c. **Kebocoran:** Gas dapat bocor dari waktu ke waktu, sehingga memerlukan pemeliharaan dan penggantian secara berkala.

4.5.2 Dielektrik keramik

Dielektrik keramik merupakan bahan isolator yang terbuat dari senyawa keramik, seperti alumina, titania, dan barium titanate (BaTiO₃). Material ini memiliki peran penting dalam berbagai komponen dan sistem elektronika, seperti kapasitor, filter, dan sensor.

1. Sifat Utama Dielektrik Keramik:

- a. **Permitivitas Listrik (ϵ):** Permitivitas dielektrik keramik umumnya lebih tinggi dibandingkan dengan material padat lainnya, berkisar antara 5 hingga 300. Nilai ini menentukan kemampuan keramik untuk menyimpan energi listrik.
- b. **Kerugian Dielektrik:** Dielektrik keramik memiliki kerugian dielektrik yang bervariasi tergantung pada jenis keramik, berkisar antara 10^{-3} hingga 10^{-1} . Nilai yang rendah menunjukkan efisiensi tinggi dalam menyimpan energi listrik.
- c. **Tegangan Tembus:** Tegangan tembus dielektrik keramik relatif tinggi, memungkinkan penggunaannya dalam aplikasi tegangan tinggi.
- d. **Kestabilan Termal:** Dielektrik keramik memiliki stabilitas termal yang baik dan tidak mudah terdegradasi oleh panas.

- e. **Ketahanan Mekanik:** Dielektrik keramik memiliki ketahanan mekanik yang tinggi, membuatnya tahan terhadap guncangan dan getaran.

2. Jenis Dielektrik Keramik:

- a. **Keramik Monopolar:** Memiliki struktur kristal tunggal dengan permitivitas listrik yang rendah, seperti alumina (Al_2O_3).
- b. **Keramik Polar:** Memiliki struktur kristal asimetris dengan permitivitas listrik yang lebih tinggi, seperti barium titanate (BaTiO_3) dan lead zirconate titanate (PZT).
- c. **Keramik Ferroelektrik:** Memiliki sifat polar yang dapat diubah dengan medan listrik eksternal, seperti barium titanate (BaTiO_3).

3. Aplikasi Dielektrik Keramik:

- a. **Kapasitor:** Dielektrik keramik banyak digunakan dalam kapasitor karena permitivitas listrik yang tinggi dan kerugian dielektrik yang rendah. Kapasitor keramik digunakan dalam berbagai aplikasi seperti elektronik konsumen, perangkat medis, dan otomotif.
- b. **Filter:** Dielektrik keramik digunakan dalam filter elektronik untuk memfilter frekuensi yang tidak diinginkan dan menghasilkan sinyal yang lebih bersih. Filter keramik digunakan dalam berbagai aplikasi seperti telekomunikasi, audio, dan radio.
- c. **Sensor:** Dielektrik keramik dapat digunakan sebagai sensor untuk mendeteksi berbagai parameter fisik seperti tekanan, suhu, dan kelembaban. Sensor keramik digunakan dalam berbagai aplikasi seperti otomotif, industri, dan medis.
- d. **Aktuator:** Dielektrik keramik dapat digunakan sebagai aktuator untuk menghasilkan gerakan mekanis. Aktuator keramik digunakan dalam berbagai aplikasi seperti robotika, pencetakan 3D, dan mikroskop.

4. Keuntungan Dielektrik Keramik:

- a. **Permitivitas Listrik Tinggi:** Dielektrik keramik memiliki permitivitas listrik yang lebih tinggi

dibandingkan dengan material padat lainnya, memungkinkan penggunaan kapasitor yang lebih kecil dan ringan.

- b. **Kerugian Dielektrik Rendah:** Dielektrik keramik memiliki efisiensi tinggi dalam menyimpan energi listrik dan meminimalkan panas yang dihasilkan.
- c. **Tegangan Tembus Tinggi:** Dielektrik keramik dapat menahan tegangan tinggi, membuatnya ideal untuk aplikasi tegangan tinggi.
- d. **Kestabilan Termal:** Dielektrik keramik memiliki stabilitas termal yang baik dan tidak mudah terdegradasi oleh panas.
- e. **Ketahanan Mekanik:** Dielektrik keramik memiliki ketahanan mekanik yang tinggi, membuatnya tahan terhadap guncangan dan getaran.
- f. **Biaya:** Dielektrik keramik umumnya lebih murah dibandingkan dengan material lain dengan sifat yang serupa.

5. Kekurangan Dielektrik Keramik:

- a. **Keterbatasan Bentuk:** Dielektrik keramik umumnya lebih sulit dibentuk dibandingkan dengan material lain, sehingga pemrosesannya lebih kompleks.
- b. **Kerapuhan:** Dielektrik keramik rapuh dan dapat retak atau pecah jika terkena benturan keras.
- c. **Keterbatasan Temperatur Operasi:** Dielektrik keramik memiliki keterbatasan temperatur operasi, dan sifatnya dapat berubah pada temperatur yang sangat tinggi atau sangat rendah.

4.5.3 Dielektrik polimer(Malpass, no date)

Dielektrik polimer merupakan bahan isolator yang terbuat dari senyawa polimer, seperti polietilen, polipropilena, dan *polytetrafluoroethylene* (PTFE). Material ini memiliki peran penting dalam berbagai komponen dan sistem elektronik, seperti kapasitor, film isolasi, dan sensor.

1. Sifat Utama Dielektrik Polimer:

- a. **Permitivitas Listrik (ϵ):** Permitivitas dielektrik polimer umumnya lebih rendah dibandingkan dengan material padat lainnya, berkisar antara 2 hingga 4. Nilai ini menentukan kemampuan polimer untuk menyimpan energi listrik.
- b. **Kerugian Dielektrik:** Dielektrik polimer memiliki kerugian dielektrik yang sangat rendah, berkisar antara 10^{-4} hingga 10^{-6} . Hal ini berarti polimer memiliki efisiensi tinggi dalam menyimpan energi listrik dan meminimalkan panas yang dihasilkan.
- c. **Tegangan Tembus:** Tegangan tembus dielektrik polimer relatif tinggi, memungkinkan penggunaannya dalam aplikasi tegangan tinggi.
- d. **Kestabilan Termal:** Dielektrik polimer memiliki stabilitas termal yang baik dan tidak mudah terdegradasi oleh panas.
- e. **Fleksibilitas:** Dielektrik polimer memiliki fleksibilitas yang tinggi, membuatnya mudah dibentuk dan diproses.

2. Jenis Dielektrik Polimer:

- a. **Polimer Termoplastik:** Dapat dilelehkan dan dibentuk kembali, seperti polietilen (PE) dan polipropilena (PP).
- b. **Polimer Termoset:** Tidak dapat dilelehkan setelah dicetak, seperti epoksi dan bakelit.
- c. **Polimer Film:** Bentuk tipis dan fleksibel, seperti poliimida dan PTFE.

3. Aplikasi Dielektrik Polimer:

- a. **Kapasitor:** Dielektrik polimer banyak digunakan dalam kapasitor film karena kerugian dielektrik yang rendah dan stabilitas termal yang baik. Kapasitor film polimer digunakan dalam berbagai aplikasi seperti elektronik konsumen, perangkat medis, dan otomotif.
- b. **Film Isolasi:** Dielektrik polimer digunakan sebagai film isolasi untuk memisahkan konduktor dalam kabel dan PCB (Printed Circuit Board). Film isolasi polimer membantu mencegah korsleting dan memastikan aliran arus listrik yang aman dan terarah.

- c. **Sensor:** Dielektrik polimer dapat digunakan sebagai sensor untuk mendeteksi berbagai parameter fisik seperti tekanan, suhu, dan kelembaban. Sensor polimer digunakan dalam berbagai aplikasi seperti otomotif, industri, dan medis.
 - d. **Aktuator:** Dielektrik polimer dapat digunakan sebagai aktuator untuk menghasilkan gerakan mekanis. Aktuator polimer digunakan dalam berbagai aplikasi seperti robotika, pencetakan 3D, dan mikroskop.
4. **Keuntungan Dielektrik Polimer:**
- a. **Kerugian Dielektrik Rendah:** Dielektrik polimer memiliki efisiensi tinggi dalam menyimpan energi listrik dan meminimalkan panas yang dihasilkan.
 - b. **Tegangan Tembus Tinggi:** Dielektrik polimer dapat menahan tegangan tinggi, membuatnya ideal untuk aplikasi tegangan tinggi.
 - c. **Kestabilan Termal:** Dielektrik polimer memiliki stabilitas termal yang baik dan tidak mudah terdegradasi oleh panas.
 - d. **Fleksibilitas:** Dielektrik polimer memiliki fleksibilitas yang tinggi, membuatnya mudah dibentuk dan diproses.
 - e. **Biaya:** Dielektrik polimer umumnya lebih murah dibandingkan dengan material lain dengan sifat yang serupa.
5. **Kekurangan Dielektrik Polimer:**
- a. **Permitivitas Listrik Rendah:** Dielektrik polimer memiliki permitivitas listrik yang lebih rendah dibandingkan dengan material padat lainnya, sehingga membutuhkan kapasitor yang lebih besar untuk mencapai nilai kapasitansi yang sama.
 - b. **Keterbatasan Temperatur Operasi:** Dielektrik polimer memiliki keterbatasan temperatur operasi, dan sifatnya dapat berubah pada temperatur yang sangat tinggi atau sangat rendah.
 - c. **Ketahanan Mekanik:** Dielektrik polimer umumnya memiliki ketahanan mekanik yang lebih rendah dibandingkan dengan material lain.

4.5.4 Dielektrik komposit (Malpass, no date):

Dielektrik komposit merupakan bahan isolator yang terbuat dari kombinasi dua atau lebih material dengan sifat dielektrik yang berbeda. Gabungan material ini menghasilkan sifat dielektrik yang unik dan superior dibandingkan dengan material penyusunnya, membuatnya ideal untuk berbagai aplikasi elektronik.

1. Sifat Utama Dielektrik Komposit:

- a. **Permitivitas Listrik (ϵ):** Permitivitas dielektrik komposit dapat dikendalikan dengan mengatur komposisi dan geometri material penyusunnya. Hal ini memungkinkan desain kapasitor dengan nilai kapasitansi yang diinginkan.
- b. **Kerugian Dielektrik:** Kerugian dielektrik dielektrik komposit dapat dikontrol dengan memilih material penyusun yang memiliki kerugian dielektrik rendah. Hal ini meningkatkan efisiensi penyimpanan energi listrik dan meminimalkan panas yang dihasilkan.
- c. **Tegangan Tembus:** Tegangan tembus dielektrik komposit dapat ditingkatkan dengan menggunakan material penyusun yang memiliki tegangan tembus tinggi. Hal ini memungkinkan penggunaan kapasitor dalam aplikasi tegangan tinggi.
- d. **Kestabilan Termal:** Kestabilan termal dielektrik komposit dapat ditingkatkan dengan memilih material penyusun yang memiliki stabilitas termal tinggi. Hal ini memastikan kinerja kapasitor yang stabil dalam berbagai kondisi temperatur.
- e. **Ketahanan Mekanik:** Ketahanan mekanik dielektrik komposit dapat ditingkatkan dengan menggunakan material penyusun yang memiliki ketahanan mekanik tinggi. Hal ini membuat kapasitor lebih tahan terhadap guncangan dan getaran.

2. Jenis Dielektrik Komposit:

- a. **Komposit Partikel:** Menggabungkan material berkonduktivitas tinggi dengan material berkonduktivitas rendah dalam bentuk partikel.

- b. **Komposit Lapisan:** Menggabungkan material dielektrik yang berbeda dalam bentuk lapisan tipis.
 - c. **Komposit Mikrostruktur:** Menggabungkan material dielektrik dengan struktur mikro yang terkontrol.
3. **Aplikasi Dielektrik Komposit:**
- a. **Kapasitor:** Dielektrik komposit banyak digunakan dalam kapasitor karena sifat dielektrik yang dapat dikontrol dan kerugian dielektrik yang rendah. Kapasitor komposit digunakan dalam berbagai aplikasi seperti elektronik konsumen, perangkat medis, dan otomotif.
 - b. **Filter:** Dielektrik komposit digunakan dalam filter elektronik untuk memfilter frekuensi yang tidak diinginkan dan menghasilkan sinyal yang lebih bersih. Filter komposit digunakan dalam berbagai aplikasi seperti telekomunikasi, audio, dan radio.
 - c. **Sensor:** Dielektrik komposit dapat digunakan sebagai sensor untuk mendeteksi berbagai parameter fisik seperti tekanan, suhu, dan kelembaban. Sensor komposit digunakan dalam berbagai aplikasi seperti otomotif, industri, dan medis.
 - d. **Aktuator:** Dielektrik komposit dapat digunakan sebagai aktuator untuk menghasilkan gerakan mekanis. Aktuator komposit digunakan dalam berbagai aplikasi seperti robotika, pencetakan 3D, dan mikroskop.
4. **Keuntungan Dielektrik Komposit:**
- a. **Sifat Dielektrik yang Dapat Dikontrol:** Permittivitas, kerugian dielektrik, tegangan tembus, dan sifat lainnya dapat dikendalikan dengan memilih material penyusun dan geometri yang tepat.
 - b. **Kerugian Dielektrik Rendah:** Dielektrik komposit dapat memiliki kerugian dielektrik yang sangat rendah, meningkatkan efisiensi penyimpanan energi listrik.
 - c. **Tegangan Tembus Tinggi:** Dielektrik komposit dapat memiliki tegangan tembus yang tinggi, memungkinkan penggunaan dalam aplikasi tegangan tinggi.

- d. **Kestabilan Termal:** Dielektrik komposit dapat memiliki stabilitas termal yang baik, memastikan kinerja yang stabil dalam berbagai kondisi temperatur.
- e. **Ketahanan Mekanik:** Dielektrik komposit dapat memiliki ketahanan mekanik yang tinggi, membuatnya tahan terhadap guncangan dan getaran.

5. Kekurangan Dielektrik Komposit:

- a. **Kompleksitas Manufaktur:** Manufaktur dielektrik komposit dapat lebih kompleks dan mahal dibandingkan dengan material dielektrik tunggal.
- b. **Keandalan:** Keandalan dielektrik komposit dapat dipengaruhi oleh adhesi antara material penyusun dan cacat mikrostruktur.

4.6 Pemilihan Dielektrik untuk Komponen Elektronika (Cheng, no date)

Memilih dielektrik yang tepat merupakan aspek krusial dalam merancang dan membangun komponen elektronik yang optimal. Dielektrik, atau bahan isolator, memainkan peran penting dalam berbagai komponen seperti kapasitor, filter, dan sensor. Sifat dielektrik yang berbeda menghasilkan performa dan karakteristik yang berbeda pula bagi komponen elektronik. Oleh karena itu, memahami karakteristik dan aplikasi dielektrik yang tepat sangatlah penting.

4.6.1 Faktor-faktor Penting dalam Memilih Dielektrik:

1. **Permitivitas Listrik (ϵ):** Permitivitas menentukan kemampuan material untuk menyimpan energi listrik. Nilai ϵ yang tinggi umumnya menghasilkan kapasitansi yang lebih besar untuk kapasitor dengan ukuran yang sama.
2. **Kerugian Dielektrik ($\tan \delta$):** Kerugian dielektrik merepresentasikan energi yang hilang sebagai panas dalam material. Nilai $\tan \delta$ yang rendah sangat penting untuk efisiensi energi, terutama dalam aplikasi frekuensi tinggi.
3. **Tegangan Tembus:** Tegangan tembus adalah tegangan maksimum yang dapat ditahan material sebelum terjadi kegagalan isolasi. Nilai tegangan tembus yang tinggi diperlukan untuk aplikasi tegangan tinggi.

4. **Kestabilan Termal:** Kestabilan termal mengacu pada kemampuan material untuk mempertahankan sifatnya dalam berbagai kondisi temperatur. Dielektrik dengan stabilitas termal yang baik penting untuk aplikasi yang mengalami perubahan temperatur yang signifikan.
5. **Ketahanan Mekanik:** Ketahanan mekanik menentukan kemampuan material untuk menahan guncangan, getaran, dan tekanan fisik, Dielektrik dengan ketahanan mekanik yang tinggi diperlukan untuk aplikasi yang rawan.

4.6.2 Jenis-jenis Dielektrik dan Aplikasinya:

1. **Dielektrik Keramik:** Dielektrik keramik memiliki permitivitas tinggi, kerugian dielektrik rendah, dan tegangan tembus tinggi. Digunakan dalam kapasitor multilayer, filter keramik, dan sensor tekanan.
2. **Dielektrik Polimer:** Dielektrik polimer memiliki kerugian dielektrik yang sangat rendah, fleksibilitas tinggi, dan biaya yang relatif murah. Digunakan dalam kapasitor film, film isolasi, dan sensor kelembaban.
3. **Dielektrik Udara:** Dielektrik udara memiliki permitivitas rendah dan kerugian dielektrik yang sangat rendah. Digunakan dalam kapasitor variabel dan aplikasi frekuensi tinggi.
4. **Dielektrik Vakum:** Dielektrik vakum memiliki permitivitas terendah dan kerugian dielektrik nol. Digunakan dalam tabung vakum dan aplikasi frekuensi sangat tinggi.

