

**BUKU AJAR MATA KULIAH
BAHAN – BAHAN LISTRIK :**

KONDUKTOR – ISOLATOR dan SEMI KONDUKTOR



Ditulis oleh :
Jamaaluddin

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SIDOARJO
2019

Buku Ajar Mata Kuliah Bahan – Bahan Listrik Konduktor – Isolator Dan Semi Konduktor

Penulis :

Jamaaluddin

ISBN :

978-602-5914-87-4

Editor :

Septi Budi Sartika

M. Tanzil Multazam

Copy Editor :

Fika Megawati

Design Sampul dan Tata Letak :

Mochamad Nashrullah

Penerbit :

UMSIDA Press

Redaksi :

Universitas Muhammadiyah Sidoarjo

Jl. Mojopahit No 666B

Sidoarjo, Jawa Timur

Cetakan pertama, Oktober 2019

© Hak cipta dilindungi undang-undang

Dilarang memperbanyak karya tulis ini dengan suatu apapun
tanpa ijin tertulis dari penerbit.

KATA PENGANTAR

Bismillaahrrahmaanirrohiim

Assalamu 'alaikum, wr, wb

Dengan mengucapkan syukur alhamdulillah penulis telah menyelesaikan buku ajar BAHAN - BAHAN LISTRIK pada bagian konduktor, isolator dan semikonduktor ini. Buku ini dibuat dengan harapan memberikan kemudahan bagi siapa saja khususnya mahasiswa yang sedang kuliah untuk mendapatkan gambaran mengenai ilmu BAHAN – BAHAN LISTRIK khususnya pada bidang diatas.

Buku ini akan menyampaikan beberapa teori yang berkaitan dengan proses bagaimana terbentuknya material yang berkaitan dengan konduktor, isolator dan semikonduktor

Mulai dari bahan konduktor, isolator dan semi konduktor semuanya akan dikupas mulai dari unsur pembentuknya, karakteristik unsur pembentuk, maupun kalau sudah berbentuk material atau bahan sampai dengan pemanfaatannya untuk apa akan dijelaskan pada buku ini.

Buku ini sangat bermanfaat untuk para mahasiswa dan masyarakat umum yang tertarik mendalami masalah kelistrikan utamanya pada pengetahuan bahannya.

Penulis sangat menyadari masih adanya kekurangan dan kesalahan dalam penulisan buku ini, oleh karena kritik dan saran yang membangun kami tunggu dari para pembaca yang budiman.

Akhirnya penulis menyampaikan selamat membaca...

Walhamdulillaahi robbil 'alamiin

Wassalamu 'alaikum, wr, wb

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
KATA PENGANTAR.....	ii
DAFTAR ISI.....	iii
DAFTAR TABEL.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	vii
BAB I : Bahan Konduktor Padat	1
1.1. Definisi Konduktor / Penghantar	1
1.2. Syarat Bahan Konduktor	3
1.3. Klasifikasi Konduktor	4
1.3.1 Klasifikasi Konduktor Menurut Bahannya.....	4
1.3.2 Klasifikasi Konduktor Menurut Konstruksinya ...	7
1.3.3 Klasifikasi Konduktor Menurut Isolasinya	8
1.4. Karakteristik Konduktor	9
1.4.1 Tinjauan Kekuatan Mekanik	10
1.4.2 Tinjauan Kekuatan Listrik.....	10
1.5. Resistifitas Listrik.....	10
1.6. Koefisien Temperatur Hambatan	12
1.7. Penamaan Konduktor	12
1.8. Kriteria Mutu Penghantar	24
1.9 Tugas	26
BAB II : Bahan Tembaga	27
2.1 Definisi Kabel Tembaga	27
2.2 Ciri Kabel Tembaga.....	28
2.2.1 Pengenal Inti	29
2.2.2 Standart Warna.....	30

