

BAB V

SIFAT LISTRIK

- Hukum Ohm :

$$V = IR$$

V = Tegangan, Volt

I = Arus, Ampere

R = Tahanan, Ohm

- Resistivitas, ρ :

$$\rho = \frac{R \cdot A}{\ell} = \frac{VA}{I\ell}$$

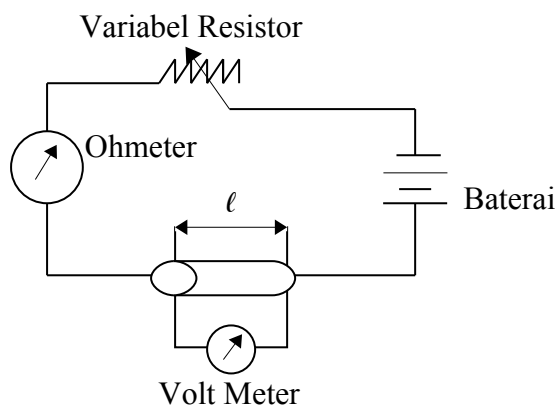
ρ = resistivitas, ohm-meter (Ω -m)

ℓ = jarak antara 2 titik pengukuran

A = Luas penampang tegak lurus dengan arah arus.

σ = Konduktivitas Listrik, (Ω -m)⁻¹ atau mho/m

$$\sigma = \frac{1}{\rho}$$



Gambar 1. Skema Pengukuran Tahanan Listrik

- Rapat Arus, J :

$$J = \sigma \cdot E$$

J = Rapat arus, I/A

$$E = \text{Intensitas medan listrik}$$
$$= V/l$$

Berdasarkan sifat listriknya material dibedakan atas: konduktor, semi-konduktor, dan isolator.

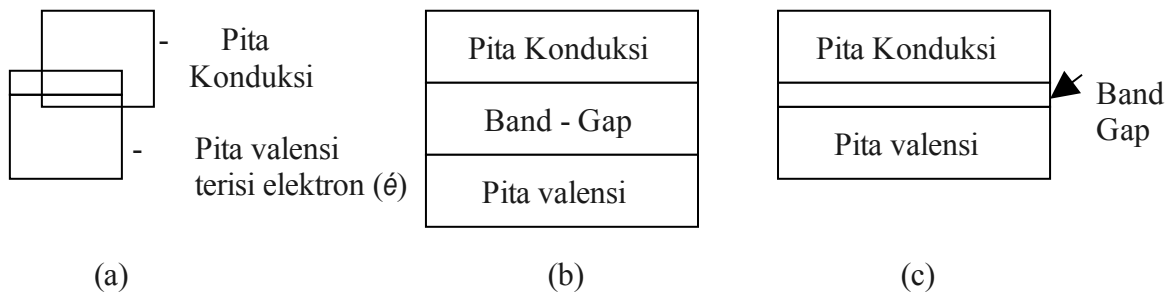
- Konduktor → contoh: logam [$\sigma = 10^7 (\Omega\text{M})^{-1}$]
- Isolator → σ antara 10^{-10} dan $10^{-20} (\Omega\text{M})^{-1}$
- Semikonduktor → σ antara 10^{-6} dan $10^4 (\Omega\text{M})^{-1}$

ARUS LISTRIK

Adalah gerakan partikel muatan listrik karena gaya medan listrik yang diberikan muatan (+) → searah medan
muatan (-) → berlawanan medan.

Pada bahan padat, arus listrik adalah pergerakan elektron atau disebut juga konduksi elektronik. Pada bahan ion, arus listrik adalah gerakan ion dan disebut juga konduksi ionic.

Sifat listrik bahan padat adalah konsekuensi struktur pita elektron terluar dan bagaimana pita ini diisi oleh elektron. Pita elektron terdiri dari dua bagian yaitu: pita valensi dan pita konduksi. Pita elektron menggambarkan tingkat energi yang dimiliki oleh elektron. Gambar 2 menunjukkan kondisi pita elektron untuk logam (magnesium), isolator dan semi konduktor. Band gap adalah selisih atau celah energi antara pita valensi dengan pita konduksi. Pada logam terlihat bahwa tidak terdapat celah energi antara pita valensi dan pita konduksi, namun kedua pita ini tumpang tindih satu sama lainnya.



Gambar 2. Kondisi pita elektron bahan padat pada 0° K. (a) Logam magnesium (tipikal logam), (b) Isolator → Band Gap > 2 eV, dan (c) Semikonduktor → Band Gap < 2 eV.

Arus listrik adalah elektron yang bergerak dimana Bergeraknya elektron ini terjadi apabila tingkat energinya berada pada pita konduksi.

RESISTIVITAS LISTRIK DARI LOGAM

Resistivitas listrik dipengaruhi oleh vibrasi termal, impuritas/pengotoran dan deformasi plastis. Secara matematis ditulis sebagai:

$$\rho_{total} = \rho_t + \rho_i + \rho_d$$

dimana notasi t = Vibrasi termal, i = impuritas, d = deformasi

- Resistivitas karena meningkatnya temperatur, dirumuskan dengan:

$$\rho_t = \rho_o + aT$$

dimana : ρ_o, a = konstan

T = temperatur

- Resistivitas karena impuritas:

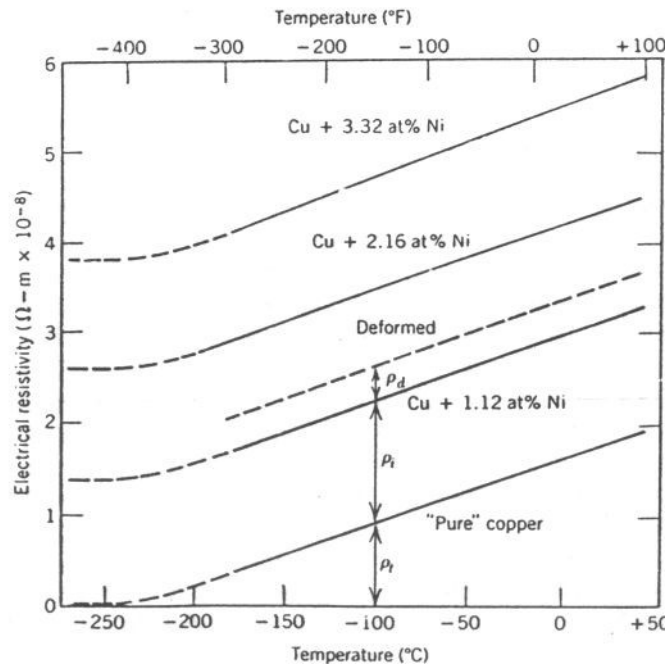
$$\rho_i = AC_i (1 - C_i)$$

C_i = Konsentrasi impuritas

A = konstanta tidak tergantung komposisi

- Resistivitas karena deformasi.