4.6.3 Tips Memilih Dielektrik:

1. **Tentukan aplikasi komponen elektronik:** Identifikasi fungsi utama komponen dan kondisi operasinya (temperatur, frekuensi, tegangan, dll.).
2. **Pertimbangkan faktor-faktor penting:** Pilih dielektrik dengan nilai permitivitas, kerugian dielektrik, tegangan tembus, stabilitas termal, dan ketahanan mekanik yang sesuai dengan kebutuhan aplikasi.

3. **Bandungkan jenis dielektrik:** Pelajari kelebihan dan kekurangan masing-masing jenis dielektrik dan pilih yang paling sesuai dengan kebutuhan Anda.
4. **Pertimbangkan biaya:** Bandungkan harga berbagai jenis dielektrik dan pilih yang paling ekonomis tanpa mengorbankan kinerja.
5. **Konsultasikan dengan ahli:** Jika Anda tidak yakin dengan pilihan dielektrik, konsultasikan dengan ahli di bidang elektronika atau bahan untuk mendapatkan panduan yang lebih spesifik.

4.7 Dampak Dielektrik pada Komponen Elektronika (M. J. Hoffmann, no date a)

Dielektrik, atau bahan isolator, memainkan peran penting dalam berbagai komponen elektronik seperti kapasitor, filter, dan sensor. Sifat dielektrik dapat memberikan dampak signifikan pada kinerja dan karakteristik komponen elektronik. Berikut adalah penjelasan lebih lanjut mengenai dampak dielektrik pada komponen elektronik:

4.7.1 Kapasitor

1. Permittivitas (ϵ):

Dampak: Menentukan nilai kapasitansi (C). Semakin tinggi permitivitas, semakin besar nilai kapasitansi untuk ukuran kapasitor yang sama. Hal ini memungkinkan miniaturisasi kapasitor atau peningkatan nilai kapasitansi dalam ruang yang sama.

Contoh Penerapan:

- a. Kapasitor film dengan dielektrik polimer untuk sirkuit mini dan perangkat portabel
- b. Kapasitor multilayer keramik dengan dielektrik bertimbang tinggi untuk aplikasi frekuensi tinggi
- c. Kapasitor vakum dengan permitivitas terendah untuk aplikasi presisi tinggi

2. Kerugian Dielektrik ($\tan \delta$):

Dampak: Merepresentasikan energi yang hilang sebagai panas dalam dielektrik. Nilai $\tan \delta$ yang rendah penting untuk efisiensi energi, terutama dalam aplikasi

frekuensi tinggi. Nilai $\tan \delta$ yang tinggi dapat menyebabkan pemanasan kapasitor dan penurunan efisiensi.

Contoh Penerapan:

- a. Kapasitor film dengan film polimer berbiaya rendah dan $\tan \delta$ yang rendah
- b. Kapasitor keramik dengan dielektrik bertimbal rendah untuk mengurangi pemanasan internal
- c. Kapasitor vakum dengan $\tan \delta$ terendah untuk aplikasi presisi tinggi yang membutuhkan minimal noise

6. Tegangan Tembus:

Dampak: Menentukan batas tegangan maksimum yang dapat ditahan kapasitor sebelum terjadi kegagalan isolasi. Nilai tegangan tembus yang tinggi diperlukan untuk aplikasi tegangan tinggi.

Contoh Penerapan:

- a. Kapasitor film dengan film polimer untuk aplikasi tegangan rendah
- b. Kapasitor keramik dengan dielektrik bertimbal tinggi untuk aplikasi tegangan tinggi
- c. Kapasitor vakum dengan tegangan tembus tertinggi untuk aplikasi tegangan sangat tinggi

4.7.2 Filter

1. Permittivitas (ϵ):

Dampak: Menentukan frekuensi cutoff filter. Semakin tinggi permitivitas, semakin rendah frekuensi cutoff. Hal ini memungkinkan filter untuk memblokir frekuensi yang tidak diinginkan secara efektif.

Contoh Penerapan:

- a. Filter keramik dengan dielektrik bertimbal tinggi untuk aplikasi frekuensi rendah
- b. Filter film dengan film polimer untuk aplikasi frekuensi menengah
- c. Filter gelombang mikro dengan dielektrik berjenis substrat untuk aplikasi frekuensi tinggi

2. Kerugian Dielektrik ($\tan \delta$):

Dampak: Mempengaruhi kualitas faktor (Q) filter. Nilai Q yang tinggi menunjukkan resonansi yang tajam dan selektivitas frekuensi yang baik. Nilai $\tan \delta$ yang tinggi dapat menurunkan kualitas faktor dan menurunkan kinerja filter.

Contoh Penerapan:

- Filter keramik dengan dielektrik berbiaya rendah dan $\tan \delta$ yang rendah
- Filter film dengan film polimer yang memiliki $\tan \delta$ yang lebih rendah daripada keramik
- Filter gelombang mikro dengan dielektrik berjenis substrat dengan $\tan \delta$ terendah

3. Kestabilan Termal:

Dampak: Menjaga kinerja filter dalam berbagai kondisi temperatur. Perubahan permitivitas dan $\tan \delta$ dengan temperatur dapat mempengaruhi frekuensi cutoff dan kualitas faktor filter.

Contoh Penerapan:

- Filter keramik dengan dielektrik bertimbal tinggi yang stabil secara termal
- Filter film dengan film polimer yang memiliki stabilitas termal yang baik
- Filter gelombang mikro dengan dielektrik berjenis substrat yang stabil secara termal

4.7.3 Sensor

Kestabilan Termal: Menjaga akurasi sensor dalam berbagai kondisi temperatur. Perubahan permitivitas dan $\tan \delta$ dengan temperatur dapat mempengaruhi sensitivitas dan akurasi sensor.

Contoh Penerapan:

- Sensor tekanan dengan dielektrik elastomer yang memiliki stabilitas termal yang baik
- Sensor temperatur dengan dielektrik keramik yang stabil secara termal pada rentang temperatur operasi yang luas

3. Sensor kelembaban dengan dielektrik polimer yang memiliki stabilitas termal untuk pengukuran kelembaban yang akurat di berbagai lingkungan

Dampak Negatif Dielektrik:

1. **Kerugian Dielektrik ($\tan \delta$) yang tinggi:** Dapat menyebabkan pemanasan komponen elektronik, penurunan efisiensi energi, dan noise.
2. **Ketidakstabilan Termal:** Perubahan permitivitas dan $\tan \delta$ dengan temperatur dapat mempengaruhi kinerja komponen elektronik, terutama dalam aplikasi yang mengalami perubahan temperatur yang signifikan.
3. **Keterbatasan Tegangan:** Tegangan tembus dielektrik membatasi aplikasi komponen elektronik dalam aplikasi tegangan tinggi.

4.8 Tren dan Pengembangan Dielektrik

Dielektrik, atau bahan isolator, memainkan peran penting dalam berbagai komponen elektronik seperti kapasitor, filter, dan sensor. Perkembangan teknologi elektronik yang pesat mendorong terciptanya tren dan inovasi baru dalam material dielektrik. Berikut adalah beberapa tren dan perkembangan penting dalam bidang dielektrik:

4.8.1 Dielektrik Bertimbal Tinggi (M. J. Hoffmann, no date a):

Tren: Meningkatnya penggunaan dielektrik bertimbal tinggi seperti barium titanat (BaTiO_3) dan strontium titanat (SrTiO_3) untuk meningkatkan kapasitansi komponen elektronik.

Perkembangan:

1. Pengembangan dielektrik bertimbal tinggi dengan stabilitas termal yang lebih baik untuk aplikasi frekuensi tinggi.
2. Sintesis dielektrik bertimbal tinggi dengan teknik nano untuk meningkatkan miniaturisasi komponen.
3. Penelitian material dielektrik alternatif yang ramah lingkungan untuk mengurangi dampak negatif timbal.

4.8.2 Dielektrik Nanostruktur (M. J. Hoffmann, no date b):

Tren: Pemanfaatan nanostruktur dielektrik untuk meningkatkan kinerja komponen elektronik.

Perkembangan:

1. Desain nanostruktur dielektrik dengan geometri yang presisi untuk mengoptimalkan sifat dielektrik.
2. Integrasi nanostruktur dielektrik dengan material lain untuk menciptakan komposit dielektrik dengan sifat fungsional yang superior.
3. Penelitian teknik fabrikasi nanostruktur dielektrik yang skalabel dan hemat biaya.

4.8.3 Dielektrik Multifungsi (Y. Haoren, no date):

Tren: Pengembangan dielektrik dengan fungsi ganda, seperti dielektrik piezoelektrik dan dielektrik magnetik.

Perkembangan:

1. Material dielektrik piezoelektrik untuk sensor dan aktuator yang lebih sensitif dan efisien.
2. Dielektrik magnetik untuk aplikasi microwave dan frekuensi tinggi.
3. Penelitian material dielektrik multifungsi dengan kombinasi sifat yang optimal untuk aplikasi spesifik.

4.8.4 Dielektrik Fleksibel (J. A. Rogers, no date)

Tren: Meningkatnya permintaan dielektrik fleksibel untuk elektronik yang dapat dilipat dan dipakai.

Perkembangan:

1. Material dielektrik polimer yang fleksibel dan tahan lama.
2. Dielektrik berbasis elastomer untuk aplikasi elektronik yang dapat diregangkan.
3. Penelitian teknik fabrikasi dielektrik fleksibel yang kompatibel dengan proses manufaktur elektronik yang fleksibel.

4.8.5 Dielektrik Berkelanjutan: (*High-k Dielectrics*):

Tren: Peningkatan fokus pada pengembangan dielektrik yang ramah lingkungan dan berkelanjutan.

Perkembangan:

1. Material dielektrik bebas timbal dan bebas bahan kimia berbahaya lainnya.
2. Dielektrik berbasis biomaterial dan bahan terbarukan.
3. Penelitian proses daur ulang dielektrik untuk mengurangi limbah elektronik.

4.8.6 Dampak Tren dan Perkembangan Dielektrik: (*High-k Dielectrics*):

Peningkatan kinerja elektronik: Dielektrik baru memungkinkan pembuatan komponen elektronik dengan kapasitansi yang lebih tinggi, efisiensi energi yang lebih baik, dan frekuensi operasi yang lebih tinggi.

Miniaturisasi elektronik: Dielektrik bertimbal tinggi dan nanostruktur memungkinkan miniaturisasi komponen elektronik, membuka jalan bagi perangkat elektronik yang lebih kecil dan lebih portabel.

Elektronik yang fleksibel dan dapat dipakai: Dielektrik fleksibel memungkinkan pembuatan perangkat elektronik yang dapat dilipat, digulung, dan dipakai di tubuh, membuka peluang baru untuk aplikasi elektronik.

Elektronik yang berkelanjutan: Dielektrik ramah lingkungan dan berkelanjutan membantu mengurangi dampak negatif industri elektronik terhadap lingkungan.

4.9 Kesimpulan

Dielektrik memiliki peran penting dalam berbagai komponen elektronik. Sifat dielektrik seperti permitivitas, kerugian dielektrik, tegangan tembus, stabilitas termal, dan ketahanan mekanik harus dipertimbangkan dengan cermat saat memilih dielektrik untuk aplikasi yang spesifik. pentingnya dielektrik dalam elektronika:

Dielektrik, atau bahan isolator, merupakan material yang tidak dapat menghantarkan arus listrik dengan baik. Sifat ini

menjadikannya elemen penting dalam berbagai komponen elektronik seperti kapasitor, filter, dan sensor. Memahami sifat dan jenis dielektrik secara mendalam sangatlah krusial untuk memilih material yang tepat dalam aplikasi elektronik yang spesifik.

Sifat utama dielektrik meliputi permitivitas, kerugian dielektrik, tegangan tembus, stabilitas termal, dan ketahanan mekanik. Permitivitas menentukan nilai kapasitansi dan frekuensi resonansi, kerugian dielektrik memengaruhi efisiensi energi, tegangan tembus menandakan batas aman tegangan, stabilitas termal menjaga kinerja pada temperatur ekstrem, dan ketahanan mekanik memastikan ketahanan terhadap tekanan dan getaran.

Dielektrik diklasifikasikan menjadi tiga jenis utama: padat, cair, dan gas. Dielektrik padat seperti keramik dan polimer menawarkan permitivitas tinggi dan stabilitas termal, namun memiliki kerugian dielektrik yang lebih tinggi. Dielektrik cair seperti minyak mineral dan air memiliki kemampuan self-healing dan pendinginan yang baik, tetapi stabilitas termalnya rendah. Dielektrik gas seperti udara dan nitrogen memiliki kerugian dielektrik yang sangat rendah dan stabilitas termal yang tinggi, namun permitivitasnya rendah dan membutuhkan wadah kedap udara.

Pemilihan dielektrik yang tepat bergantung pada aplikasi, sifat dielektrik, dan pertimbangan biaya. Faktor-faktor seperti frekuensi operasi, tegangan, temperatur, kondisi lingkungan, dan persyaratan mekanik harus dipertimbangkan dengan cermat. Pemahaman menyeluruh tentang karakteristik dielektrik dan faktor-faktor yang mempengaruhi pemilihannya merupakan kunci untuk mencapai kinerja dan keandalan yang optimal dalam sistem elektronik.

Kesimpulannya, dielektrik memainkan peran penting dalam berbagai komponen elektronik. Sifat dan jenis dielektrik yang beragam memungkinkan penggunaannya dalam berbagai aplikasi dengan kebutuhan yang berbeda-beda. Memahami sifat dan jenis dielektrik secara mendalam serta mempertimbangkan faktor-faktor yang relevan dalam pemilihannya sangatlah

penting untuk mencapai performa dan keandalan yang maksimal dalam sistem elektronik.

Tren dan perkembangan dalam bidang dielektrik mendorong kemajuan pesat dalam teknologi elektronik. Dielektrik baru memungkinkan pembuatan komponen elektronik yang lebih berkinerja tinggi, miniatur, fleksibel, dan berkelanjutan, membuka jalan bagi masa depan elektronik yang lebih canggih dan ramah lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- Balanis, C.A. (2012) 'Advanced Engineering Electromagnetics.', *Advanced Engineering Electromagnetics. John Wiley & Sons.*
- Cheng, D.K. (no date) 'Electronic Materials', *Electronic Materials.*
- Elschner, R., Boettcher, R., & Rheinschmitt, L. (2021) 'Energy Storage Systems.', *Energy Storage Systems. Springer.*
- Fink, D. G., & Beaty, H.W. (2013) 'Standard Handbook for Electrical Engineers.', *Standard Handbook for Electrical Engineers. McGraw-Hill Education.*
- Fitzgerald, A. E., Kingsley Jr., C., & Umans, S.D.((2003) 'Electric Machinery. McGraw-Hill.', *Electric Machinery. McGraw-Hill.*
- Ghumare, M. P., & Shrivastava, R.K. (2015) 'Solid and Liquid Dielectrics', *Alpha Science International*
- Horowitz, P., & Hill, W. (2015) 'The Art of Electronics.', *The Art of Electronics. Cambridge University Press*
- J. A. Rogers, et al (no date) 'Flexible Dielectric Materials for Electronic Applications', *Jurnal Annual Review of Materials Science*, 42, p. 1,2.
- Kuffel, E., Zaengl, W. S., & Kuffel, J. (2000) 'High Voltage Engineering Fundamentals. Newnes.', *High Voltage Engineering Fundamentals. Newnes.*
- Lenz, J.E. (1990) 'NA review of magnetic sensors.o Title', *Proceedings of the IEEE*, 78, pp. 973–989.
- Lines, M. E., & Glass, A.M. (1977) 'Principles and Applications of Ferroelectrics and Related Materials.', *Principles and Applications of Ferroelectrics and Related Materials. Clarendon Press.*
- M. J. Hoffmann, et al. (no date a) 'High-k Dielectric Materials for Future Electronics', *High-k Dielectric Materials for Future Electronics*
- M. J. Hoffmann, et al. (no date b) 'Recent Progress in High-k Dielectric Materials for Future Electronics', *Recent Progress in High-k Dielectric Materials for Future Electronics*

- Malpass, M.P. (no date) 'Dielectric Materials for Electronic Applications'.
- Pozar, D.M. (2012) 'Microwave EngineeringNo Title', *Microwave Engineering. John Wiley & Sons.*
- Sedra, A. S., & Smith, K.C. (2015) 'Microelectronic Circuits', *Microelectronic Circuits. Oxford University Press.*
- Setter, N. (2005) 'Piezoelectric Materials in DevicesNo Title', *Piezoelectric Materials in Devices. EPFL Press*
- Y. Haoren, et al. (no date) 'Dielectric Properties of Composite Materials', *Jurnal Progress in Materials Science*, 42, p. 1,2.