Deformasi plastik akan menaikkan resistivitas karena kenaikan jumlah dislokasi oleh penyebaran elektron. Efek deformasi terhadap resistifitas diperlihatkan oleh gambar 3.

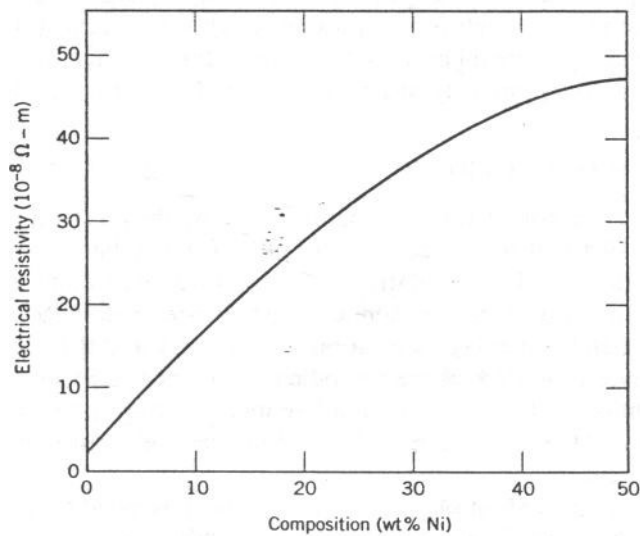


Gambar 3. Resistivitas listrik vs temperatur untuk bahan tembaga dan tiga paduan tembaga-nikel yang salah satunya mengalami deformasi. Kontribusi termal, impuritas dan deformasi terhadap resistivitas ditunjukkan pada -100°C .

Gambar 4 memperlihatkan pengaruh komposisi terhadap resistivitas listrik.

Tabel 1. Konduktivitas listrik pada temperatur ruang untuk sembilan logam dan paduan yang umum.

Logam	Konduktivitas listrik ($\Omega\text{-m}$) ⁻¹
Perak	$6,8 \times 10^7$
Tembaga	$6,0 \times 10^7$
Emas	$4,3 \times 10^7$
Aluminium	$3,8 \times 10^7$
Besi	$1,0 \times 10^7$
Kuningan (70 Cu – 30 Zn)	$1,6 \times 10^7$
Platinum	$0,94 \times 10^7$
Baja karbon biasa	$0,6 \times 10^7$
Baja tahan karat	$0,2 \times 10^7$



Gambar 4. Resistifitas listrik pada temperatur ruang vs komposisi pada paduan tembaga-nikel.

SEMI KONDUKTIVITAS

Konduktivitas bahan semi konduktor tidaklah sebesar logam namun memberikan manfaat yang besar. Oleh sebab itu bahan ini disebut bahan semi konduktor.

Dua jenis Semi konduktor :

- semikonduktor intrinsik : bahan murni tanpa adanya pengotor bahan lain
- semikonduktor ekstrinsik : bahan mengandung impuritas dari bahan lain

Semikonduktor Intrinsik

Semikonduktor intrinsik mempunyai karakteristik seperti yang ditunjukkan oleh gambar 2c. Dua bahan semikonduktor elemental adalah silikon (Si) dan germanium (Ge) yang masing-masingnya mempunyai energi band gap 1,1 dan 0,7 eV. Kedua unsur ini berada pada group IVA pada tabel periodik dan mempunyai ikatan kovalen. Senyawa-senyawa tertentu juga mempunyai sifat semikonduksi intrinsik seperti senyawa antara unsur golongan IIIA dengan VA. Sebagai contoh galium arsenide (GaAs) dan indium antimonide (InSb). Senyawa yang terdiri dari unsur golongan IIB dan VIA juga memperlihatkan sifat semi

konduksi seperti cadmium sulfide (CdS) dan zinc telluride (ZnTe). Tabel 2 memberikan harga band gap untuk beberapa senyawa semikonduktor.

Tabel 2. Energi band gap, mobilitas elektron dan hole dan konduktivitas listrik intrinsik pada temperatur ruang untuk berbagai bahan semikonduktor.

Bahan	Band gap (eV)	Konduktivitas Listrik ($\Omega\text{-m}^{-1}$)	Mobilitas elektron ($\text{m}^2/\text{V-s}$)	Mobilitas hole ($\text{m}^2/\text{V-s}$)
Elemental				
Si	1,11	4×10^{-4}	0,14	0,05
Ge	0,67	2,2	0,38	0,18
Senyawa III-V				
GaP	2,25	-	0,05	0,002
GaAs	1,42	10^{-6}	0,85	0,45
InSb	0,17	2×10^{-6}	7,7	0,07
Senyawa II-VI				
CdS	2,40	-	0,03	-
ZnTe	2,26	-	0,03	0,01

Konsep Hole

Pada semikonduktor intrinsik, untuk setiap elektron yang mengalami kenaikan energi ke level pita konduksi akan meninggalkan kekosongan elektron pada salah satu dari ikatan kovalennya. Dibawah pengaruh medan listrik, posisi kehilangan elektron pada kisi kristal bisa digambarkan sebagai gerakan elektron valensi yang lain yang secara berulang akan mengisi kekosongan ini (gambar 5). Proses ini bisa dijelaskan dengan memperlakukan daerah yang kehilangan elektron ini sebagai partikel yang bermuatan positif atau disebut juga *hole*. Hole dianggap mempunyai muatan sama dengan elektron tetapi dengan tanda yang berlawanan ($+1,6 \times 10^{-19}$ C). Sehingga dengan adanya medan listrik, elektron yang tereksitasi dan hole bergerak saling berlawanan arah.

Konduktivitas Intrinsik

Karena ada dua pembawa muatan (elektron bebas dan hole) pada semikonduktor intrinsik, maka rumus konduktivitas menjadi:

$$\sigma = n|e|\mu_e + p|e|\mu_h$$

dimana: p = jumlah hole per meter kubik

n = jumlah elektron per meter kubik

μ_h = mobilitas hole

μ_e = mobilitas elektron

Untuk semikonduktor intrinsik:

$$n = p$$

sehingga:

$$\sigma = n|e|(\mu_e + \mu_h) = n|e|(\mu_e + \mu_h)$$

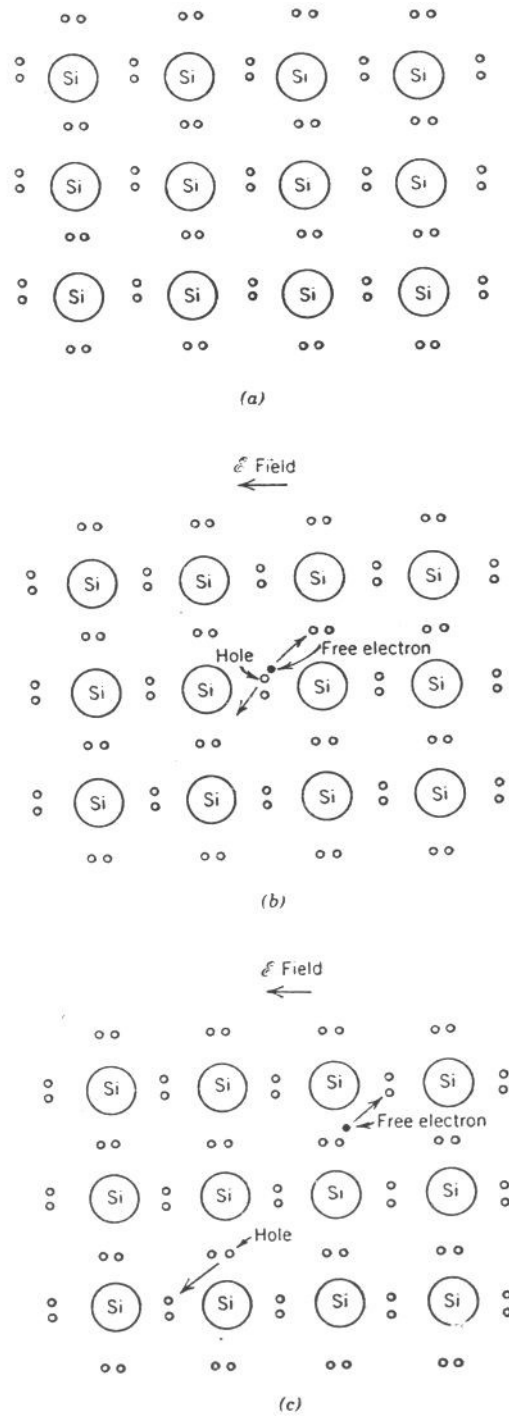
Contoh soal

Untuk silikon intrinsik, konduktivitas listrik pada temperatur ruang adalah $4 \times 10^{-4} (\Omega\text{-m})^{-1}$; mobilitas elektron dan hole masing-masingnya adalah 0,14 dan 0,048 $\text{m}^2/\text{V}\text{-s}$. Hitunglah konsentrasi elektron dan hole pada temperatur ruang.

Jawab.

Karena bahan adalah intrinsik, konsentrasi elektron dan hole akan sama, sehingga:

$$\begin{aligned} n = p &= \frac{\sigma}{|e|(\mu_e + \mu_h)} \\ &= \frac{4 \times 10^{-4} (\Omega\text{-m})^{-1}}{(1,6 \times 10^{-19} \text{ C})(0,14 + 0,048 \text{ m}^2/\text{V}\text{-s})} \\ &= 1,33 \times 10^{16} \text{ m}^{-3} \end{aligned}$$



Gambar 5. Model konduksi listrik pada semi konduktor intrinsik silikon. (a) sebelum eksitasi. (b) dan (c) setelah eksitasi (elektron bergerak karena medan listrik).

Semi konduktor ekstrinsik

Bahan semi konduktor yang diberikan/mengandung impuritas .

Pada kenyataannya semua semikonduktor komersial adalah berjenis ekstrinsik, sehingga sifat listriknya ditentukan oleh impuritas.

misal : bahan semikonduktor diberikan impuritas fosfor (p)

semikonduktor ekstrinsik:

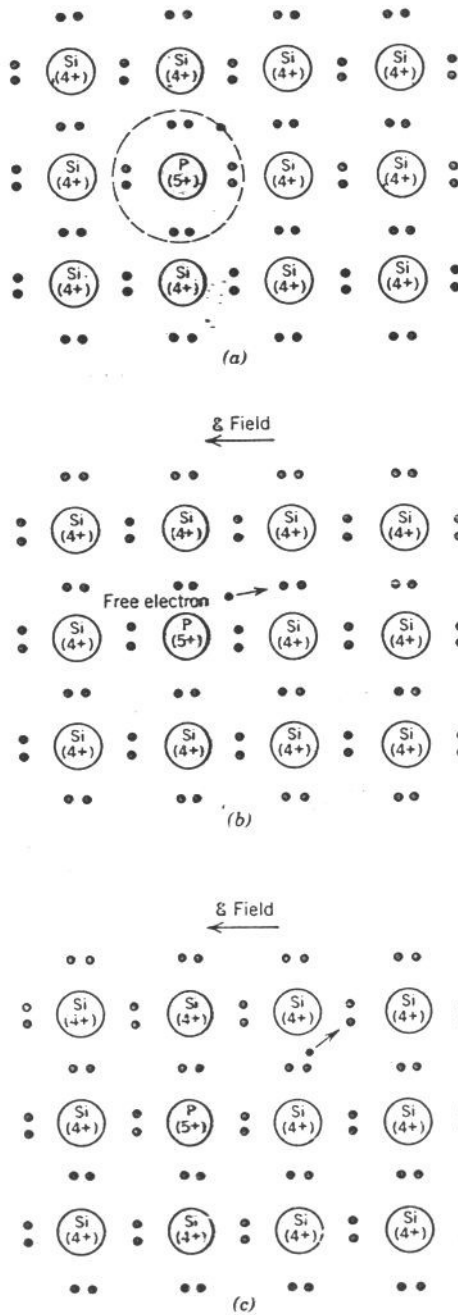
- tipe n: kelebihan elektron
- tipe p : kelebihan hole dan kekurangan elektron

Semikonduktor Ekstrinsik Tipe-n

Silikon (Si) mempunyai elektron valensi yang masing-masingnya berikatan kovalen dengan elektron valensi unsur silikon lainnya. Misalkan Silikon dimasukkan atom pengotor yang mempunyai elektron valensi 5 (misalnya P, As dan Sb). Hanya 4 elektron dari atom pengotor ini yang bisa berikatan dengan 4 atom Si, sehingga elektron ke lima menjadi bebas seperti yang ditunjukkan oleh gambar 6a karena energi ikat elektron ini sangatlah kecil. Elektron ini bisa bergerak dengan mudah sehingga elektron ini menjadi elektron konduksi (gambar 6b dan 6c).