BAB 5

SIFAT DAN JENIS BAHAN SEMIKONDUKTOR

Oleh Sukriyah Buwarda

5.1 Pendahuluan

Material listrik yang memiliki kemampuan konduktivitas di antara bahan isolator listrik dan bahan konduktor listrik disebut semikonduktor. Contoh umum dari jenis material semikonduktor adalah silikon, germanium, dan karbon. Namun terdapat beberapa jenis material lain diantaranya galium arsenida, telurida timah, kadmium sulfida, kadmium selenida, indium antimonida. Bahan semikonduktor terbagi menjadi dua tipe yaitu tipe N dan tipe P jika ditinjau berdasarkan jenis dopingnya. Suatu semikonduktor akan bersifat sebagai isolator listrik saat tidak mendapatkan besaran arus listrik tertentu dan sebaliknya semikonduktor akan bersifat sebagai konduktor listrik pada temperatur, arus listrik dan kondisi tertentu. Setiap material penghantar memiliki elektron bebas yang mempengaruhi sifat bahan tersebut. Jika suatu materi memiliki sejumlah besar elektron yang dapat bergerak bebas di sekitar orbitnya, maka materi tersebut akan menunjukkan kemampuan untuk menghantarkan listrik, dan sebaliknya, jika tidak memiliki banyak elektron bebas, maka kemampuan penghantar listriknya akan berkurang. Untuk penjelasan lebih terperinci akan dijelaskan pada sub bab berikutnya (Agus Santoso, Lely Susita RM, 2000).

5.2 Jenis Semikonduktor

5.2.1 Semikonduktor Intrinsik

Semikonduktor Intrinsik adalah semikonduktor murni yang tidak bercampur dengan unsur lainnya. Dalam keadaan murni, semikonduktor intrinsik memiliki sedikit pembawa

muatan bebas, yaitu elektron dan lubang, yang berkontribusi terhadap konduktivitasnya (Yue Hao, Jin Feng, 2017).

5.2.2 Semikonduktor Ekstrinsik

Semikonduktor ekstrinsik merupakan semikonduktor yang telah dimodifikasi dengan penambahan sejumlah kecil impuritas. Hal ini dilakukan untuk meningkatkan konduktivitas dan mengatur sifat-sifat listrik dari semikonduktor tersebut. Terdapat dua jenis semikonduktor ekstrinsik (Schroder, 2006):

1. Semikonduktor Tipe N

Semikonduktor tipe N adalah semikonduktor yang telah dicemari dengan atom donor dari elemen yang memiliki lebih banyak elektron daripada bahan semikonduktor asli (biasanya silikon) yang meninggalkan elektron ekstra yang mudah bergerak. Atom-atom donor ini, seperti fosfor (P), arsenik (As), atau antimon (Sb) yang memiliki lima elektron valensi. Dari kelima elektron ini, empat elektron akan berikatan dengan empat atom silikon sedangkan satu elektron bebas dapat bergerak dalam material menjadikannya pembawa muatan negatif. Dalam semikonduktor tipe N, elektron adalah pembawa muatan negatif mayoritas yang berperan atas adanya aliran listrik yang terjadi. Semikonduktor tipe N sering digunakan dalam perangkat elektronik seperti dioda, transistor, dan sirkuit terintegrasi.

2. Semikonduktor Tipe P

Semikonduktor tipe P adalah semikonduktor yang dicemari dengan atom akseptor yang memiliki lebih sedikit elektron valensi dari pada bahan semikonduktor murni (seperti silikon) yang menciptakan lubang atau biasa disebut *hole* atau kekurangan elektron dalam struktur semikonduktor. *Hole* ini berperan sebagai pembawa muatan positif dan mendominasi konduktivitas dalam semikonduktor tipe P. Atom-atom akseptor ini, seperti boron, "mengambil" elektron sehingga menciptakan lubang yang berperan sebagai pembawa muatan positif. Selain boron (B), semikonduktor tipe P juga biasanya di doping dengan

elemen aluminium (Al) atau gallium (Ga) yang memiliki tiga elektron valensi. Ketika elemen-elemen ini menggantikan atom silikon dalam struktur kristal, atom tersebut tidak cukup untuk membentuk empat ikatan kovalen penuh dengan atom silikon di sekitarnya, sehingga meninggalkan sebuah "lubang" atau "*hole*" yang dapat menerima elektron. Dalam semikonduktor tipe-P, "*hole*" ini bertindak sebagai pembawa muatan mayoritas. Elektron dari atom tetangga dapat "melompat" ke lubang ini, yang menciptakan kesan bahwa lubang tersebut bergerak dan membawa muatan positif. Arus listrik disebabkan oleh pergerakan lubang, di mana elektron dari atom yang berdekatan mengisi lubang tersebut, menciptakan lubang baru di posisi asalnya, dan begitu seterusnya. Seperti semikonduktor tipe-N, semikonduktor tipe-P juga digunakan dalam perangkat seperti dioda dan transistor. Dalam dioda PN, semikonduktor tipe-P digabungkan dengan semikonduktor tipe-N untuk menciptakan sambungan PN, yang mengontrol aliran arus dalam satu arah.

5.3 Sifat Semikonduktor

Sifat kelistrikan semikonduktor sangat dipengaruhi oleh konduktivitasnya, yang dapat diubah melalui berbagai faktor seperti suhu, medan listrik, atau penambahan impuritas. Tidak setiap material semikonduktor menunjukkan hubungan linier antara arus listrik dan tegangan listrik yang diterapkan. Arus yang mengalir melalui semikonduktor bisa menunjukkan hubungan linier, kuadrat, atau kubik tergantung pada nilai tegangan listrik yang diberikan. (Rohaeti, Hikmawati and Irzaman, 2010).

Berikut adalah beberapa sifat kelistrikan utama dari semikonduktor:

1. Konduktivitas

Konduktivitas semikonduktor dapat bervariasi dalam rentang yang luas tergantung pada jenis semikonduktor, suhu, dan pengotoran. Semikonduktor memiliki konduktivitas yang lebih rendah daripada logam tetapi lebih

tinggi daripada isolator, sehingga dapat dikatakan bahwa konduktivitas semikonduktor unik karena berada diantara konduktor (seperti logam) dan isolator (seperti kaca atau kayu). Sifat konduktivitas semikonduktor dapat bervariasi bergantung pada kondisi lingkungan, doping, dan suhu.

Pada suhu rendah, semikonduktor bertindak seperti isolator karena energi termal yang tersedia tidak cukup untuk memindahkan elektron dari pita valensi ke pita konduksi. Oleh karena itu, jumlah elektron bebas yang tersedia untuk menghantarkan arus sangat kecil. **Pada suhu tinggi**, saat suhu meningkat, energi termal yang diterima semikonduktor juga meningkat. Hal ini menyebabkan lebih banyak elektron terangkat dari pita valensi ke pita konduksi, meningkatkan jumlah pembawa muatan (elektron di pita konduksi dan lubang di pita valensi), sehingga meningkatkan konduktivitas. Oleh karena itu, semikonduktor menunjukkan sifat konduktor lebih baik pada suhu tinggi.

2. Pita Energi

Semikonduktor memiliki dua pita energi penting yaitu **pita valensi** dan **pita konduksi**. Pita valensi adalah tempat elektron terikat dalam atom, sedangkan pita konduksi adalah tempat elektron bebas dapat bergerak dan menghantarkan listrik. Konduktivitas semikonduktor bergantung pada energi celah pita antara pita valensi dan pita konduksi. Elektron harus menerima energi yang cukup (dari panas atau doping) untuk melompati celah ini dan berpindah ke pita konduksi. Pada semikonduktor intrinsik, pada suhu kamar, hanya sedikit elektron yang dapat melompat dari pita valensi ke pita konduksi. Pada semikonduktor ekstrinsik, doping mengurangi energi yang dibutuhkan untuk memindahkan elektron, sehingga meningkatkan konduktivitas.

3. Muatan Pembawa

Semikonduktor dapat memiliki dua jenis pembawa muatan: elektron negatif dan lubang positif. Pada semikonduktor tipe N, pembawa utama adalah elektron yang berlebihan, sementara pada semikonduktor tipe P, pembawa utama

adalah lubang. Perbandingan antara kedua jenis pembawa muatan ini akan mempengaruhi konduktivitas dan sifat-sifat lainnya dari semikonduktor.

4. Efek Hall

Efek Hall merujuk pada fenomena di mana adanya medan magnet yang tegak lurus terhadap arus listrik dalam semikonduktor akan menyebabkan terjadinya tegangan Hall. Penerapan efek Hall sangat luas, termasuk dalam pembuatan sensor dan perangkat pemrosesan sinyal.

5. Efek P-N Junction

P-N Junction adalah antarmuka antara lapisan tipe P dan lapisan tipe N dalam semikonduktor. Ini adalah dasar dari perangkat semikonduktor seperti diode, transistor, dan sirkuit terintegrasi. Diode memanfaatkan sifat p-n junction untuk mengendalikan arus listrik dalam satu arah, sementara transistor memanfaatkannya untuk menguatkan atau mengalihkan arus listrik.

6. Efek Termal

Konduktivitas termal semikonduktor bergantung pada jumlah pembawa muatan dan mobilitas mereka. Pada umumnya, semikonduktor memiliki konduktivitas termal yang lebih rendah daripada logam tetapi lebih tinggi daripada isolator.

7. Efek Fotolistrik

Beberapa semikonduktor memiliki sifat fotolistrik, yang berarti mereka dapat menghasilkan arus listrik ketika terkena cahaya. Ini adalah dasar dari teknologi seperti sel surya dan sensor Cahaya.

5.3.1 Arus Listrik

Faktor-faktor seperti suhu, jenis material, dan doping dapat memengaruhi sifat arus listrik dalam semikonduktor. Kuat arus listrik pada semikonduktor tidak dapat diprediksi secara tepat menggunakan hukum Ohm karena hukum tersebut hanya berlaku untuk rangkaian listrik dengan hubungan linier antara arus dan tegangan. Pada semikonduktor, hubungan antara arus listrik dan tegangan dapat bervariasi, bisa linear,

kuadrat, atau kubik tergantung pada nilai tegangan yang diterapkan. Selain itu, pada semikonduktor juga berlaku efek Hall. Efek Hall adalah fenomena fisika yang terjadi pada semikonduktor ketika ditempatkan dalam medan magnet tegak lurus dengan arus yang mengalir melaluinya. Fenomena ini pertama kali ditemukan oleh ilmuwan Amerika bernama Edwin Hall pada tahun 1879 (Yue Hao, Jin Feng, 2017).

Ketika medan magnet diterapkan tegak lurus terhadap arus listrik yang mengalir melalui semikonduktor, akan muncul sebuah tegangan samping yang dikenal sebagai "Tegangan Hall." Tegangan Hall ini muncul karena adanya defleksi terhadap pembawa muatan (biasanya elektron) oleh medan magnet yang menyebabkan terpisahnya muatan positif dan negatif ke sisi-sisi semikonduktor. Hal ini menciptakan sebuah medan listrik lateral yang menghasilkan tegangan samping.

Salah satu dari beberapa penerapan penting dari Efek Hall adalah dalam pengukuran intensitas medan magnet. Dengan memantau tegangan Hall, kita bisa mengetahui kekuatan dan orientasi medan magnet yang diberlakukan pada semikonduktor. Penerapan ini umumnya digunakan dalam beragam perangkat elektronik, termasuk sensor medan magnet dan perangkat pembaca kartu kredit.

5.3.2 Doping Semikonduktor

Doping semikonduktor adalah proses penambahan impuritas ke dalam semikonduktor untuk mengubah sifat-sifat elektriknya. Impuritas ini dapat berupa atom dari unsur lain yang menggantikan atom dalam struktur kristal semikonduktor, yang menyebabkan terjadinya pembentukan pembawa muatan tambahan.

Ada dua jenis doping utama dalam semikonduktor:

1. Doping Tipe N

Dalam doping tipe N, atom donor ditambahkan ke semikonduktor untuk menciptakan elektron tambahan sebagai pembawa muatan. Atom donor biasanya memiliki lebih banyak elektron di lapisan terluarnya daripada atom semikonduktor induk. Atom-atom ini, seperti fosforus atau

- arsenik, memberikan elektron tambahan yang membuat semikonduktor bersifat negatif (N).
2. Doping Tipe P
- Dalam doping tipe P, atom akseptor ditambahkan ke semikonduktor untuk menciptakan lubang tambahan sebagai pembawa muatan. Atom akseptor biasanya memiliki lebih sedikit elektron di lapisan terluarnya daripada atom semikonduktor induk. Atom-atom ini, seperti boron atau galium, menciptakan lubang yang bertindak sebagai pembawa muatan positif, sehingga membuat semikonduktor bersifat positif (P). Doping semikonduktor penting dalam pembuatan perangkat semikonduktor, seperti transistor dan diode, karena memungkinkan kontrol yang lebih besar terhadap konduktivitas dan karakteristik elektrik perangkat. Dengan mengontrol jumlah dan jenis impuritas yang ditambahkan ke semikonduktor, para insinyur dapat merancang perangkat yang sesuai dengan kebutuhan spesifik aplikasi elektronik.

5.4 Bahan-Bahan Semikonduktor

Dalam dunia teknologi modern saat ini, telah ditemukan berbagai jenis bahan semikonduktor yang umum digunakan dan akan dijelaskan lebih terperinci pada bagian ini.

5.4.1 Silikon

Silikon merupakan jenis material semikonduktor yang banyak digunakan dalam produksi berbagai jenis perangkat elektronik. Silikon memiliki struktur kristal yang teratur dan atom silikon diatur dalam kisi kristal dengan atom silikon dan atom boron atau fosfor. Dalam tabel periodik unsur kimia silikon dituliskan dengan simbol Si dengan nomor atom 14, memiliki sifat paramagnetik ketika membentuk senyawa. Sebagai metaloid tetravalensi, silikon cenderung kurang reaktif dibandingkan dengan karbon, tetapi lebih reaktif daripada germanium.

Meskipun silikon adalah unsur dengan massa terbanyak kedelapan di alam semesta, keberadaannya dalam bentuk murni sangatlah langka. Silikon umumnya tersebar luas dalam debu,

pasir, planetoid, dan planet dalam berbagai bentuk seperti silikon dioksida atau silikat. Lebih dari 90% kerak bumi terdiri dari mineral silikat, sehingga silikon menjadi unsur kedua terbanyak di kerak bumi (sekitar 28% massa) setelah oksigen. (Manasreh, 2018)

Silikon biasanya juga dimanfaatkan dalam pembuatan serat optik. Selain itu juga digunakan dalam prosedur bedah plastik untuk pengisian area tubuh pasien menggunakan bahan silikon. Silikon dalam bentuk mineral dikenal pula sebagai zat kersik.

Kebanyakan silikon dimanfaatkan secara komersial tanpa harus dipisahkan terlebih dahulu, kadang-kadang dengan sedikit proses dari senyawanya di alam. Contohnya adalah penggunaan langsung batuan, pasir silika, dan tanah liat dalam konstruksi bangunan. Silika juga umum ditemukan dalam keramik. Banyak senyawa silikon modern, seperti silikon karbida, digunakan dalam pembuatan keramik yang memiliki daya tahan tinggi. Selain itu, silikon juga digunakan sebagai monomer dalam produksi polimer sintetik silikon.

Peran unsur silikon dalam ekonomi modern sangat signifikan. Meskipun sebagian besar silikon digunakan dalam proses seperti penyulingan baja, pengecoran aluminium, dan berbagai proses industri kimia lainnya, sebagian lainnya dimanfaatkan sebagai bahan semikonduktor dalam perangkat elektronik. Karena penggunaannya yang luas dalam pembuatan sirkuit terintegrasi, yang merupakan dasar dari teknologi komputer modern, maka kelangsungan dan kemajuan teknologi saat ini sangat bergantung pada silikon (Agus Santoso, Lely Susita RM, 2000).

5.4.2 Germanium

Germanium, dengan lambang Ge dan nomor atom 32, adalah suatu unsur kimia yang memiliki sifat berkilau, keras namun rapuh, serta berwarna putih keabu-abuan, menyerupai silikon. Sebagai metaloid, germanium tergolong dalam golongan karbon dan secara kimiawi mirip dengan unsur-unsur tetangganya dalam golongannya, yaitu silikon dan timah. Seperti

halnya silikon, germanium secara alami berinteraksi dan membentuk kompleks dengan oksigen di lingkungan alaminya.

Karena keberadaannya jarang dalam konsentrasi yang tinggi, penemuan germanium terjadi relatif belakangan dalam sejarah penemuan unsur kimia. Germanium menempati posisi ke-50 dalam kelimpahan unsur di kerak bumi. Pada tahun 1869, Dimitri Mendeleev mengusulkan keberadaannya dan beberapa sifatnya dari letaknya di tabel periodik yang ia buat, dan ia merujuk pada unsur ini sebagai ekasilikon. Pada tahun 1886, Clemens Winkler di Universitas Freiberg menemukan unsur baru ini bersama dengan perak dan belerang dalam mineral argirodit. Winkler memberi nama unsur ini berdasarkan nama negaranya, Jerman. Germanium umumnya ditambang dari sfalerit, bijih utama seng, meskipun juga bisa diperoleh secara komersial dari bijih perak, timbal, dan tembaga.

Germanium dalam bentuk elemen digunakan sebagai semikonduktor dalam transistor dan berbagai perangkat elektronik lainnya. Pada masa lalu, era awal elektronika semikonduktor sepenuhnya bergantung pada penggunaan germanium. Saat ini, penggunaan utama germanium adalah dalam sistem serat optik, optika inframerah, aplikasi sel surya, dan dioda pemancar cahaya (LED). Selain itu, senyawa germanium juga dimanfaatkan sebagai katalis dalam proses polimerisasi dan baru-baru ini telah digunakan dalam pembuatan kawat nano. Germanium membentuk beragam senyawa organogermanium, seperti tetraetilgermanium, yang memiliki aplikasi penting dalam kimia organologam. Dikarenakan peranannya yang vital dalam teknologi modern, germanium dianggap sebagai salah satu unsur kritis (Agus Santoso, Lely Susita RM, 2000).