Jumlah elektron pada pita konduksi akan melebihi jumlah hole ($n \gg p$), sehingga rumus konduktivitas listrik menjadi:

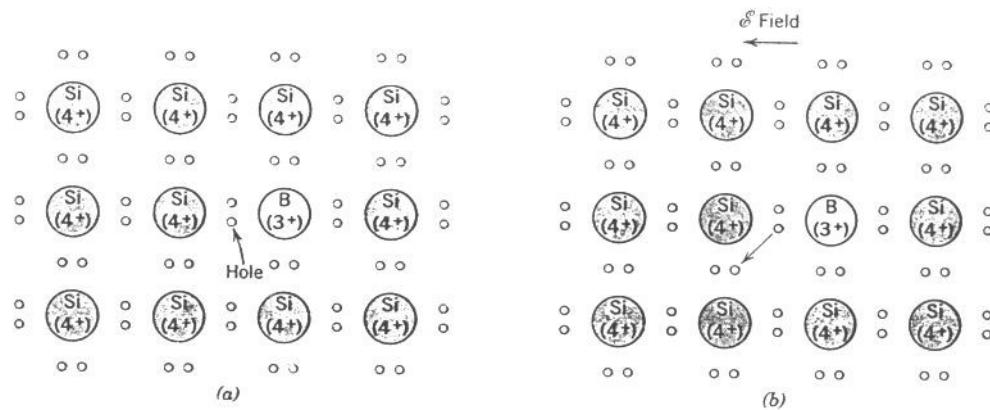
$$\sigma \approx n |e| \mu_e$$



Gambar 6. Model semikonduktor jenis-n. (a) atom pengotor seperti posfor mempunyai elektron valensi 5 yang akan menggantikan elektrton silikon, dan menyisakan 1 ikatan elektron ekstra. (b) Eksitasi membentuk elektron bebas. (c) Pergerakan elektron bebas karena medan listrik.

Semikonduktor Ekstrinsik Tipe-p

Efek yang berlawanan akan dihasilkan apabila silikon atau germanium mendapat atom pengotor dengan jumlah elektron valensi tiga. Satu dari empat ikatan kovalen pada silikon atau germanium akan kekosongan elektron, dimana kekurangan ini akan ditandai dengan adanya hole. Hole ini akan diisi oleh elektron dari atom yang berdekatan sehingga hole akan berpindah ke tempat elektron yang pindah tersebut berada. Pertukaran posisi elektron dan hole ini ditunjukkan oleh gambar 7. Hole yang bergerak dianggap mempunyai keadaan tereksitasi dan akan mengakibatkan proses konduksi.



Gambar 7. Model semikonduktor ekstrinsik tipe-p. (a) atom impuritas seperti boron, mempunyai tiga elektron valensi bisa menempati posisi atom silikon. Hal ini akan mengakibatkan kurang satu elektron atau sebuah hole pada atom impuritas tersebut. (b) Pergerakan hole ini karena adanya medan listrik.

Alat-alat semikonduktor

- p-n junction (diode)
- transistor, mosfet
- dsb.

SIFAT DIELEKTRIK

Material dielektrik adalah bahan yang terisolasi secara listrik dan menunjukkan gejala struktur dipole yaitu pemisahan muatan listrik secara positif dan negatif.

Kapasitansi

Besarnya muatan listrik yang tersimpan pada plat/atau material dielektrik (kapasitor).

Kapasitansi dirumuskan:

$$C = Q / V$$

C = Kapasitas, farad

V = Tegangan, Volt

Q = muatan listrik, coulomb

Kapasitansi bisa dihitung dengan persamaan berikut:

$$C = \epsilon_0 A / L$$

ϵ_0 = permitivitas vacuum, $8,85 \times 10^{-12}$ F/m

A = luas plat

L = jarak pelat

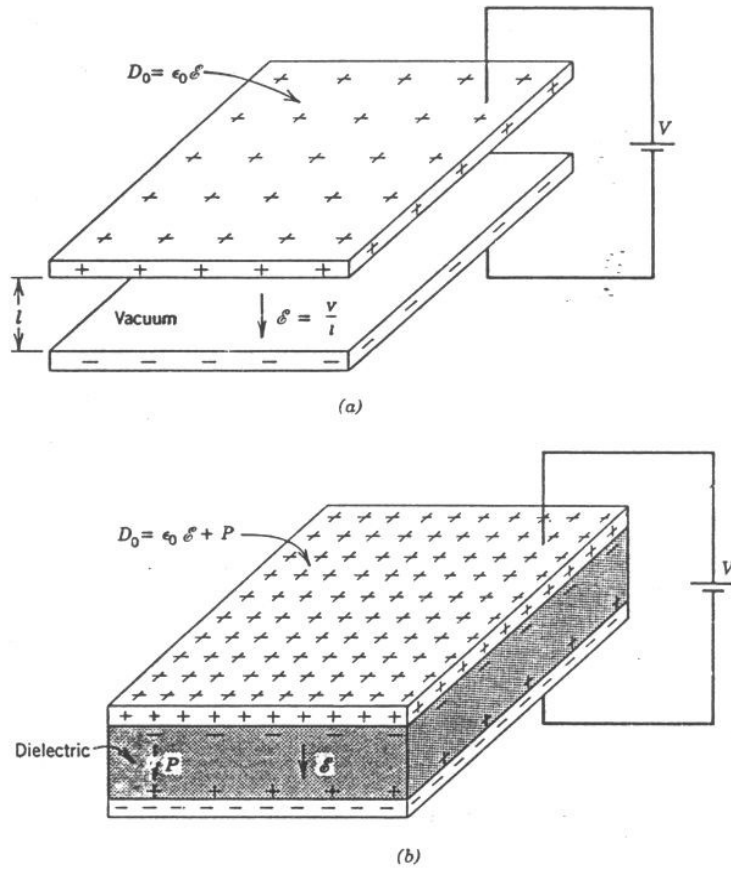
Jika bahan dielektrik dimasukkan diantara pelat maka:

$$C = \epsilon A / L$$

ϵ = Permitivitas bahan dielektrik $> \epsilon_0$

Konstanta dielektrik, ϵ_r :

$$\epsilon_r = \epsilon / \epsilon_0 \qquad \epsilon_r > 1$$



Gambar 8. Kapasitor pelat sejajar (a) jika terdapat vakum dan (b) jika terdapat bahan dielektrik.