5.4.3 Arsenida Gallium

Ardenida Gallium (GaAs) adalah semikonduktor kompak yang memiliki mobilitas elektron yang tinggi, sehingga sering digunakan dalam perangkat tingkat frekuensi tinggi seperti dioda dan transistor mikro gelombang mikro.

5.4.4 Indium Phosphide

Indium Phosphide (InP) adalah semikonduktor yang sangat berguna untuk aplikasi optoelektronik dan fotovoltaik, karena memiliki karakteristik optik yang bagus dan efisiensi tinggi dalam menghasilkan energi listrik dari cahaya matahari.

5.4.5 Kadmium Telurida

Kadmium Telurida (CdTe) adalah semikonduktor yang digunakan dalam sel surya fotovoltaik karena memiliki efisiensi konversi energi yang tinggi dan biaya produksi yang relatif rendah.

5.4.6 Telurida Timah

Telurida Timah (SnTe) adalah semikonduktor termoelektrik yang dapat digunakan untuk menghasilkan listrik dari perbedaan suhu, dan juga digunakan dalam beberapa aplikasi optoelektronik.

5.4.7 Selenium

Selenium adalah semikonduktor alami yang sering digunakan dalam sensor dan sel fotovoltaik atau fotodioda. Selenium menjadi lebih konduktif ketika terkena cahaya sehingga banyak digunakan pada sistem atau perangkat yang membutuhkan respon terhadap cahaya.

DAFTAR PUSTAKA

- Agus Santoso, Lely Susita RM, T.S. (2000) 'Pembuatan Lapisan Tipis Germanium Terhidrogenasi dan Karakterisasinya', 2000.
- Manasreh, O. (2018) *Heterojunctions and Nanostructures, Heterojunctions and Nanostructures*. doi:10.5772/intechopen.71162.
- Rohaeti, E., Hikmawati and Irzaman (2010) 'Production of Semiconductor Materials Silicon From', *Materials Science and Technology*, 1(February 2016), pp. 2-9.
- Schroder, D.K. (2006) *Semiconductor Material and Device Characterization*. 3rd edn. Canada: John Wiley & Sons.
- Yue Hao, Jin Feng, J.C. (2017) *Nitride wide bandgap semiconductor material*. New York.

BAB 6

ARUS TEGANGAN PADA DIODA

Oleh Prasepvianto Estu Broto

6.1 Pendahuluan

Dioda adalah perangkat semikonduktor dua kutub yang berfungsi sebagai komponen satu arah bagi aliran arus listrik. Dioda mengizinkan arus mengalir hanya ketika tegangan anoda lebih positif daripada tegangan katoda, suatu kondisi yang dikenal sebagai bias maju. Dalam keadaan ini, arus listrik dapat melewati perangkat. Namun, ketika polaritasnya dibalik, di mana tegangan anoda lebih negatif dibandingkan tegangan katoda, yang disebut bias terbalik, dioda akan menghalangi arus. Sifat dioda yang hanya mengalirkan arus dalam satu arah ini menjadikannya komponen penting dalam banyak aplikasi elektronik. Gambar 6.1 menunjukkan simbol dioda beserta polaritasnya, dimana anoda merupakan kutup positif dan katoda merupakan kutup negatif.



Gambar 6.1. Simbol Dioda.
(Scherz & Monk, 2016)

Dioda sering digunakan dalam rangkaian penyearah, yang berfungsi mengubah arus AC (bolak-balik) menjadi arus DC (searah), misalnya pada catu daya AC/DC. Dalam konfigurasi ini, dioda memblokir setengah siklus arus AC, sehingga hanya arus DC yang tersisa. Dioda juga digunakan dalam berbagai rangkaian lain, seperti pengganda tegangan, yang mampu meningkatkan tegangan keluaran melebihi tegangan masukan; pemindah tegangan, yang mengubah level tegangan sinyal;

pembatas tegangan, yang membatasi tegangan pada nilai tertentu; serta pengatur tegangan, yang menjaga agar tegangan keluaran tetap stabil meskipun terjadi fluktuasi pada tegangan masukan (Pary et al., 2023).

6.2 Jenis Dioda

Dioda merupakan komponen elektronik penting yang memiliki berbagai jenis, masing-masing dirancang untuk aplikasi spesifik. Beberapa jenis dioda yang paling umum adalah dioda penyearah, dioda *switching*, dioda sinyal, dioda *Schottky*, dioda germanium dan dioda zener. Setiap jenis dioda memiliki karakteristik unik yang memungkinkannya berfungsi lebih baik dalam aplikasi tertentu.

6.2.1 Dioda Penyearah

Dioda penyearah dirancang untuk menangani arus tinggi dan tegangan tinggi, yang umumnya digunakan dalam rangkaian catu daya dan penyearah tegangan. Dioda ini memiliki kemampuan untuk menyearahkan arus AC menjadi arus DC, yang sangat penting dalam berbagai perangkat elektronik yang membutuhkan arus searah untuk beroperasi. Penyearahan dilakukan dengan menghantarkan arus pada arah maju dan menghambat arus pada arah mundur.

6.2.2 Dioda *Switching*

Dioda *switching* dirancang untuk operasi kecepatan tinggi dengan kapasitansi internal yang rendah, sehingga dioda ini dapat beralih dari kondisi penghantar ke kondisi penghambat dengan sangat cepat. Aplikasi utama dioda *switching* meliputi rangkaian digital yang memerlukan respons cepat dan minimalisasi waktu tunda. Pada suhu yang lebih tinggi, dioda ini lebih efisien dalam mengurangi kerugian sinyal dibandingkan dengan dioda penyearah biasa.

6.2.3 Dioda *Schottky*

Dioda *Schottky* adalah jenis dioda yang terkenal karena kapasitansi sambungan yang rendah dan kecepatan *switching*

yang tinggi, berkat struktur sambungan logam-semikonduktornya. Salah satu keunggulan utama dari dioda *Schottky* adalah tegangan ambang yang lebih rendah, biasanya sekitar 0,15–0,4 V, yang lebih rendah dibandingkan dengan dioda *junction* PN yang memiliki tegangan ambang sekitar 0,7 V. Ini membuat dioda *Schottky* ideal untuk aplikasi tegangan rendah seperti penyearah sinyal pada rangkaian RF, catu daya DC/DC kecil, konverter, serta rangkaian proteksi. Selain itu, karena kepadatan arusnya yang tinggi dan penurunan tegangan yang rendah, dioda *Schottky* menghasilkan lebih sedikit panas dan membutuhkan *heat sink* yang lebih kecil, membuatnya efisien dalam aplikasi catu daya.

6.2.4 Dioda Germanium

Dioda germanium memiliki tegangan ambang yang sangat rendah, sekitar 0,2 V, yang menjadikannya cocok untuk deteksi sinyal RF dan rangkaian digital dengan level rendah. Namun, dioda ini memiliki kelemahan utama dalam hal ketahanan terhadap suhu. Ketika suhu meningkat, dioda germanium cenderung memiliki kebocoran arus yang lebih besar dan kemampuan penyearahan yang lebih rendah dibandingkan dengan dioda silikon. Akibatnya, dioda germanium lebih sering digunakan dalam aplikasi yang memerlukan tegangan rendah tetapi tidak ideal untuk penyearah arus tinggi. Dalam banyak kasus, dioda *Schottky* lebih disukai karena memiliki karakteristik yang lebih unggul dalam aplikasi tegangan rendah dan arus tinggi.

6.2.5 Dioda Zener

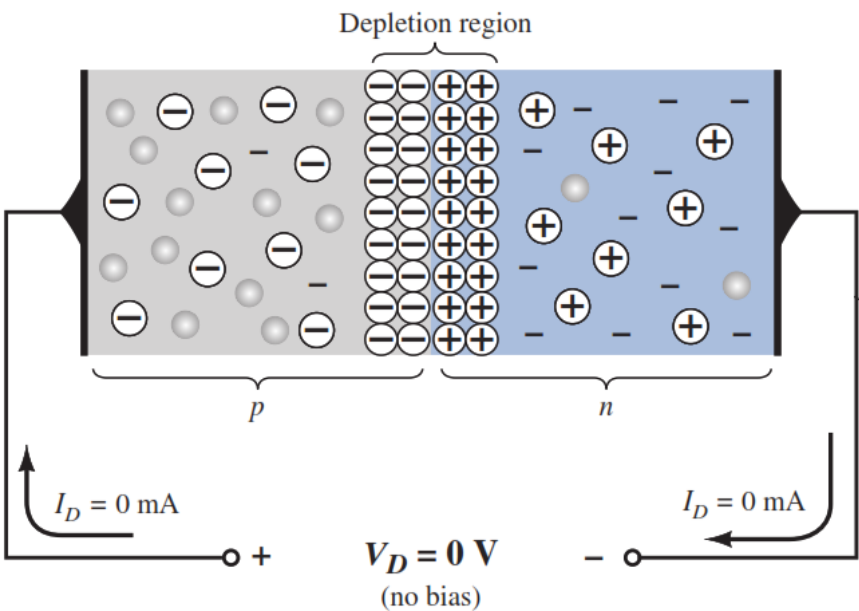
Dioda ini dirancang untuk bekerja dalam bias terbalik dan dapat mempertahankan tegangan konstan meskipun terjadi perubahan pada arus. Dioda Zener banyak digunakan dalam rangkaian pengatur tegangan.

6.3 Dioda P-N *Juntion*

Dioda *junction* PN adalah salah satu komponen elektronik dasar yang terbuat dari material semikonduktor,

yaitu gabungan antara silikon tipe-P dan silikon tipe-N. Penggabungan dua jenis material ini membentuk sambungan PN (*junction*), yang memiliki sifat unik dalam menghantarkan arus listrik. Dioda ini dikenal sebagai penyearah karena memungkinkan aliran arus hanya dalam satu arah, yaitu dari anoda (sisi P) ke katoda (sisi N), dan memblokir arus dalam arah sebaliknya (Malvino & Bates, 2016).

Dioda PN terdiri dari dua bagian utama silikon tipe-P dan tipe-N. Silikon tipe-P memiliki *hole* (lubang) sebagai pembawa muatan mayoritas. Lubang ini adalah kekosongan elektron dalam struktur atom, yang bertindak sebagai muatan positif. Silikon tipe-N memiliki elektron bebas sebagai pembawa muatan mayoritas, yang bertindak sebagai muatan negatif. Pada sambungan antara kedua tipe silikon tersebut, terjadi interaksi muatan yang unik, di mana elektron dari sisi N dan *hole* dari sisi P saling berdekatan, tetapi tidak bergerak secara langsung satu sama lain. Daerah ini disebut *depletion region*, yang membentuk penghalang potensial.



Gambar 6.2. Dioda P-N *Junction*.
(Boylestad & Nashelsky, 2014)

Mayoritas pembawa muatan (elektron) pada material tipe-n harus mengatasi gaya tarik lapisan ion positif di dalam material tipe-n dan perisai ion negatif di material tipe-p untuk dapat berpindah ke wilayah di luar daerah deplesi pada material tipe-p. Namun, jumlah pembawa muatan mayoritas pada material tipe-n sangat besar, sehingga meskipun ada hambatan, akan selalu ada sejumlah kecil pembawa muatan mayoritas yang memiliki energi kinetik cukup besar untuk melewati daerah deplesi dan bergerak ke dalam material tipe-p. Prinsip yang sama berlaku untuk pembawa muatan mayoritas (lubang) pada material tipe-p. Gambar 6.2 merupakan distribusi muatan internal dari diode PN Junction.

6.4 Prinsip Kerja Dioda

Dioda bekerja sebagai gerbang satu arah karena interaksi antara muatan negatif (elektron) pada sisi tipe-N dan muatan positif (*hole* atau lubang) pada sisi tipe-P. Ketika tegangan eksternal diberikan pada dioda, muatan-muatan ini mulai berinteraksi, memungkinkan arus hanya mengalir dalam satu arah. Silikon tipe-N menghantarkan arus melalui elektron, sementara silikon tipe-P menghantarkan arus melalui *hole*. Ketika dioda diberi tegangan maju (bias maju), muatan dari kedua sisi akan berkombinasi di daerah *junction*, memungkinkan arus untuk mengalir. Dalam kondisi bias maju, tegangan eksternal yang diberikan mengurangi lebar *depletion region*, sehingga memungkinkan elektron dan *hole* untuk bergerak melewati pertemuan PN dan menghasilkan arus listrik. Sedangkan dalam kondisi bias mundur, *depletion region* semakin melebar, sehingga arus tidak dapat mengalir (Boylestad & Nashelsky, 2014).

Namun, dioda tidak akan langsung mengalirkan arus. Diperlukan tegangan minimum untuk mengaktifkan dioda agar bisa bekerja dalam mode bias maju. Untuk dioda berbahan silikon, tegangan minimum ini biasanya sekitar 0,6 V sampai 0,8 V. Meskipun hal ini tampak sebagai kelemahan karena adanya tegangan yang dibutuhkan untuk aktivasi, sebenarnya ini sangat bermanfaat. Tegangan minimum ini memungkinkan dioda

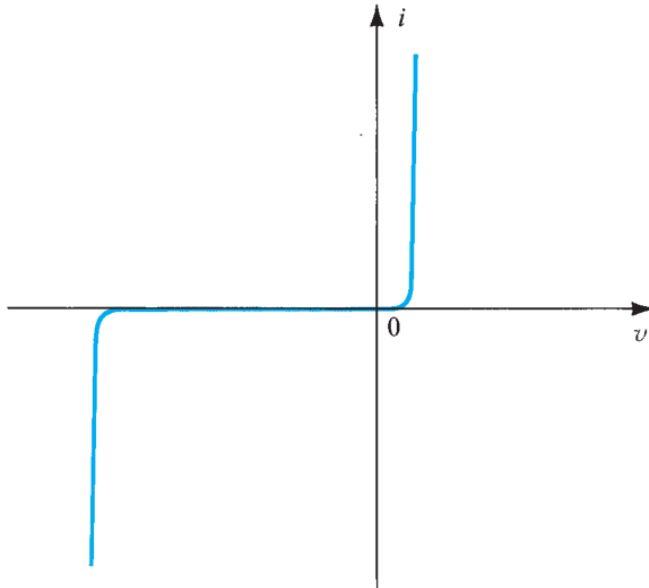
berfungsi sebagai saklar yang sensitif terhadap tegangan, yang hanya memungkinkan arus mengalir setelah tegangan ambang tersebut tercapai. Sebagai perbandingan, dioda berbahan germanium hanya memerlukan tegangan minimum sekitar 0,2 V sampai 0,3 V untuk beroperasi dalam bias maju, menjadikannya lebih sensitif namun dengan kekurangan dalam hal kemampuan penanganan panas.

Salah satu keunggulan dioda silikon dibandingkan dioda germanium adalah kemampuannya untuk membuang panas dengan lebih baik. Dioda silikon dapat beroperasi dalam suhu yang lebih tinggi, menjadikannya lebih andal dalam aplikasi yang membutuhkan disipasi panas yang tinggi. Dioda germanium, di sisi lain, memiliki batas suhu sekitar 85°C, di mana struktur kristalnya mulai terpengaruh oleh panas, yang menyebabkan ketidakstabilan operasional dan bahkan kegagalan fungsi dioda.

6.5 Karakteristik Arus dan Tegangan Dioda

Karakteristik arus dan tegangan pada dioda menggambarkan hubungan antara arus yang mengalir melalui dioda dan tegangan yang diberikan padanya. Hubungan ini bersifat non-linear dan sangat dipengaruhi oleh tipe bias yang diterapkan pada dioda, yaitu bias maju (*forward bias*) dan bias mundur (*reverse bias*).

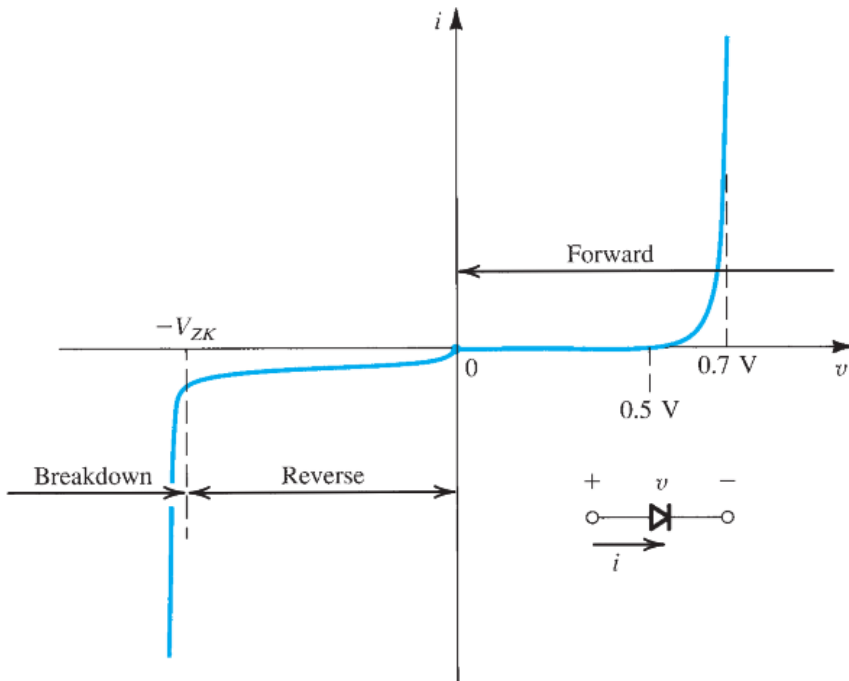
Pada gambar 9.3, diperlihatkan grafik karakteristik I-V untuk dioda berbasis sambungan silikon. Grafik ini menggambarkan bagaimana dioda berperilaku ketika diberikan tegangan maju dan mundur. Pada tegangan bias maju, dioda mulai menghantarkan arus signifikan setelah melewati tegangan ambang (0,6V-0,7V untuk dioda silikon). Setelah melewati tegangan ambang, arus akan meningkat tajam seiring peningkatan tegangan.