Tabel 3. Konstanta dielektrik dari beberapa material dielektrik.

Material	Konstanta dielektrik	
	60 Hz	1 MHz
Keramik		
Keramik titanat	-	15-10.000
Mika	-	5,4 – 8,7
Steatite (MgO-SiO ₂)	-	5,5 – 7,5
Gelas soda-lime	6,9	6,9
Poselen	6,0	6,0
Fused silica	4,0	3,8
Polimer		
Phenol-formaldehide	5,3	4,8
Nylon 6,6	4,0	3,6
Polystyrene	2,6	2,6
Poly ethylene	2,3	2,3
Polytetrafluoroethylene	2,1	2,1

BAB VI

SIFAT TERMAL

Sifat termal adalah respon material terhadap panas. Ketika bahan padat menyerap energi panas maka temperaturnya akan naik dan dimensinya bertambah.

Kapasitas panas/kalor, C adalah kemampuan material untuk menyerap energi panas dari lingkungannya, atau sejumlah energi yang dibutuhkan untuk menaikkan 1 unit temperatur.

$$C = dQ / dT$$

C = kapasitas panas / kalor

dQ = energi yang dibutuhkan

dT = kenaikan temperatur

Satuan C : J/Mol-K, Cal/Mol-K

C_v = kapasitas kalor pada volume konstan

C_p = kapasitas kalor pada tekanan konstan

Kalor Spesifik

Yang dimaksud dengan kalor spesifik adalah kapasitas kalor per satuan massa.
satuan kalor spesifik: J/kg-K, Cal/g-K, BTU/lbm^oF

Pada bahan padat penyerapan energi panas akan meningkatkan energi vibrasi/getar atom disebut juga phonon.

Ekspansi Termal

Bahan padat akan berekspansi ketika dipanaskan dan menciut ketika didinginkan

$$L_f - L_o / L_o = \alpha_1 (T_f - T_o)$$

L_f = panjang akhir

L_o = panjang awal

α_1 = koefisien muai termal linier

T_f = temperatur akhir

T_o =temperatur awal

Tabel 1. Tabulasi sifat termal dari berbagai bahan.

Table 20.1 Tabulation of the Thermal Properties for a Variety of Materials

Material	c_p (J/kg-K) ^a	α_l [(°C) ⁻¹ × 10 ⁻⁶] ^b	k (W/m-K) ^c	L [Ω-W/(K) ² × 10 ⁻⁵]
<i>Metals</i>				
Aluminum	900	23.6	247	2.20
Copper	386	17.0	398	2.25
Gold	128	14.2	315	2.50
Iron	448	11.8	80	2.71
Nickel	443	13.3	90	2.08
Silver	235	19.7	428	2.13
Tungsten	138	4.5	178	3.20
1025 Steel	486	12.0	51.9	—
316 Stainless steel	502	16.0	15.9	—
Brass (70Cu-30Zn)	375	20.0	120	—
Kovar (54Fe-29Ni-17Co)	460	5.1	17	2.80
Invar (64Fe-36Ni)	500	1.6	10	2.75
Super Invar (63Fe-32Ni-5Co)	500	0.72	10	2.68
<i>Ceramics</i>				
Alumina (Al ₂ O ₃)	775	7.6	39	—
Magnesia (MgO)	940	13.5 ^d	37.7	—
Spinel (MgAl ₂ O ₄)	790	7.6 ^d	15.0 ^e	—
Fused silica (SiO ₂)	740	0.4	1.4	—
Soda-lime glass	840	9.0	1.7	—
Borosilicate (Pyrex) glass	850	3.3	1.4	—
<i>Polymers</i>				
Polyethylene (high density)	1850	106–198	0.46–0.50	—
Polypropylene	1925	145–180	0.12	—
Polystyrene	1170	90–150	0.13	—
Polytetrafluoroethylene (Teflon)	1050	126–216	0.25	—
Phenol-formaldehyde, phenolic (Bakelite)	1590–1760	122	0.15	—
Nylon 6,6	1670	144	0.24	—
Polyisoprene	—	220	0.14	—

^a To convert to cal/g-K, multiply by 2.39 × 10⁻⁴; to convert to Btu/lb_m-°F, multiply by 2.39 × 10⁻⁴.

^b To convert to (°F)⁻¹, multiply by 0.56.

^c To convert to cal/s-cm-K, multiply by 2.39 × 10⁻³; to convert to Btu/ft-h-°F, multiply by 0.578.

^d Value measured at 100°C.

^e Mean value taken over the temperature range 0–1000°C.

Perubahan Volume Karena Perubahan Temperatur,

dirumuskan:

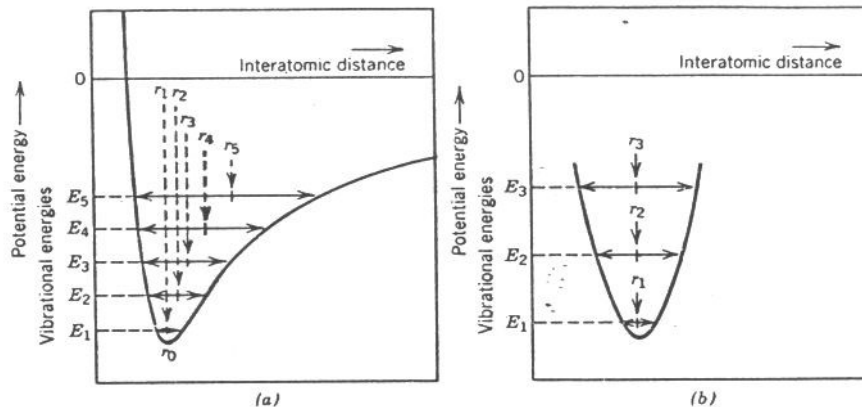
$$\Delta V / V_0 = \alpha_v \Delta t$$

ΔV = perubahan volume

α_v = koefisien muai termal volume

V_0 = volume awal

Pada skala atom, ekspansi termal merupakan kenaikan jarak rata-rata antar atom. Gambar berikut adalah gambar energi potensial vs jarak antar atom.



Gambar 3. (a) Plot energi potensial vs jarak antar atom, menunjukkan kenaikan jarak antar atom dengan kenaikan temperatur. Karena pemanasan, jarak antar atom naik dari r_0 ke r_1 ke r_2 , dan seterusnya. (b) Untuk kurva energi potensial simetrik vs jarak antar atom, tidak ada kenaikan jarak antar atom karena kenaikan temperatur ($r_1 = r_2 = r_3$).

Pada logam, koefisien muai termal linier berada pada daerah 5×10^{-6} s/d 25×10^{-6} ($^{\circ}\text{C}$)⁻¹

Konduktivitas Termal

Konduksi termal adalah fenomena dimana kalor/panas dipindahkan dari temperatur tinggi ke temperatur rendah pada suatu zat/benda. Secara matematik:

$$q = -k dT / dx$$

q = fluks kalor / laju kalor, W/m²(BTU/ft²-h)

k = konduktivitas termal, W/m-K (BTU/ft-h-°F)

dT / dx = gradien temperatur terhadap media

Tanda negatif pada persamaan menunjukkan arah aliran kalor adalah dari panas ke dingin.

Panas dipindahkan pada material adalah karena gelombang vibrasi kisi (phonon) dan elektron bebas

- pada logam: konduksi termal dominan karena elektron bebas.
- phonon sangat dominan pada konduksi termal keramik.
- pada polimer: besarnya konduktivitas termal tergantung derajat kristalisasi. polimer yang mempunyai derajat kristalisasi tinggi akan mempunyai konduktivitas termal lebih tinggi.

Tegangan Termal

Tegangan termal diakibatkan karena perubahan temperatur. Tegangan termal bisa mengakibatkan patah atau deformasi plastis yang tak diinginkan. Secara matematik:

$$\sigma = E \alpha_1 (T_o - T_f) = E \alpha_1 \Delta T$$

σ = tegangan termal

E = modulus elastisitas

pada $t_f > t_o$ = tegangan kompresi ($t < 0$)

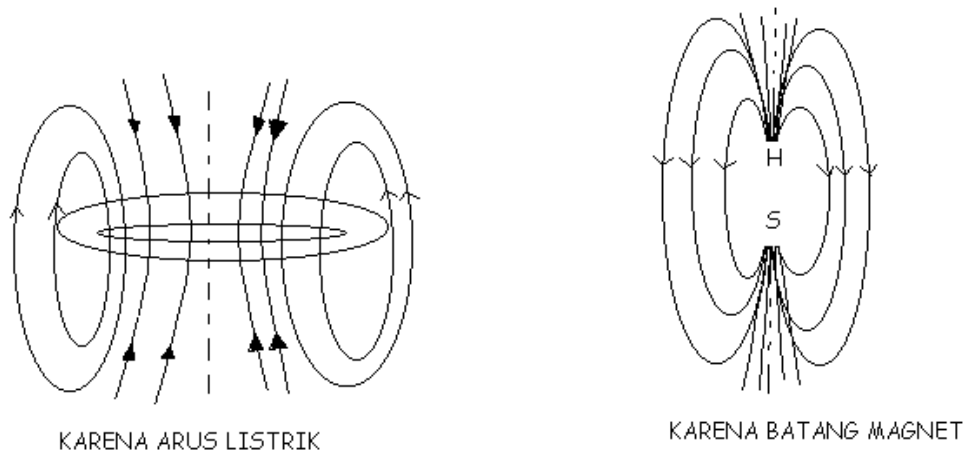
pada $t_f < t_o$ = tegangan tarik ($t > 0$)

BAB VII

SIFAT MAGNET

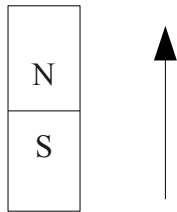
Sifat magnet banyak dipergunakan pada alat-alat : generator pembangkit listrik, motor listrik, radio, televisi, telepon, komputer, dan sistem reproduksi suara dan video.

Kutub magnetik dibangkitkan oleh gerakan partikel bermuatan listrik. Gaya magnetik kadang-kadang disebut juga medan magnet.



Gambar 1. Garis medan magnet di sekeliling arus listrik dan batang magnet.

Magnetic dipole (dipol magnet) digambarkan sebagai sebuah batang magnet yang mempunyai kutub utara dan selatan. Magnetik dipole bisa juga digambarkan dengan tanda panah.



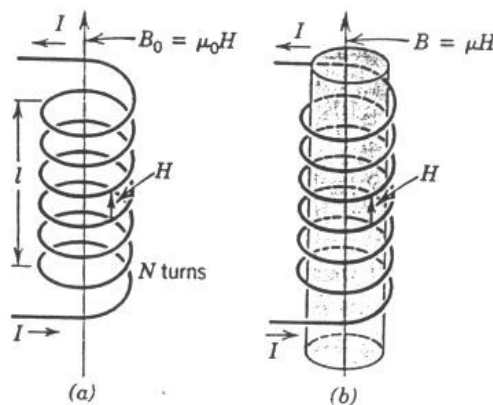
Gambar 2. Momen magnet ditunjukkan oleh tanda panah. (N = north/utara, S = south/selatan).

Kekuatan medan Magnet, H

Kekuatan medan magnet H , adalah medan magnet yang diperoleh dari eksternal. Jika medan magnet dihasilkan oleh koil silinder (atau solenoid) yang terdiri dari N gulungan rapat, dengan panjang l , dan mengalirkan arus I maka berlaku:

$$H = \frac{N \cdot I}{l}$$

H dalam Ampere Putar/m Atau Ampere/m



Gambar 3. (a) Medan magnet H dibangkitkan oleh koil silinder yang bergantung pada arus I , jumlah gulungan N , panjang koil l . Kerapatan fluks magnet B_0 pada daerah vakum sama dengan $\mu_0 H$, dimana μ_0 adalah permeabilitas vakum, $4\pi \times 10^{-7}$ H/m. (b) Kerapatan fluks magnet di dalam bahan padat sama dengan μH , dimana μ adalah permeabilitas dari bahan padat.