Gambar 6.3. Grafik karakteristi arus dan tegangan pada diode silikon P-N *Juction*.
(Sedra & Smith, 2015)

Sebaliknya, pada bias mundur, hampir tidak ada arus yang mengalir hingga tegangan breakdown tercapai, di mana arus balik meningkat drastis. Tegangan breakdown ini biasanya lebih tinggi daripada tegangan bias maju dan bisa bervariasi tergantung jenis dioda.

Pada gambar 6.4, karakteristik I-V dioda diperlihatkan kembali dengan beberapa bagian grafik yang skala tegangannya diperbesar atau diperkecil untuk menunjukkan detail-detail penting. Pada titik nol (asal), grafik ini terlihat memiliki diskontinuitas yang sebenarnya hanya efek dari perubahan skala grafik tersebut.



Gambar 6.4. Grafik hubungan arus dan tegangan pada diode silikon P-N *Junction*.
(Sedra & Smith, 2015)

Pemahaman terhadap karakteristik I-V dioda sangat penting dalam perancangan dan analisis rangkaian elektronik yang melibatkan dioda. Karakteristik ini membantu menentukan kapan dioda akan menghantarkan arus, berapa besar arus yang mengalir dalam kondisi bias maju atau mundur, serta bagaimana dioda dapat digunakan untuk fungsi penyearah, proteksi tegangan, atau stabilisasi tegangan dalam rangkaian yang lebih kompleks. Karakteristik ini juga membantu dalam pemilihan jenis dioda yang sesuai dengan aplikasi, seperti dioda silikon yang umum digunakan karena kestabilannya, atau dioda zener yang dimanfaatkan untuk regulasi tegangan (Sedra & Smith, 2015).

6.5.1 Dioda Bias Maju

Dalam kondisi bias maju, tegangan diberikan sedemikian rupa sehingga anoda memiliki potensial yang lebih tinggi daripada katoda. Pada tegangan rendah, dioda tetap dalam kondisi tidak konduktif karena *depletion region* belum cukup kecil untuk memungkinkan arus mengalir. Setelah tegangan maju mencapai nilai tertentu yang disebut sebagai tegangan ambang (*threshold voltage*), biasanya sekitar 0,7V untuk dioda silikon dan 0,3V untuk dioda germanium, dioda mulai mengalirkan arus dengan cepat. Setelah melewati tegangan ambang ini, arus meningkat secara eksponensial seiring dengan peningkatan tegangan.

Karakteristik arus-tegangan dioda dalam bias maju dapat dijelaskan dengan persamaan 6.1 berikut ini (Sedra & Smith, 2015):

$$I = I_s \left(e^{\frac{V}{nV_T}} - 1 \right) \dots\dots\dots (6.1)$$

Dimana:

- I adalah arus yang mengalir melalui dioda,
- I_s adalah arus saturasi balik (*reverse saturation current*),
- V adalah tegangan yang diberikan pada dioda,
- n adalah faktor idealitas (biasanya antara 1 dan 2),
- V_T adalah tegangan termal, yang besarnya tergantung pada suhu (sekitar 26mV pada suhu kamar).

6.5.2 Dioda Bias Mundur

Dioda dalam kondisi bias mundur terjadi ketika tegangan yang diberikan pada dioda membuat anoda lebih negatif dibandingkan dengan katoda. Dalam situasi ini, dioda tidak menghantarkan arus seperti pada bias maju. Tegangan yang diberikan dalam arah berlawanan ini memperlebar daerah *depletion* di sekitar sambungan PN, sehingga arus listrik yang mengalir dalam dioda menjadi sangat kecil, umumnya disebut arus saturasi balik.

Pada bias mundur, arus yang mengalir biasanya sangat kecil dan dapat dianggap konstan, meskipun sedikit meningkat

seiring bertambahnya tegangan mundur. Arus ini disebut sebagai arus saturasi balik (*reverse saturation current*), yang dilambangkan dengan I_s . Arus saturasi balik ini merupakan karakteristik yang muncul karena adanya pergerakan minoritas muatan yang sangat kecil dari tipe-N ke tipe-P, dan sebaliknya.

Meski secara teoritis arus ini diprediksi konstan dan sangat kecil, pada dioda di dunia nyata, arus balik yang terjadi sering kali lebih besar daripada arus saturasi balik ideal. Sebagai contoh, dioda sinyal kecil dengan arus saturasi balik (I_s) sekitar 10^{-14} A dapat menunjukkan arus balik sekitar 1 nA (10^{-9} A), yang jauh lebih besar dari nilai idealnya. Arus bocor juga turut berkontribusi terhadap peningkatan arus balik pada dioda bias mundur ini. Arus bocor ini sebagian besar disebabkan oleh kebocoran pada sambungan PN dan proporsional terhadap luas daerah sambungan.

Selain itu, arus saturasi balik dioda dipengaruhi oleh temperatur. Semakin tinggi temperatur, semakin besar arus yang mengalir. Untuk dioda, arus saturasi balik berlipat ganda setiap kenaikan 5°C . Namun, untuk arus balik atau *leakage current*, kenaikan arus terjadi setiap 10°C kenaikan temperatur, yang menjadikannya lebih sensitif terhadap perubahan suhu dibandingkan arus saturasi balik.

Perlu diperhatikan bahwa meskipun arus balik pada dioda bias mundur sangat kecil, hal ini tidak terlalu jelas terlihat pada karakteristik arus-tegangan dioda, karena skala arus yang sangat kecil tersebut sering kali tidak signifikan dalam skema umum kinerja dioda pada kondisi bias mundur.

6.5.3 Daerah Breakdown pada Dioda

Daerah *breakdown* adalah salah satu wilayah operasi dioda yang terjadi ketika tegangan balik yang diterapkan melebihi nilai ambang tertentu, yang disebut tegangan *breakdown*. Tegangan ini spesifik untuk setiap jenis dioda dan ditandai dengan munculnya titik "*knee*" (tekukan) pada grafik karakteristik arus-tegangan (*i-v*) dioda. Pada titik ini, tegangan *breakdown* sering dilambangkan dengan V_{ZK} , di mana subskrip Z

mengacu pada dioda zener, dan K menunjukkan titik *knee* tersebut.

Ketika dioda memasuki daerah *breakdown*, arus balik meningkat dengan sangat cepat meskipun peningkatan tegangan balik tidak terlalu besar. Artinya, begitu tegangan *breakdown* tercapai, arus akan melonjak tajam, tetapi tegangan di sekitar dioda akan tetap hampir konstan. Hal ini terlihat dari grafik karakteristik *i-v* dioda di mana kurva di daerah *breakdown* hampir membentuk garis vertikal.

Penting untuk dicatat bahwa *breakdown* pada dioda tidak selalu merusak. Selama daya yang dihasilkan oleh arus balik ini dapat dibatasi oleh rangkaian eksternal hingga tingkat yang aman, dioda dapat beroperasi dengan baik. Daya maksimum yang dapat ditoleransi oleh dioda biasanya dicantumkan pada lembar data (*datasheet*) komponen tersebut. Oleh karena itu, dalam penggunaan dioda pada daerah *breakdown*, perlu ada batasan arus balik agar tetap dalam batas disipasi daya yang diizinkan.

Karakteristik dioda di daerah *breakdown* ini memungkinkan dioda digunakan untuk regulasi tegangan. Karena arus yang meningkat pesat hanya menyebabkan sedikit perubahan pada tegangan dioda, ini menjadikannya stabil dalam menjaga tegangan di titik tertentu, yang penting dalam aplikasi seperti stabilisator tegangan.

6.6 Aplikasi Dioda

Dioda PN *Junction* memiliki peran penting dalam berbagai aplikasi elektronik karena karakteristiknya yang khas, terutama kemampuan untuk mengendalikan arus listrik dalam satu arah. Berdasarkan karakteristik arus-tegangan (*I-V*) yang telah dijelaskan sebelumnya, berikut adalah beberapa aplikasi utama dari dioda PN *Junction*:

6.6.1 Penyearah Gelombang Setengah dan Gelombang Penuh

Dioda PN *Junction* paling sering digunakan dalam rangkaian penyearah untuk mengubah arus bolak-balik (AC) menjadi arus searah (DC). Dalam penyearah gelombang

setengah, dioda menghantarkan arus hanya selama setengah siklus positif dari sinyal AC, sedangkan dalam penyearah gelombang penuh, beberapa dioda digunakan untuk memanfaatkan seluruh siklus positif dan negatif dari sinyal AC. Aplikasi ini sangat umum pada catu daya untuk perangkat elektronik yang memerlukan arus DC.

6.6.2 Proteksi Arus Balik

Karakteristik bias mundur dioda PN *Junction* membuatnya ideal untuk melindungi rangkaian elektronik dari arus balik yang tidak diinginkan. Dalam rangkaian yang sensitif terhadap polaritas, dioda dapat dipasang secara seri untuk memastikan bahwa arus hanya dapat mengalir dalam arah yang diinginkan, melindungi komponen dari kerusakan.

6.6.3 Rangkaian Pengaman Tegangan (*Voltage Clamping*)

Dioda PN *Junction* dapat digunakan dalam rangkaian *clamping* untuk membatasi tegangan puncak yang dapat melewati suatu titik. Dalam aplikasi ini, dioda akan mulai menghantarkan arus ketika tegangan melebihi ambang tertentu, menjaga tegangan dalam batas aman dan melindungi komponen sensitif dalam rangkaian elektronik.

6.6.4 Pemancar Cahaya (LED)

Walaupun LED adalah bentuk khusus dari dioda PN *Junction*, prinsip kerjanya masih berdasarkan karakteristik *forward bias* dari dioda tersebut. Ketika dioda dalam kondisi bias maju, elektron dan lubang pada sambungan PN berekombinasi, menghasilkan emisi foton yang terlihat sebagai cahaya. Aplikasi ini mencakup indikator LED pada perangkat elektronik, pencahayaan, dan tampilan layar.

6.6.5 Demodulator Sinyal Radio

Dioda PN *Junction* digunakan sebagai demodulator dalam penerima sinyal radio untuk memisahkan sinyal informasi dari sinyal pembawa frekuensi tinggi. Dengan sifat arus satu arah dari dioda, sinyal AC frekuensi tinggi dapat diubah menjadi

sinyal DC yang lebih stabil, yang kemudian diolah menjadi sinyal audio.

6.6.6 Rangkaian Pemotong (Clipper) dan Pembatas (Limiter)

Dioda PN *Junction* sering digunakan dalam rangkaian *clipper* dan *limiter* untuk memotong bagian sinyal yang melebihi tegangan tertentu. Dalam aplikasi ini, dioda membatasi amplitudo sinyal pada level tertentu, baik di puncak positif maupun negatif, sehingga mencegah sinyal menjadi terlalu besar dan merusak rangkaian.

6.6.7 Rangkaian Pengganda Tegangan (*Voltage Multiplier*)

Dalam rangkaian pengganda tegangan, dioda PN Junction berfungsi untuk mengarahkan arus dalam satu arah dan bekerja sama dengan kapasitor untuk menumpuk tegangan. Ini menghasilkan tegangan keluaran yang lebih tinggi daripada tegangan input, dan sering digunakan dalam perangkat yang memerlukan tegangan tinggi, seperti televisi dan sistem penyulutan listrik..

DAFTAR PUSTAKA

- Boylestad, R. L., & Nashelsky, L. (2014). *Electronic Devices and Circuit Theory* (11th ed., Issue 112). Pearson Education Limited.
- Malvino, A., & Bates, D. (2016). *Electronic principles* (8th ed.). McGraw-Hill Education.
<https://doi.org/10.4324/9780080560892-18>
- Pary, T. D. J., Latununuwe, A., Manuhutu, F., Kesaulya, N., & Huliselan, E. K. (2023). Penentuan Resistansi Dinamis Pada Dioda Silikon 1n4002 Melalui Pengukuran Karakteristik Arus Terhadap Tegangan (I-V) Berbasis Arduino Mega 2560. *PHYSIKOS Journal of Physics and Physics Education*, 2(1), 29–36.
<https://doi.org/10.30598/physikos.2.1.9336>
- Scherz, P., & Monk, S. (2016). *Practical Electronics for Inventors* (4th ed.). McGraw-Hill Education.
- Sedra, A. S., & Smith, K. C. (2015). *Microelectronic Circuits* (7th ed.). Oxford University Press.

BAB 7

SIFAT BAHAN PADA TRANSISTOR EFEK MEDAN (FET)

Oleh Fitri Puspasari

7.1 Pendahuluan

Transistor Efek Medan (FET) adalah salah satu komponen elektronika yang banyak digunakan dalam berbagai aplikasi, mulai dari rangkaian digital hingga sistem komunikasi. FET berbeda dengan transistor bipolar junction (BJT) dalam cara kerjanya dan memiliki beberapa keunggulan, seperti impedansi input yang tinggi dan konsumsi daya yang rendah. Sifat bahan semikonduktor yang digunakan dalam FET sangat mempengaruhi kinerjanya. Bab ini akan membahas sifat bahan pada FET, termasuk karakteristik semikonduktor, tipe-tipe bahan yang digunakan, dan pengaruhnya terhadap performa FET.

7.2 Pengertian FE

Field-Effect Transistors (FETs) adalah komponen semikonduktor yang berfungsi sebagai saklar atau penguat yang dikendalikan oleh medan listrik. FET memainkan peran penting dalam rangkaian elektronik modern karena berbagai keunggulan yang dimilikinya, termasuk impedansi input yang tinggi dan efisiensi daya yang baik (Sedra and Smith, 2019).

FET adalah jenis transistor yang mengontrol aliran arus listrik dengan menggunakan medan listrik. FET adalah perangkat unipolar, yang berarti operasinya didasarkan pada aliran satu jenis pembawa muatan (elektron atau hole) (Neamen, 2011). Berbeda dengan transistor bipolar yang mengandalkan arus basis untuk mengontrol arus kolektor, FET mengandalkan tegangan yang diterapkan pada gerbang (gate)

untuk mengendalikan aliran arus antara sumber (*source*) dan saluran (*drain*) (Millman and Grabel, 1987).

7.2.1 Prinsip Kerja FET

FET mengendalikan aliran arus listrik antara dua terminal, yaitu sumber (*source*) dan saluran (*drain*), dengan menggunakan tegangan yang diterapkan pada terminal gerbang (*gate*). Tegangan gerbang menciptakan medan listrik yang mempengaruhi konduktivitas saluran, sehingga mengendalikan aliran arus. Arus yang mengalir dari sumber ke saluran bergantung pada tegangan gerbang-sumber (VGS). Ketika VGS diubah, medan listrik yang dihasilkan mengubah konduktivitas saluran, mengatur aliran arus antara sumber dan saluran.

7.2.2 Karakteristik FET

Millman dan Grabel (1987) membahas berbagai karakteristik penting dari FET, diantaranya:

1. Impedansi Input Tinggi
FET memiliki impedansi input yang sangat tinggi, membuatnya ideal untuk aplikasi yang memerlukan penguatan sinyal lemah tanpa menarik banyak arus dari sumber sinyal.
2. Linearitas
FET umumnya memiliki karakteristik linearitas yang lebih baik dibandingkan dengan BJT, menjadikannya pilihan yang baik untuk aplikasi penguat linier.
3. Kebisingan Rendah
FET menghasilkan tingkat kebisingan yang lebih rendah dibandingkan dengan BJT, terutama pada frekuensi tinggi.

7.2.3 Jenis-Jenis FET

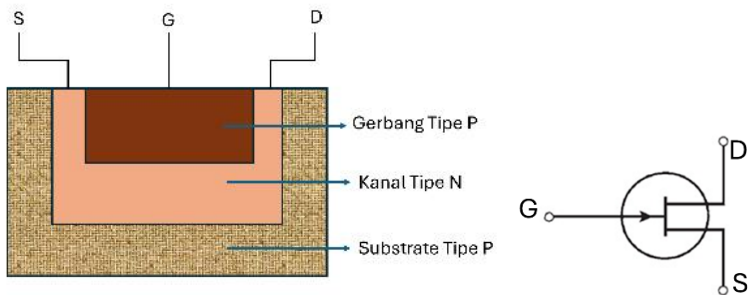
Secara umum, *Field Effect Transistor* (FET) terbagi menjadi dua jenis utama, yaitu JFET (*Junction Field Effect Transistor*) dan MOSFET (*Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor*).

1. Junction FET (JFET):
JFET adalah tipe FET di mana gerbang (*gate*) membentuk persimpangan p-n dengan saluran (*channel*).