Induksi Magnetik atau Kerapatan Fluks Magnetik, (B)

Induksi magnetik atau kerapatan fluks magnetik adalah jumlah besarnya kekuatan medan internal karena pengaruh medan magnet, H .

$$B = \mu H$$

μ = permeabilitas , weber/ ampermeter, Wb/A

Pada keadaan vakum:

$$B_0 = \mu_0 H$$

Dimana: $\mu_0 H$ = permeabilitas vakum = $4\pi \times 10^{-7} = 1,257 \times 10^{-6}$ H/m

Beberapa parameter bisa digunakan untuk menerangkan sifat magnet bahan padat. Satu daripadanya adalah permeabilitas bahan terhadap permeabilitas vakum, atau:

$$\mu_r = \mu / \mu_0$$

dimana: μ_r = permabilitas relatif

Magnetisasi, M :

$$B = \mu_0 H + \mu_0 M$$

Karena medan H , momen magnetik pada bahan cenderung menjadi lurus dengan medan dan kemudian diperkuat dengan medan magnet sebesar $\mu_0 M$. Besarnya M sebanding dengan medan yang diberikan sebesar:

$$M = \chi_m H$$

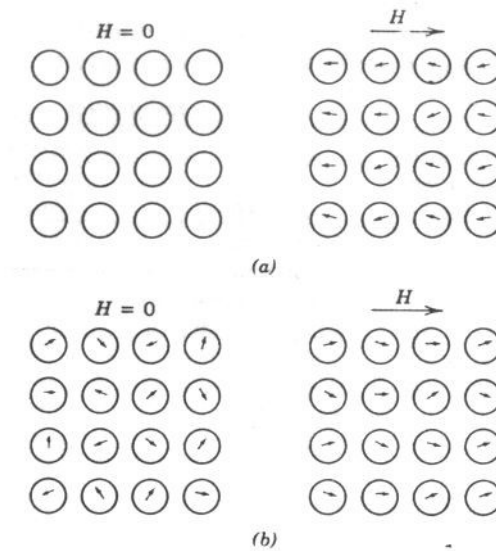
$$\chi_m = \mu_r - 1$$

χ_m =susceptibility magnet

Diamagnetik dan paramagnetik: adalah material yang non-magnetik karena hanya menunjukkan sifat magnet ketika ada medan magnet dari luar.

Diamagnetik : bahan yang bentuk magnetnya paling lemah dan tidak permanen. magnet timbul hanya jika ada medan magnet dari luar

Paramagnetik : material yang mempunyai momen dipole permanen namun orientasinya random/acak. Orientasi dipole akan searah jika ada medan magnet dari luar.



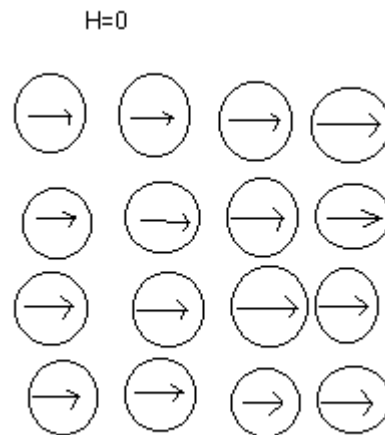
Gambar 5. (a) konfigurasi dipol atom untuk material diamagnetik dengan dan tanpa medan magnet. Ketika tidak ada medan magnet, tidak ada dipol yang terbentuk; ketika terdapat medan magnet, dipole searah dengan arah yang berlawanan dengan arah medan. (b) konfigurasi dipol atom dengan dan tanpa medan magnet eksternal untuk material paramagnetik.

Tabel 2. Susceptibility magnet pada temperatur ruang untuk material diamagnetik dan paramagnetik.

Diamagnetik		Paramagnetik	
Material	Susceptibility χ_m (volume) (SI unit)	Material	Susceptibility χ_m (volume) (SI unit)
Aluminium oksida	$-1,81 \times 10^{-5}$	Aluminium	$2,07 \times 10^{-5}$
Tembaga	$-0,96 \times 10^{-5}$	Chromium	$3,13 \times 10^{-4}$
Emas	$-3,44 \times 10^{-5}$	Chromium klorida	$1,51 \times 10^{-3}$
Raksa	$-2,85 \times 10^{-5}$	Manganese sulfat	$3,70 \times 10^{-3}$
Silikon	$-0,41 \times 10^{-5}$	Molybdenum	$1,19 \times 10^{-4}$
Perak	$-2,38 \times 10^{-5}$	Sodium	$8,48 \times 10^{-6}$
Sodium klorida	$-1,41 \times 10^{-5}$	Titanium	$1,81 \times 10^{-4}$
Seng	$-1,56 \times 10^{-5}$	Zirconium	$1,09 \times 10^{-4}$

Feromagnetik : material yang mempunyai momen magnetik yang permanen tanpa adanya medan magnet eksternal. Banyak dijumpai pada logam.

$$H \ll M \Rightarrow B \approx \mu_0 M$$



Gambar 7. Ilustrasi skematik dipol atom yang searah untuk bahan feromagnetik, yang timbul walau tidak ada medan magnet dari luar.

Logam yang mempunyai sifat ini adalah : besi, cobalt, nikel, gadolinium (Gd).

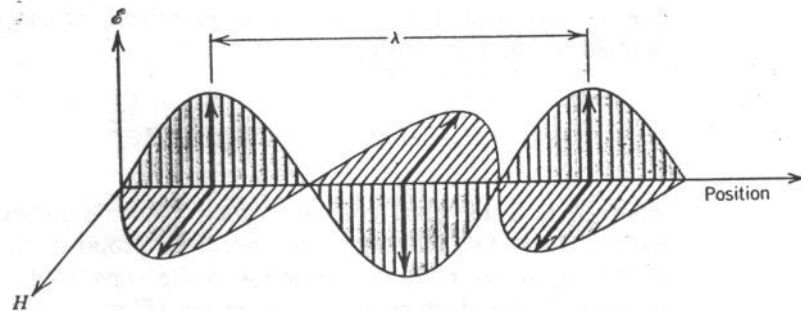
BAB VIII

SIFAT OPTIK

Sifat optik adalah respon material terhadap radiasi elektromagnetik khususnya cahaya tampak.