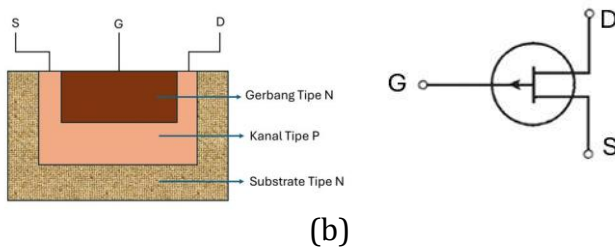
JFET terdiri dari saluran semikonduktor yang diapit oleh dua junction p-n pada kedua sisi. Cara kerja JFET dapat diibaratkan seperti cara kerja keran air yang mengontrol aliran air melalui pipa. Elektron atau hole bergerak dari Terminal Source (S) ke Terminal Drain (D), di mana arus yang keluar dari Drain (I_D) sama dengan arus yang masuk melalui Source (I_S). Prinsip ini serupa dengan aliran air dalam pipa rumah, dengan asumsi tidak ada kebocoran.

Kuatnya arus listrik dipengaruhi oleh tegangan yang diterapkan pada Terminal Gate (G). Perubahan tegangan pada Terminal Gate (V_G) akan mengakibatkan perubahan arus listrik yang melewati saluran IS atau ID. Bahkan sedikit perubahan pada tegangan bisa berdampak besar pada arus yang mengalir melalui JFET. Hal ini menyebabkan penguatan tegangan dalam sebuah rangkaian elektronik.

JFET, atau Junction FET, terdiri dari dua jenis yang berbeda berdasarkan bahan semikonduktor yang digunakan dalam kanalnya. JFET tipe N-Channel menggunakan semikonduktor tipe N, sementara P-Channel JFET menggunakan semikonduktor tipe P. Berikut di bawah ini adalah gambar struktur dasar JFET jenis Kanal-N dan Kanal-P.



(a)



Gambar 7.1. Struktur dan simbol JFET Kanal N (a) dan Kanal P (b)

Dari Gambar diatas, simbolnya bisa dibedakan antara JFET N-Channel dan P-Channel. Dalam simbol N-Channel, terdapat panah yang mengarah ke dalam (menuju sumber atau source). Ini menunjukkan bahwa arus utama mengalir dari drain ke source, dan pembawa muatan utama adalah elektron. Arus ini terjadi ketika tegangan gate (pintu) lebih rendah daripada sumber (source), yang memungkinkan elektron mengalir dari drain ke source melalui saluran yang terbuat dari semikonduktor tipe N.

Sebaliknya, dalam simbol P-Channel, panah mengarah ke luar (dari sumber ke drain). Ini menandakan bahwa arus utama mengalir dari source ke drain, dan pembawa muatan utama adalah hole (lubang) yang dihasilkan dalam semikonduktor tipe P. Untuk P-Channel, arus mengalir ketika tegangan gate lebih tinggi daripada sumber.

2. *Metal-Oxide-Semiconductor* FET (MOSFET):

MOSFET memiliki gerbang yang dipisahkan dari saluran oleh lapisan oksida. MOSFET menggunakan lapisan oksida antara gerbang dan saluran untuk mengendalikan arus. Tegangan yang diterapkan pada gerbang (gate) menginduksi saluran konduktif di antara sumber dan saluran oksida (Millman and Grabel, 1987).

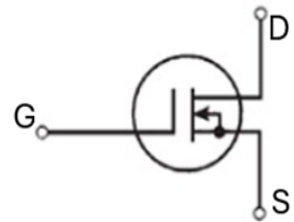
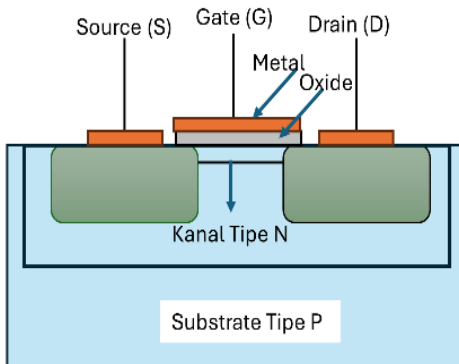
MOSFET dapat bekerja dalam dua mode: depletion dan enhancement. MOSFET sangat populer karena efisiensi switching yang tinggi, konsumsi daya rendah, dan

kemampuan untuk diintegrasikan dalam skala besar (Neamen, 2011).

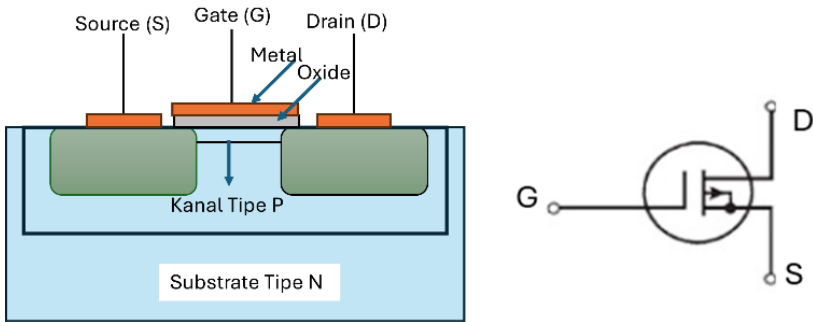
Struktur MOSFET memiliki struktur gerbang yang terisolasi oleh lapisan oksida, yang memungkinkan kontrol yang lebih efektif terhadap arus saluran. Tegangan gerbang menciptakan medan listrik di lapisan oksida, yang mempengaruhi konduktivitas saluran.

Seperti JFET, saluran pada MOSFET bisa terdiri dari semikonduktor tipe-N atau tipe-P. Elektroda Gate pada MOSFET terbuat dari logam yang permukaannya dilapisi dengan oksida. Lapisan oksida ini berfungsi untuk mencegah kontak listrik langsung antara Gate dan saluran. Karena alasan ini, MOSFET sering disebut juga sebagai *Insulated-Gate FET* (IGFET). Lapisan oksida bertindak sebagai dielektrik, sehingga aliran arus antara Gate dan saluran dapat dihindari.

Salah satu kelemahan MOSFET adalah lapisan oksidanya yang sangat tipis, membuatnya rentan terhadap kerusakan akibat pelepasan elektrostatik (*Electrostatic Discharge*).



(a)



(b)

Gambar 7.2. Struktur dan simbol MOSFET (a) Tipe N dan (b) Tipe P

MOSFET dapat digunakan secara luas dalam berbagai aplikasi elektronik karena efisiensinya yang tinggi dan kemampuannya untuk bekerja pada frekuensi tinggi. MOSFET memiliki karakteristik switching yang sangat baik dan digunakan secara luas dalam rangkaian digital dan analog (Millman and Grabel, 1987). MOSFET digunakan secara luas karena konsumsi daya yang rendah dan kemampuan bekerja pada frekuensi tinggi. N channel umumnya lebih cepat dan lebih efisien dibandingkan p channel (Sedra and Smith, 2019).

7.3 Karakteristik Umum Bahan Semikonduktor

7.3.1 Densitas Elektron

Bahan semikonduktor memiliki karakteristik unik yang membedakannya dari bahan konduktor dan isolator, yaitu kemampuannya untuk mengontrol aliran elektron dan hole. Densitas elektron (n) dan hole (p) dalam semikonduktor adalah parameter kunci yang mempengaruhi konduktivitasnya. Dalam FET, kontrol terhadap densitas pembawa muatan ini dicapai melalui tegangan yang diterapkan pada gate.

7.3.2 Bandgap Energi

Bandgap energi (E_g) adalah perbedaan energi antara pita valensi dan pita konduksi. Semikonduktor dengan bandgap kecil

lebih mudah terionisasi dan mengalirkan arus listrik dibandingkan dengan yang memiliki bandgap besar. Dalam FET, material dengan bandgap yang tepat dipilih untuk memastikan performa optimal dan stabilitas termal.

7.3.3 Mobilitas Elektron dan Hole

Mobilitas pembawa muatan (μ) adalah kemampuan elektron dan hole untuk bergerak melalui material semikonduktor ketika medan listrik diterapkan. Mobilitas yang tinggi pada bahan semikonduktor memungkinkan FET bekerja dengan kecepatan switching yang lebih cepat dan efisiensi yang lebih tinggi (Sze & Ng, 2007).

7.4 Tipe-tipe Bahan Semikonduktor pada FET

Transistor efek medan (FET) adalah komponen penting dalam desain rangkaian elektronik modern. FET menggunakan bahan semikonduktor untuk mengontrol arus listrik melalui lapisan semikonduktor dengan medan listrik. Bahan semikonduktor yang digunakan dalam FET memengaruhi kinerja dan karakteristik perangkat tersebut. FET umumnya terbuat dari bahan semikonduktor seperti silikon (Si), germanium (Ge), dan gallium arsenide (GaAs). Setiap bahan semikonduktor memiliki kelebihan dan kekurangan tertentu yang mempengaruhi aplikasi dan kinerja FET.

1. Silikon (Si)

Silikon adalah bahan semikonduktor yang paling umum digunakan dalam FET. Kelebihan utama silikon adalah ketersediaannya yang luas dan biaya produksinya yang rendah. Silikon FET juga menawarkan kinerja yang baik dalam banyak aplikasi elektronik (Millman & Grabel, 1987).

2. Germanium (Ge)

Germanium adalah bahan semikonduktor yang memiliki mobilitas elektron yang lebih tinggi dibandingkan silikon. Namun, germanium lebih sensitif terhadap suhu dan lebih mahal dibandingkan silikon, sehingga penggunaannya lebih terbatas (Neamen, 2011).

3. Gallium Arsenide (GaAs)

Gallium arsenide adalah bahan semikonduktor dengan mobilitas elektron yang sangat tinggi dan frekuensi operasi yang tinggi. GaAs FET sering digunakan dalam aplikasi frekuensi tinggi dan komunikasi satelit, tetapi harganya lebih tinggi dan proses produksinya lebih kompleks (Sedra & Smith, 2019).

3 Pengaruh Sifat Bahan terhadap Performa FET

Transistor efek medan (FET) sangat bergantung pada bahan semikonduktor yang digunakan dalam pembuatannya. Sifat bahan semikonduktor dapat mempengaruhi berbagai aspek performa FET, seperti kecepatan switching, daya tahan, dan efisiensi energi.

Berikut adalah pengaruh sifat bahan semikonduktor terhadap performa FET:

1. Mobilitas Elektron

Mobilitas elektron adalah faktor kunci dalam menentukan kecepatan dan respons FET. Bahan semikonduktor dengan mobilitas elektron yang tinggi akan menghasilkan FET dengan performa yang lebih baik dalam hal kecepatan switching dan frekuensi operasi. Silikon memiliki mobilitas elektron yang lebih rendah dibandingkan dengan germanium dan gallium arsenide. Meskipun demikian, silikon tetap menjadi bahan pilihan utama karena keseimbangan antara performa dan biaya produksinya (Millman & Grabel, 1987).

Sedangkan germanium memiliki mobilitas elektron yang lebih tinggi dibandingkan silikon, sehingga FET berbasis germanium dapat beroperasi pada frekuensi yang lebih tinggi dan dengan respons yang lebih cepat. Namun, germanium lebih sensitif terhadap suhu dan memiliki stabilitas termal yang kurang baik (Neamen, 2011).

Pada gallium arsenide memiliki mobilitas elektron yang sangat tinggi, menjadikannya ideal untuk aplikasi frekuensi tinggi dan kecepatan tinggi. FET berbasis GaAs sering digunakan dalam aplikasi komunikasi dan satelit, tetapi

biaya produksinya yang tinggi dan kompleksitas proses membatasi penggunaannya (Sedra & Smith, 2019).

2. Bandgap energi

bandgap energi (bandgap) dari bahan semikonduktor juga mempengaruhi performa FET. Bahan dengan bandgap energi yang lebih besar cenderung memiliki ketahanan yang lebih baik terhadap arus bocor dan dapat beroperasi pada suhu yang lebih tinggi. Silikon memiliki bandgap energi yang moderat, memungkinkan FET berbasis silikon beroperasi dengan efisien pada berbagai suhu dan voltase. Sedangkan germanium memiliki bandgap energi yang lebih kecil, yang dapat menyebabkan arus bocor yang lebih tinggi pada suhu tinggi, namun memberikan keunggulan dalam performa kecepatan.

Jika dibandingkan silikon dan germanium, gallium arsenide memiliki bandgap energi yang lebih besar, yang memberikan keuntungan dalam mengurangi arus bocor dan meningkatkan efisiensi pada aplikasi frekuensi tinggi dan suhu tinggi.

3. Kestabilan Termal dan Daya Tahan

Kestabilan termal dan daya tahan bahan semikonduktor mempengaruhi masa pakai dan keandalan FET. Bahan yang lebih stabil secara termal dapat meningkatkan umur dan keandalan perangkat. Silikon menunjukkan kestabilan termal yang baik dan daya tahan yang tinggi, membuatnya cocok untuk aplikasi jangka panjang dalam berbagai kondisi lingkungan. Selain itu, gallium arsenide juga memiliki kestabilan termal yang baik dan tahan terhadap suhu tinggi, sehingga ideal untuk aplikasi di lingkungan yang keras atau ekstrem. Sebaliknya, germanium kurang stabil secara termal dan lebih sensitif terhadap perubahan suhu, yang dapat membatasi aplikasinya dalam kondisi yang ekstrem.

7.5 Kesimpulan

Pemilihan bahan semikonduktor yang tepat sangat penting untuk kinerja optimal FET dalam berbagai aplikasi. Sifat-sifat seperti mobilitas elektron, bandgap energi, dan stabilitas termal memainkan peran kunci dalam menentukan kecepatan, efisiensi, dan keandalan FET. Dengan pemahaman yang mendalam tentang sifat-sifat bahan ini, insinyur dapat merancang perangkat yang memenuhi kebutuhan aplikasi spesifik dengan lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Millman, J. and Grabel, A., 1987. Microelectronics. 2nd ed. New York: McGraw-Hill.
- Neamen, D.A., 2011. Semiconductor physics and devices: Basic principles. 4th ed. New York: McGraw-Hill.
- Sedra, A.S. and Smith, K.C., 2019. Microelectronic circuits. 8th ed. Oxford: Oxford University Press.
- Sze, S. M., & Ng, K. K. 2007. Physics of Semiconductor Devices. John Wiley & Sons.

BAB 8

SIFAT DAN JENIS BAHAN-BAHAN OPTIK

Oleh Risnawaty Alyah

8.1 Pendahuluan

Sifat optik adalah sifat suatu bahan yang dijelaskan berdasarkan responnya ketika terkena gelombang elektromagnetik dan cahaya, terutama pada daerah cahaya tampak. Respon terhadap cahaya datang meliputi pemantulan, penyerapan, transmisi, dan pembiasan cahaya.

Bahan yang berbeda menunjukkan sifat optik yang berbeda ketika terkena radiasi elektromagnetik. Sebagian besar komponen optik terbuat dari kaca, bahan kristal, polimer atau plastik.(Born & Wolf, 2013).

8.2 Sifat-sifat Bahan Optik

Sifat material optik mengacu pada sifat yang menentukan bagaimana suatu material berinteraksi dengan cahaya. Sifat-sifat ini berperan penting dalam desain dan pengg Bahan optik transparan juga digunakan dalam produksi prisma, filter optik, polarizer dan banyak komponen optik lainnya. Sifat yang transparan membuat material optik ini dapat bekerja dengan baik dalam mengubah atau mengendalikan cahaya.unaan berbagai perangkat optik, seperti lensa, prisma, serat optik, dan banyak lainnya. Pemahaman yang baik tentang sifat bahan optik memungkinkan para insinyur dan peneliti untuk memilih bahan yang paling sesuai dengan kebutuhan aplikasi tertentu.(Hecht, 2012)

8.2.1 Transparansi

Transparansi adalah kemampuan suatu material untuk membiarkan cahaya melewatinya tanpa mengalami banyak

hambatan atau penyerapan. Bahan transparan akan memungkinkan cahaya untuk melewatinya dengan sedikit atau tanpa hambatan.

Sifat transparan ini memungkinkan cahaya melewati material dengan sedikit atau tanpa perubahan besar dalam intensitas, arah, atau bentuk.

Misalnya kaca merupakan bahan optik yang sangat transparan. Bahan optik yang transparan berguna dalam banyak aplikasi, termasuk:

1. Bahan optik transparan digunakan dalam produksi lensa untuk kacamata, mikroskop, teleskop, kamera dan banyak perangkat optik lainnya. Lensa yang transparan memungkinkan cahaya terfokus dengan baik dan memberikan gambar yang jelas.
2. Bahan optik transparan juga digunakan dalam pembuatan prisma, filter optik, polarisator, dan berbagai komponen optik lainnya. Sifat transparan memungkinkan bahan optik ini untuk berfungsi dengan baik dalam mengubah atau memanipulasi cahaya.
3. Kaca optik dan plastik merupakan contoh bahan optik transparan yang biasa digunakan dalam berbagai aplikasi, antara lain jendela, kaca mobil, lensa kacamata, dan lainnya.
4. Serat optik adalah serat transparan yang digunakan untuk mentransmisikan cahaya dalam aplikasi telekomunikasi, internet dan sensor. Sifatnya yang transparan memungkinkan cahaya merambat dengan sedikit atau tanpa kehilangan intensitas di sepanjang serat.
5. Bahan optik transparan juga digunakan dalam penerangan, seperti lampu, lentera dan lampu sorot, dimana sifat transparannya memungkinkan cahaya melewatinya dengan mudah, menciptakan pencahayaan yang efisien dan ekonomis.(Palik, 1998).

8.2.2 Reflektifitas

Reflektivitas adalah kemampuan suatu bahan untuk memantulkan cahaya. Bahan yang sangat reflektif akan

memantulkan sebagian besar cahaya yang menerpanya. Misalnya, cermin sangat reflektif.

Bahan dengan reflektifitas yang tinggi akan memantulkan sebagian besar cahaya yang mengenainya, sedangkan bahan dengan reflektifitas rendah akan menyerap sebagian besar cahaya dan hanya sedikit memantulkannya. Misalnya, cermin sangat reflektif sehingga hampir semua cahaya yang jatuh pada cermin dipantulkan.

Reflektifitas juga dapat bervariasi tergantung pada panjang gelombang cahaya atau radiasi elektromagnetik yang digunakan. Beberapa bahan mungkin memiliki reflektifitas yang tinggi pada panjang gelombang tertentu dan reflektifitas yang rendah pada panjang gelombang lainnya. Misalnya, bahan yang digunakan untuk membuat kacamata hitam mungkin memiliki reflektifitas yang tinggi di bawah sinar matahari namun reflektifitas yang rendah di cahaya yang tampak. (Kenyon, 2008).

8.2.3 Indeks Bias (Indeks Refraksi)

Indeks bias adalah ukuran seberapa besar perlambatan cahaya ketika memasuki suatu bahan dari ruang hampa atau media lain. Indeks bias menentukan sudut kelengkungan dan bias cahaya saat melewati batas antara dua media. Indeks bias suatu bahan menentukan derajat pembiasan cahaya ketika melewati permukaan antara dua media yang berbeda indeks biasnya.

Konsep ini dinyatakan dengan hukum Snellius yang menyatakan bahwa perbandingan sinus sudut datang (θ_1) terhadap sinus sudut bias (θ_2) antara dua media homogen akan tetap konstan dan sebanding dengan perbandingan kecepatan cahaya pada kedua media. Secara matematis hukum Snellius dapat dituliskan sebagai: (Saleh & Teich, 2019).

$$n_1 \sin(\theta_1) = n_2 \sin(\theta_2)$$

Dimana:

1. n_1 dan n_2 adalah indeks bias dari dua media yang berbeda.

2. θ_1 adalah sudut datang, yaitu sudut antara arah cahaya dan garis normal pada permukaan bidang pemisah antara dua media.
3. θ_2 adalah sudut bias, yaitu sudut antara arah cahaya dan garis normal di dalam medium kedua setelah pembiasan.

Indeks bias suatu bahan bervariasi tergantung pada sifat bahan dan panjang gelombang cahaya yang melewatinya. Secara umumnya, semakin tinggi indeks bias suatu bahan, semakin lambat kecepatan cahaya dalam bahan tersebut dan semakin besar pembelokan cahaya saat masuk atau keluar dari bahan tersebut.

8.2.4 Dispersi

Dispersi adalah kemampuan suatu material untuk membagi cahaya putih menjadi spektrum warna-warna yang berbeda saat cahaya melewati material tersebut. Properti ini sering dikaitkan dengan penciptaan prisma, di mana cahaya putih dibagi menjadi spektrum warna tampak.

Dalam konteks optik, dispersi seringkali disebabkan oleh perbedaan respon indeks bias terhadap panjang gelombang cahaya. Secara umum, indeks bias suatu bahan akan meningkat seiring dengan berkurangnya panjang gelombang cahaya (cahaya dengan panjang gelombang lebih pendek cenderung memiliki indeks bias yang lebih tinggi), menyebabkan kelengkungan berbeda untuk warna cahaya berbeda.

Misalnya, ketika cahaya putih melewati sebuah prisma, panjang gelombang yang lebih pendek (seperti biru dan ungu) akan dibelokkan lebih besar daripada panjang gelombang yang lebih panjang (seperti merah). Akibatnya, cahaya putih terpecah menjadi spektrum warna penuh dari ungu, biru, hijau, kuning, orange hingga merah.

Dispersi penting dalam berbagai aplikasi, termasuk dalam pembuatan prisma untuk menghasilkan spektrum warna dalam optik kuantum, dan dalam pemisahan warna dalam berbagai perangkat dan teknologi optik. Memahami dispersi

memungkinkan desainer merancang dan mengoptimalkan perangkat optik untuk berbagai aplikasi.

8.2.5 Ketebalan (*Thickness*)

Ketebalan (*thickness*) adalah dimensi dari suatu benda atau bahan yang diukur dengan arah tegak lurus permukaannya. Ketebalan suatu bahan optik dapat mempengaruhi sifat optiknya, seperti dispersi dan refraksi. Dalam konteks optik, ketebalan seringkali merupakan faktor penting dalam mempengaruhi sifat optik suatu material atau komponen optik.

Dalam beberapa aplikasi, seperti pada lensa atau kaca pembesar, ketebalan akan mempengaruhi pembiasan cahaya. Ketebalan lensa akan mempengaruhi jarak pembiasan cahaya saat melewati lensa. Ketebalan yang lebih besar dapat menghasilkan pembiasan yang lebih besar.

Selain itu, ketebalan juga dapat mempengaruhi sifat dispersi material. Misalnya pada prisma, ketebalan prisma akan mempengaruhi jumlah cahaya yang dihamburkan. Ketebalan yang lebih besar dapat menghasilkan dispersi yang lebih besar, sehingga menciptakan spektrum warna yang lebih terisolasi.(Wyszecki & Stiles, 2000).

Dalam aplikasi lain, seperti dalam pembuatan filter optik, ketebalan dapat dipilih untuk mencapai sifat optik tertentu. Misalnya, ketebalan lapisan pada filter interferensi dapat disesuaikan untuk mencapai efek interferensi yang diinginkan, seperti menekan atau memperkuat cahaya pada panjang gelombang tertentu.

Dalam optik kuantum, ketebalan juga dapat menjadi penting untuk memahami sifat material, terutama dalam konteks lapisan/film tipis atau struktur nano.

8.2.6 Polarisasi

Polarisasi adalah sifat dari gelombang transversal, seperti cahaya, yang osilasi gelombangnya terbatas pada satu atau lebih arah tertentu. Dalam konteks optik, polarisasi mengacu pada arah medan listrik gelombang cahaya relatif terhadap arah rambat gelombang.(Chester, 2018).

Cahaya umumnya merupakan gelombang elektromagnetik yang terdiri dari medan listrik yang merambat pada bidang yang tegak lurus arah rambatnya. Dalam kondisi nonpolar, medan listrik berfluktuasi dalam berbagai arah yang tidak teratur. Namun, ketika cahaya melewati suatu bahan atau medium tertentu atau ketika dipantulkan dari suatu permukaan, osilasi medan listriknya dapat diatur ke arah tertentu, sehingga menyebabkan polarisasi.

Polarisasi cahaya sangat penting dalam berbagai aplikasi optik. Contoh:

1. Filter Polaroid adalah filter optik yang dirancang untuk hanya mentransmisikan cahaya terpolarisasi ke arah tertentu, sekaligus memblokir cahaya yang terpolarisasi ke arah lain. Ini digunakan dalam kamera, kacamata hitam, dan aplikasi lainnya.
2. Polarimeter adalah instrumen yang digunakan untuk mengukur atau menganalisis polarisasi cahaya dalam berbagai konteks, seperti dalam penelitian ilmiah atau industri.
3. LCD (*Liquid Crystal Display*) menggunakan cahaya terpolarisasi untuk membuat gambar. Cahaya dari platform LCD pertama-tama dipolarisasi dan kemudian melewati lapisan kristal cair yang dapat dikendalikan secara elektrik untuk mengatur polarisasi cahaya dan menghasilkan gambar.
4. Mikroskop polarisasi digunakan dalam bidang ilmiah seperti geologi dan biologi untuk memeriksa bahan yang terpolarisasi secara alami atau mengeksplorasi struktur internal bahan.

8.2.7 Absorptivitas

Absorptivitas adalah kemampuan suatu bahan untuk menyerap sebagian atau seluruh cahaya yang datang. Bahan dengan daya serap tinggi akan menyerap sebagian besar energi cahaya yang jatuh padanya, sedangkan bahan dengan daya serap rendah memungkinkan sebagian besar energi cahaya dapat melewatinya. Bahan dengan daya serap tinggi sering

digunakan dalam aplikasi seperti penyerapan termal, fotokimia, dan fotovoltaik, di mana penyerapan cahaya merupakan bagian penting dari prosesnya.

Sifat ini sering diukur dalam bentuk koefisien absorptivitas, Koefisien merupakan ukuran seberapa banyak energi cahaya yang diserap suatu bahan. Koefisien absorptivitas tergantung pada panjang cahaya yang digunakan dan sifat material.

Dalam beberapa kasus, seperti dalam desain filter optik dan kacamata hitam, bahan dengan absorptivitas tinggi digunakan untuk menyerap cahaya dan mencegahnya mencapai mata pengamat atau sensor di belakangnya. di sisi lain, dalam aplikasi seperti pembuatan lensa dan serat optik, bahan dengan absorptivitas rendah lebih disukai sehingga cahaya sebanyak mungkin dapat melewati bahan tersebut.

8.3 Jenis-jenis Bahan Optik

Sifat dan jenis bahan optik yang digunakan bergantung pada masing-masing aplikasi. Beberapa bahan lebih cocok untuk tujuan tertentu karena sifat optik dan fisiknya.(Fleming et al., 2018).

8.3.1 Kaca

Kaca adalah bahan padat transparan yang tersusun dari jaringan atom silikon dioksida (SiO_2) yang teratur. Ini adalah salah satu bahan yang paling umum dan serbaguna yang digunakan dalam berbagai aplikasi termasuk konstruksi, industri, optik dan teknologi lainnya.

Sifat-sifat Kaca:

1. Kaca adalah bahan transparan dan permukaannya memungkinkan cahaya melewatinya tanpa hambatan yang berarti. Kaca berguna untuk pembuatan kaca jendela, kaca mobil, dan berbagai peralatan optik.
2. Kaca biasanya tidak berwarna, tetapi bisa menjadi berwarna karena penambahan kotoran selama pembuatan. Kurangnya warna ini memungkinkan kaca untuk menampilkan warna objek di belakangnya tanpa distorsi.

3. Kaca umumnya sangat keras, namun juga mudah tergores. Namun, perlakuan panas atau bahan kimia yang tepat dapat membuat kaca lebih tahan terhadap kerusakan.
4. Kaca memiliki konduktivitas termal yang rendah, sehingga tahan terhadap perubahan suhu yang tiba-tiba. Hal ini menjadikannya bahan yang ideal untuk digunakan dalam berbagai aplikasi termal, seperti sebagai dalam produksi insulasi dan pembuatan peralatan laboratorium.
5. Kaca ramah lingkungan dan ekonomis karena dapat didaur ulang secara efisien.

Aplikasi kaca :

1. Kaca banyak digunakan dalam konstruksi untuk pembuatan jendela, pintu geser, dinding kaca dan lain-lain
2. Kaca digunakan untuk membuat peralatan laboratorium seperti labu, tabung reaksi, dan wadah penyimpanan.
3. Kaca digunakan pada berbagai peralatan rumah tangga seperti gelas, piring, vas bunga, dan lampu.
4. Kaca digunakan dalam pembuatan lensa, prisma, cermin, dan perangkat optik lainnya karena transparansinya dan kemampuannya untuk diformat dengan presisi tinggi.
5. Kaca digunakan di berbagai perangkat elektronik seperti layar LCD, layar sentuh, dan sensor cahaya.
6. Karena ketahanannya terhadap bahan kimia dan sifat non-reaktifnya, kaca digunakan sebagai kemasan berbagai produk seperti makanan, minuman, dan obat-obatan.

8.3.2 Kristal

Kristal adalah suatu bentuk materi padat yang dicirikan oleh pola atom atau molekul yang teratur dan berulang. Struktur kristal ini membentuk pola periodik karakteristik yang mencerminkan simetri dan orientasi kristal. Kristal memiliki sifat fisik yang unik seperti kejernihan bentuk, reflektansi, dan polarisasi.(Hofmann, 2022).

Sifat-sifat Kristal:

1. Kristal memiliki bentuk yang teratur dan terdefinisi dengan baik karena susunan atom atau molekul yang teratur di dalam struktur kristal.
2. Banyak kristal mempunyai sifat reflektif yang kuat tergantung pada susunan atom dalam strukturnya. Beberapa kristal juga digunakan dalam aplikasi optik sebagai cermin dan bahan reflektif..
3. Beberapa kristal mempunyai sifat polarisasi khusus yang memungkinkan medan petir disesuaikan tergantung pada orientasi kristal tertentu. Hal ini menjadikan kristal penting dalam produksi filter polarisasi dan perangkat optik lainnya.
4. Beberapa kristal menunjukkan proses hamburan cahaya yang unik di mana cahaya yang melewati kristal dipecah menjadi spektrum warna berbeda. Digunakan dalam berbagai aplikasi optik seperti pembuatan prisma.
5. Beberapa kristal mempunyai sifat piezoelektrik yang menghasilkan medan listrik bila terkena tekanan mekanis. Kristal ini digunakan dalam sensor tekanan, pembangkit listrik, dan berbagai aplikasi sensor lainnya.

Aplikasi Kristal:

1. Karena sifat optiknya yang unik, kristal digunakan untuk membuat lensa, prisma, filter polarisasi, dan berbagai perangkat optik lainnya.
2. Kristal semikonduktor digunakan dalam industri semikonduktor untuk membuat transistor, dioda, dan berbagai perangkat elektronik lainnya.
3. Kristal yang indah dan transparan banyak digunakan dalam pembuatan perhiasan seperti kalung, cincin, dan gelang.
4. Kristal digunakan dalam pembuatan alat kesehatan seperti ultrasonografi, endoskopi, dan berbagai alat diagnostik lainnya.
5. Kristal digunakan sebagai katalis dalam berbagai reaksi kimia, serta dalam pembuatan bahan kimia dan farmasi

8.3.3 Plastik Optik

Plastik optik, juga dikenal sebagai polimer optik, mengacu pada penggunaan bahan polimer dalam aplikasi optik. Polimer atau plastik yang dimodifikasi secara khusus digunakan untuk memenuhi persyaratan optik seperti transparansi, hamburan cahaya, dan manipulasi cahaya lainnya. Beberapa poin penting mengenai plastik optik adalah: (Minami, 2010).

Sifat-sifat Plastik Optik:

1. Plastik optik sering kali dirancang untuk memiliki sifat transparansi yang baik, memungkinkan cahaya melewati material dengan sedikit atau tanpa hambatan. Hal ini membuatnya dapat diterapkan pada pembuatan lensa, filter, dan komponen optik lainnya..
2. Plastik optik dapat dimodifikasi untuk memiliki indeks bias yang diinginkan, yang memungkinkannya digunakan dalam berbagai perangkat optik untuk pembiasan cahaya yang sesuai.
3. Beberapa plastik optik juga dapat diperkuat untuk meningkatkan kekuatan dan kekakuan. Hal ini penting untuk aplikasi yang memerlukan stabilitas mekanis, seperti pembuatan lensa dan prisma.
4. Polimer optik dapat dirancang agar tahan terhadap suhu tinggi dan bahan kimia tertentu, sehingga cocok untuk berbagai lingkungan dan aplikasi.

Aplikasi Plastik Optik:

1. Plastik optik digunakan untuk membuat lensaacamata, kamera, dan peralatan optik lainnya. Seringkali lensa ini merupakan alternatif yang ringan dan murah untuk lensa kaca.
2. Filter optik digunakan untuk memanipulasi cahaya dalam berbagai cara, dan plastik optik dapat digunakan dalam pembuatan filter yang ringan dan mudah dimodifikasi.
3. Plastik optik digunakan untuk memproduksi serat optik yang digunakan dalam berbagai aplikasi seperti komunikasi optik, sensor, dan perangkat medis.

4. Plastik optik digunakan untuk membuat panel optik untuk display, layar sentuh, dan berbagai perangkat elektronik lainnya.
5. Plastik optik digunakan dalam pembuatan alat kesehatan seperti endoskopi, lensa kontak, dan berbagai alat diagnostik optik.

8.3.4 Kristal Cair:

Kristal cair adalah fase materi dengan sifat perantara tersusun teratur seperti kristal, namun dapat bergerak bebas seperti cairan.

Hal ini menghasilkan kristal cair dengan sifat fisik yang unik. Hal ini menyebabkan kristal cair memiliki sifat fisik yang unik.

Sifat-sifat Kristal Cair:

1. Kristal cair mempunyai susunan molekul atau atom yang teratur, tetapi tidak teratur seperti bahan padat. Hal ini memungkinkan kristal cair mempertahankan beberapa sifat kristal, seperti: pola susunan atom dengan tetap menjaga kelenturan dan kelembutan cairan.
2. Kristal cair memiliki viskositas lebih tinggi dibandingkan cairan biasa, tetapi viskositas lebih rendah dibandingkan bahan padat. Akibatnya, karakteristik aliran bergantung pada suhu dan tekanan serta dapat berubah sebagai respons terhadap perubahan kondisi lingkungan.
3. Beberapa kristal cair mempunyai sifat optik yang unik seperti: dapat mengubah polarisasi cahaya, sehingga berguna dalam berbagai aplikasi optik, seperti pembuatan layar kristal cair (LCD).
4. Beberapa jenis kristal cair dapat menunjukkan sifat elektrokimia. Artinya, mereka dapat merespons medan listrik eksternal dengan mengubah susunan molekulnya. Digunakan dalam teknologi layar LCD dan manufaktur sel bahan bakar.