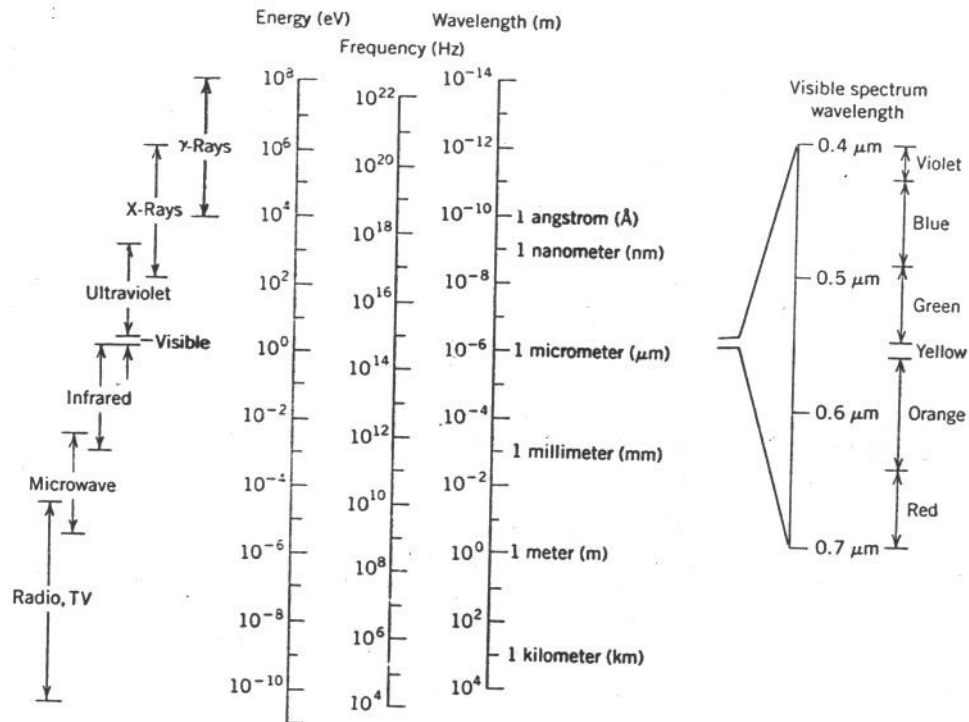
Radiasi Elektromagnetik

Bentuk radiasi elektromagnetik adalah gelombang yang terdiri dari medan listrik dan medan magnet yang saling tegak lurus.



Gambar 1. Gelombang elektromagnetik yang menunjukkan medan listrik E dan medan magnet H , dan panjang gelombang λ .

Cahaya tampak (visible light) mempunyai $\lambda=0,4 \mu\text{m}$ s/d $0,7 \mu\text{m}$. Warna yang terlihat ditentukan oleh panjang gelombang.



Gambar 2. Spektrum radiasi elektromagnetik, termasuk jangkauan panjang gelombang untuk berbagai warna cahaya tampak.

Kecepatan radiasi elektromagnetik pada ruang hampa adalah, $c = 3 \times 10^8$ m/s, dirumuskan:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}}$$

$$c = \lambda \nu$$

ϵ_0 = permitivitas listrik pada ruang hampa

μ_0 = permeabelitas magnet pada ruang hampa

ν = frekuensi, hz

Energi radiasi gelombang elektromagnetik atau energi photon, E :

$$E = h\nu = hc/\lambda$$

h = konstanta planck = $6,63 \times 10^{-34}$ Js

Jika cahaya merambat pada suatu media kedia media lainnya maka terjadi beberapa peristiwa, sebagian cahaya akan ditransmisikan, sebagian diabsorpsi oleh media dan sebagian lain dipantulkan pada batas permukaan kedua media.

$$I_o = I_T + I_A + I_R$$

atau

$$T + A + R = 1$$

I_o =intensitas cahaya datang

I_T =intensitas cahaya yang ditransmisikan

I_A =intensitas cahaya yang diabsorpsi

I_R =intensitas cahaya yang dipantulkan

T = transmisivitas = I_T/I_o

A =absorptivitas = I_A/I_o

R = reflektivitas = I_R/I_o

Material transparan : material yang mampu meneruskan cahaya dengan sedikit absorpsi dan refleksi.

Translucent material : adalah material yang mentransmisikan cahaya secara diffuse (terurai) yaitu cahaya yang betebaran didalam media. Jika ada benda dibelakangnya maka benda tersebut terlihat kabur.

opaque : material yang tidak bisa mentransmisikan cahaya tampak.

Sifat Optik Logam

Semua cahaya tampak tidak bisa ditransmisikan oleh logam, sehingga logam adalah opaque.

Sebagian besar cahaya tampak akan dipantulkan kembali ke udara, hanya sebagian kecil yang diserap. Warna logam tergantung dari panjang gelombang yang dipantulkan.

Sifat Optik Non-logam

Material non-logam bisa bersifat transparan, maka disamping absorpsi dan refleksi, refraksi, dan transmisi juga merupakan fenomena yang terjadi.

Refraksi

Refraksi adalah penurunan kecepatan gelombang cahaya tampak yang ditransmisikan didalam suatu media.

indeks refraksi (n) : rasio kecepatan pada ruang hampa, c terhadap kecepatan pada media, v :

$$n = c/v$$

Harga n dipengaruhi oleh panjang gelombang.

Tabel 1. Indeks refraksi beberapa material transparan.

Material	Indeks Refraksi rata-rata
Keramik	
Gelas silika	1,458
Gelas Borosilcate (Pyrex)	1,47
Gelas soda-lime	1,51
Kuarsa (SiO_2)	1,55
Gelas optik kerapatan tinggi	1,65
Spinel (MgAl_2O_4)	1,72
Periclase (MgO)	1,74
Corundum (Al_2O_3)	1,76
Polimer	
Polytetrafluoroethylene	1,35
Polymethyl methacrylate	1,49

Polypropylene	1,49
Polyethylene	1,51
Polystyrene	1,60

DAFTAR PUSTAKA

1. Askeland D.R., *The Science and Engineering Material*. Chapman & Hall.
2. Avner S.H., *Introduction to Physical Metallurgy*, 2nd edition, McGraw-Hill Book Company.
3. Callister W.D. Jr, *Materials Science and Engineering*. 4th edition, John Wiley & Sons, Inc., 1997.
4. Vlack L.H.Van, terj. Sriati Djaprie, *Elemen-elemen Ilmu dan Rekayasa Material*, Erlangga, 2004.