Aplikasi Kristal Cair:

1. Kristal cair digunakan dalam teknologi layar LCD untuk menghasilkan gambar dengan mengatur transmisi cahaya. Molekul-molekul di dalam lapisan kristal cair disusun dengan cara tertentu untuk mengontrol polarisasi cahaya dan menciptakan gambar yang terlihat di layar.
2. Karena kemampuannya dalam merespon perubahan kondisi lingkungan, kristal cair dapat digunakan untuk membuat sensor, khususnya sensor suhu dan tekanan.
3. Karena sifat optiknya yang unik, kristal cair digunakan dalam pembuatan filter polarisasi, prisma, dan perangkat optik lainnya.
4. Kristal cair digunakan dalam berbagai aplikasi elektronik, seperti produksi sel bahan bakar dan perangkat optoelektronik.

8.3.5 Fiber Optik

Fiber optik adalah serat tipis yang terbuat dari kaca atau plastik yang secara efisien mentransmisikan cahaya dari satu titik ke titik lainnya. Serat optik memiliki inti yang sangat kecil yang dikelilingi oleh lapisan dengan indeks bias rendah yang memungkinkan cahaya dipantulkan kembali ke inti melalui fenomena pemantulan internal total. Berikut beberapa poin tentang fiber optik. (Kumar & Deen, 2014).

Sifat-sifat Fiber Optik:

1. Fiber optik dirancang untuk mentransmisikan cahaya secara efisien dari satu ujung ke ujung lainnya. Hal ini membuatnya ideal untuk komunikasi jarak jauh, Internet, dan panggilan telepon.
2. Kabel fiber optik mempunyai kapasitas transmisi yang besar sehingga memungkinkan untuk mengirimkan data dalam jumlah besar dalam waktu yang relatif singkat. Hal ini membuatnya ideal untuk aplikasi yang memerlukan transfer data berkecepatan tinggi dan berkapasitas besar, seperti Internet broadband.
3. Fiber optik umumnya kuat dan tahan terhadap tekanan dan gangguan eksternal. Oleh karena itu, kurang rentan

- terhadap pengaruh lingkungan seperti cuaca dan kelembapan.
4. Kabel fiber optik tidak terpengaruh oleh medan listrik, sehingga lebih aman dan andal di lingkungan yang rentan terhadap interferensi elektromagnetik.

Aplikasi Fiber Optik:

1. Salah satu kegunaan utama serat optik adalah dalam bidang telekomunikasi, dimana serat optik digunakan untuk mengirimkan sinyal suara, data, dan video dengan kecepatan tinggi dan kualitas tinggi.
2. Fiber optik adalah tulang punggung jaringan Internet modern, yang memungkinkan transfer data berkecepatan tinggi antara server dan pengguna akhir.
3. Fiber optik juga digunakan dalam jaringan area lokal (LAN) di perkantoran dan lingkungan industri untuk mentransfer data antar komputer dengan kecepatan tinggi.
4. Fiber optik dapat digunakan sebagai sensor dalam berbagai aplikasi seperti pemantauan struktur, pengukuran suhu, dan deteksi kebocoran.
5. Fiber optik dapat digunakan untuk penerangan dekoratif dan efek visual dalam arsitektur, pertunjukan, dan display.

8.3.6 Poliester

Poliester adalah sekelompok besar polimer rantai panjang yang terdiri dari unit monomer yang disebut ester. Poliester dapat diproduksi secara alami atau sintetis dan memiliki kegunaan yang luas di berbagai industri. Karena memiliki transparansi yang baik dan mudah diproses, maka digunakan dalam produksi lensa kontak dan lensaacamata (Camlibel, 2018).

Sifat-sifat Poliester:

1. Poliester sering kali memiliki kekuatan tinggi baik dalam bentuk serat maupun padat. Oleh karena itu, sering digunakan dalam produksi pakaian, tali dan produk teknis lainnya.

2. Poliester mempunyai ketahanan yang sangat baik terhadap berbagai bahan kimia seperti pelarut dan minyak. Hal ini membuatnya cocok untuk berbagai aplikasi industri, seperti pembuatan tangki penyimpanan bahan kimia.
3. Beberapa jenis poliester memiliki ketahanan yang sangat baik terhadap sinar UV dan kondisi cuaca ekstrem sehingga cocok digunakan untuk produk luar ruangan seperti tenda, payung, dan jaket luar ruangan.
4. Poliester dapat dicampur dengan berbagai bahan lainnya, termasuk serat alami dan sintetis, untuk menghasilkan bahan dengan sifat tertentu yang diinginkan.
5. Poliester seringkali dapat didaur ulang dan digunakan kembali, menjadikannya bahan yang lebih ramah lingkungan dibandingkan bahan sintetis lainnya.

Aplikasi Poliester:

1. Poliester merupakan salah satu bahan yang paling umum digunakan dalam industri tekstil dan digunakan untuk membuat pakaian, sepatu, dan furnitur.
2. Poliester digunakan untuk membuat berbagai bahan bangunan seperti kain bertulang, fiberglass, dan bahan atap.
3. Poliester digunakan dalam pembuatan kemasan plastik, botol, dan wadah untuk makanan, minuman, dan produk konsumen lainnya.
4. Poliester digunakan dalam pembuatan berbagai komponen elektronik seperti papan sirkuit dan kabel.
5. Poliester digunakan dalam industri otomotif untuk pembuatan komponen eksterior otomotif seperti panel bodi, kap mesin, dan lampu.
6. Poliester digunakan dalam pembuatan kapal laut, perahu, dan peralatan kelautan lainnya karena tahan air dan cuaca.

8.3.7 Berlian:

Berlian adalah alotrop karbon, bentuk kristal karbon. Kristal-kristal ini terbentuk di bawah kondisi tekanan dan suhu yang sangat tinggi di dalam kerak bumi. Berlian biasanya

terbentuk jauh di dalam mantel bumi dan kemudian dibawa ke permukaan oleh aktivitas gunung berapi.(Nebel, 2017).

Sifat-sifat Berlian:

1. Berlian adalah bahan alami paling keras yang diketahui, dengan tingkat kekerasan 10 pada skala Mohs. Hal ini membuatnya sangat tahan gores dan abrasi.
2. Berlian memiliki kemampuan unik untuk membengkokkan dan memantulkan cahaya, menciptakan efek kilau unik yang sangat diinginkan dalam perhiasan.
3. Berlian adalah bahan yang mempunyai transparansi tinggi terhadap cahaya dan dapat mengekspresikan kecemerlangan dan keindahan warna yang unik.
4. Konduktivitas termal berlian yang tinggi menjadikannya bahan yang cocok untuk aplikasi yang memerlukan konduktivitas termal yang baik, seperti dalam pembuatan alat pemotong dan pendingin.
5. Berlian bernilai tinggi dalam pembuatan perhiasan karena kemurniannya yang tinggi, dengan sedikit atau tanpa inklusi atau ketidaksempurnaan dalam strukturnya.

Aplikasi Berlian:

1. Berlian adalah bahan perhiasan paling populer dan berharga serta digunakan untuk membuat cincin, anting, kalung, dan berbagai barang perhiasan lainnya.
2. Karena kekerasannya yang tinggi, berlian digunakan sebagai bahan alat pemotong seperti gergaji berlian dan bor berlian.
3. Berlian digunakan dalam industri elektronik, khususnya dalam produksi sensor dan perangkat optoelektronik..
4. Berlian digunakan untuk membuat preset suara dan jarum perekam karena kemampuannya mengirimkan suara berkualitas tinggi.
5. Berlian juga digunakan dalam berbagai aplikasi industri lainnya, termasuk produksi bahan abrasif, perkakas abrasif, dan perkakas pemotong presisi.

DAFTAR PUSTAKA

- Born, M., & Wolf, E. (2013). *Principles of optics: electromagnetic theory of propagation, interference and diffraction of light*. Elsevier.
- Camlibel, N. O. (2018). *Polyester: Production, characterization and innovative applications*. BoD–Books on Demand.
- Chester, A. (2018). The outmoded instant: From instagram to polaroid. *Afterimage: The Journal of Media Arts and Cultural Criticism*, 45(5), 10–15.
- Fleming, J. W., Weber, M. J., Day, G. W., Feldman, A., Chai, B. H. T., Kuzyk, M. G., ... Moore, D. T. (2018). *Handbook of optical materials*. CRC press.
- Hecht, E. (2012). *Optics*. Pearson Education India.
- Hofmann, P. (2022). *Solid state physics: an introduction*. John Wiley & Sons.
- Kenyon, I. R. (2008). *The light fantastic: a modern introduction to classical and quantum optics*. Oxford University Press, USA.
- Kumar, S., & Deen, M. J. (2014). *Fiber optic communications: fundamentals and applications*. John Wiley & Sons.
- Minami, K. (2010). Optical plastics. *Handbook of Plastic Optics*, 123–160.
- Nebel, C. E. (2017). General properties of diamond. In *Nanodiamonds* (hal. 1–24). Elsevier.
- Palik, E. D. (1998). *Handbook of optical constants of solids* (Vol. 3). Academic press.
- Saleh, B. E. A., & Teich, M. C. (2019). *Fundamentals of photonics*. John Wiley & sons.
- Wyszecki, G., & Stiles, W. S. (2000). *Color science: concepts and methods, quantitative data and formulae* (Vol. 40). John Wiley & sons.

BIODATA PENULIS



Safira Fegi Nlsrina

Dosen Universitas Widya Husada Semarang

Safira Fegi Nlsrina, lahir di Semarang, 28 September 1996. Melanjutkan Pendidikan ke jenjang sarjana jurusan Teknik elektro di Universitas Islam Sultan Agung Semarang pada tahun 2014. Dipercayakan menjadi asisten pelaksana praktikum di laboratorium Dasar Telekomunikasi pada tahun 2016. Kemudian dengan bekal ilmu sarjana melanjutkan studi pasca sarjana S2 di Universitas Islam Sultan Agung Semarang jurusan Teknik elektro pada tahun 2020.

Sejak tahu 2020 menjadi dosen/ tenaga pengajar di salah satu perguruan tinggi swasta yakni Universitas Widya Husada Semarang untuk mengampu beberapa mata kuliah pada program studi Teknologi ELEktro Medis.

BIODATA PENULIS



St.Amina H.Umar

Dosen Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik
Universitas Sawerigading Makassar

St.Amina H.Umar, Lahir Di Pammase Desa Selli Kec.Bengo Kab.Bone 17 Januari 1978, Pendidikan S1 diSTMIK DIPANEGARA, S2 di UNHAS pada Jurusan Teknik Informatika Elektro, anak dari pasangan H.Umar Malatta dan Hj.Radiah. Menjadi tenaga pengajar di Universitas Sawerigading Makassar sejak tahun 2005 sampai sekarang. Telah menerbitkan buku sebagai bahan ajar material teknik pengantar sistem informasi manajemen, aplikasi pembelajaran, teknologi jaringan komputer, keamanan komputer.

BIODATA PENULIS



Dr. Ir. Usman Umar, ST. MT.

Dosen Program Studi Teknologi Elektro-medis
Politeknik Muhammadiyah Makassar

Penulis lahir di Libureng, Bone tanggal 18 Oktober 1972. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Program Studi Teknologi Elektro-medis, Politeknik Muhammadiyah Makassar. Menyelesaikan pendidikan D3 pada Jurusan Teknik Mesin di Politeknik Negeri Ujung Pandang, melanjutkan S1 pada Jurusan Teknik Elektro. kemudian melanjutkan S2 pada program studi Teknik Industri, mengambil profesi Insinyur pada Program Profesi Insinyur dan melanjutkan program Dokktor S3 pada program studi Teknik Elektro. Penulis menekuni penelitian dan menulis artikel.

Penulis sebelum menjadi Dosen tetap terlebih dahulu bekerja di beberapa industri PMA dan PMDN diantaranya di perusahaan produsen tepung terigu PT. Eastern Pearl Flour Mills Makassar, PT. Cerestar Flour Mills di Cilegon Banten, PT. Lumbung Nasional Flour Mills Di Cibitung Jawa Barat, pada perusahaan Beverage yaitu PT. Tirta Fresindo Jaya (PT. Mayora Group), Perusahaan Retail sebagai Pengelolah Mall di Mall GTC Makassar Lippo Mall group.

Saat ini aktif dalam organisasi yaitu APINDO Makassar, Persyarikatan Muhammadiyah dan Organisasi Persatuan Dosen.

BIODATA PENULIS



Danang Hendrawan,S.T, M.T.

Dosen Program Studi Teknik Elektro
Sekolah Tinggi Teknik Pati

Penulis adalah staf pengajar di jurusan Teknik Elektro Sekolah Tinggi Teknik Pati. Sebelum menjadi staf mengajar ia dulunya mengambil kuliah S1 tahun 2016 di Universitas Islam Sultan Agung Semarang kemudian meneruskan Pendidikan S2 di tahun 2020 pada Univeritas Diponegoro Semarang . Saat ini ia banyak memberikan kuliah dibidang mikrokontroler, robotika dan pembangkit energi terbarukan, selain menggeluti pengembangan robotika diindonseia ia juga menggeluti pengembangan energi terbarukan. Penulis dapat dihubungi pada Alamat berikut, Alamat kantor : Sekolah Tinggi Teknik Pati,Ngepungrojo, Kecamatan Pati Kabupaten Pati Jawa Tengah Indonesia 59119, Alamat email : dananghendrawan70@gmail.com.

BIODATA PENULIS



Sukriyah Buwarda, ST., MT

Dosen Program Studi Otomasi Sistem Permesinan
Politeknik ATI Makassar

Penulis lahir di Makassar tanggal 18 Juli 1987. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Otomasi Sistem Permesinan, Politeknik ATI Makassar, Sulawesi Selatan. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Teknik Elektro dan melanjutkan S2 pada Jurusan Teknik Elektro.

BIODATA PENULIS



Prasepvianto Estu Broto, S.Si., M.Si.

Dosen Program Studi Fisika

Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Makassar

Prasepvianto Estu Broto, lahir di Wonogiri, Jawa Tengah pada Tanggal 21 Agustus 1988. Lahir sebagai anak pertama dari tiga bersaudara dan merupakan putra dari pasangan Suratmo dan Dari Riyani (almarhumah). Penulis menempuh pendidikan dasar pada SD Negeri 6 Wonogiri Tahun 1994 sampai Tahun 2000. Kemudian melanjutkan pendidikan tingkat Sekolah Menengah Pertama di SMP Negeri 1 Wonogiri dan tamat pada Tahun 2003. Selanjutnya Sekolah Menengah Umum di SMA Negeri 1 Wonogiri mulai Tahun 2003 dan tamat Tahun 2006. Penulis berhasil lolos pada Jurusan Fisika FMIPA Institut Pertanian Bogor program Strata Satu (S1) Tahun 2006. Pada Tahun 2015 penulis melanjutkan pendidikan program Strata Dua (S2) pada Jurusan FMIPA Fisika di Universitas Indonesia. Pada Tahun 2019 penulis berhasil lulus menjadi dosen di Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Teknologi UIN Alauddin Makassar.

BIODATA PENULIS



Dr. Fitri Puspasari, S.Si., M.Sc
Dosen Program Studi Teknologi Rekayasa Elektro
Sekolah Vokasi Universitas Gadjah Mada

Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Teknologi Rekayasa Elektro Sekolah Vokasi, Universitas Gadjah Mada. Penulis lahir di Sragen tanggal 04 Maret 1991 dan telah menyelesaikan pendidikan doktor di FMIPA UGM pada tahun 2024. Ia aktif terlibat dalam beberapa proyek penelitian yang bertujuan untuk mengembangkan teknologi baru dan meningkatkan aplikasi rekayasa elektro dan fisika instrumentasi dalam berbagai bidang.

BIODATA PENULIS



Risnawaty Alyah, ST, MT

Dosen Program Studi Teknik Elektro
Fakultas Teknik Elektro Universitas Sawerigading Makassar

Penulis lahir di Makassar, pada tanggal 12 Februari 1971 sebagai anak ke-4 dari 4 bersaudara dari pasangan Baginda Ali dan Hamisah. Saat ini penulis bertempat tinggal di jalan Dr. Ratulangi Gang 1 No. 33, Kelurahan Parang Kecamatan Mamajang. Pendidikan Sarjana (S1) ditempuh di Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muslim Indonesia, lulus pada Tahun 1996. Dan pada Tahun 2006, penulis diterima di Program Pascasarjana (S2) Teknik Elektro Universitas Hasanuddin dan selesai pada tahun 2009. Penulis biasa di sapa Risna. Saat ini adalah sebagai dosen tetap yayasan Progran Studi Teknik Elektro Universitas Sawerigading Makassar. Penulis mengampu mata kuliah Elektronika Telekomunikasi, Kinerja Sistem Telekomunikasi, Sistem Telekomunikasi Serat Optik.