2.2.3	Konduktor Berdasarkan Jenis Tegangan	30
2.2.3.1	Tegangan Rendah Tanpa Perisai.....	31
2.2.3.2	Tegangan Rendah Berperisai	36
2.2.3.3	Tegangan Rendah Dengan Pelindung/ Perisai	41
2.2.4	Kabel Fleksibel (Flexible Cable)	43
2.2.5	Kabel Kontrol Kawat Fleksibel	45
2.2.6	Kabel Tegangan Menengah.....	47
2.3	Tugas	49
Bab III	: Bahan Isolator	50
3.1.	Definisi Isolator	51
3.2.	Macam – Macam Isolator.....	52
3.2.1	Kabel Selubung Karet (Eicables)	52
3.2.2	Kabel Dengan Sekubung Kertas.....	53
3.2.3	Kabel Dengan Selubung Pvc	
	(Poliviniyl Chloride)	54
3.2.4	Kabel Dengan Thermosetting.....	
	(Xlpe – Gross-Linked Polyehylene)	55
3.2.5	Kabel Dengan Lsf (Low Smoke And Fume)	56
3.2.6	Mineral (Manesium Oksida).....	57
3.3	Tugas.....	59
Bab IV	: Semikonduktor.....	60
4.1	Definisi Semikonduktor	60
4.2	Struktur Atom	62
4.3	Pita Energi	65
4.3.1	Jenis-Jenis Pita Energi	66
4.3.2	Semikonduktor Dibandingkan Konduktor Dan	
	Isolator Dengan Tinjauan Pita Energinya	70
4.4	Jenis - Jenis Semikonduktor	72

4.4.1 Semikonduktor Intrinsik.....	72
4.4.1.1 Germanium	77
4.4.1.2 Silikon	79
4.4.1.3 Galium Arsenid	82
4.4.2 Semikonduktor Ekstrinsik.....	86
4.4.2.1 Semikonduktor Ekstrinsik Tipe N	86
4.4.2.2 Semikonduktor Ekstrinsik Tipe P	88
4.4.2.3 Semikonduktor Paduan	91
4.4.3 Aplikasi Semikonduktor.....	98
4.4.4 Tugas.....	101

DAFTAR TABEL

2.1 Pengenal Inti dan Rel	29
4.1 Elemen Semikonduktor pada tabel periodik	65
4.2 Nilai hambatan jenis dan koefisien muai	
semi konduktor	71
4.3 Beberapa properti dasar silikon dan germanium	
pada 300k.....	86

DAFTAR GAMBAR

1.1	bahan konduktor	1
1.2	kawat (tanpa selubung)	2
1.3	kabel (dengan selubung isolator).....	2
1.4	BBC (Bare Copper Conductor)	4
1.5	AAC (All Aluminium Conductor)	5
1.6	AAAC (All Aluminum Alloy Conductor)	5
1.7	Copper Clad Steel (CCS).....	6
1.8	ACSR (Aluminium Conductor Steel Reinforced)	6
1.9	Kawat Berongga (Hollow Conductor)	7
1.10	Kabel telanjang	8
1.11	Kabel terselubung.....	9
1.12	Kabel twisted 2 pair	9
1.13	Sistem penamaan kabel.....	13
1.14	Sistem Penamaan Untuk Low Voltage	13
1.15	Low Voltage Tembaga Non Armour.....	14
1.16	Kabel NYFGBY (Kabel tanah Low Voltage 0,6 / 1 kV	19
1.17	NYSY – Kabel Kontrol Low Voltage 0,6/1 kV	19
1.18	Twisted Cable Low Voltage 0,6 / 1 kV.....	20
1.19	Conductor ACSR kabel Saluran Distribusi SUTT dan	
	SUTET High Voltage.....	20
1.20	BCCH Kabel Grounding – Rectangular Wire	21
1.21	Kawat BCCH (Bare Copper Conductor Hard).....	21
1.22	Conductor untuk Low Voltage	21
1.23	Konduktor Untuk Medium Voltage.....	22
1.24	Kabel N2XSBY Medium Voltage 12/20 kV.....	22

1.25 NA2XRGB2Y = AL/XLPE/SWAPE Low Voltage 0,6 / 1 kV	22
1.26 NA2XSERGBY Medium Voltage 12/20 kV dari PLN ke MDP..	23
1.27 NYA Low Voltage 450/750 V untuk Grounding	
Sistem Instalasi indoor	23
1.28 NYM Kabel Low Voltage 450/750 V	
yang biasa dipergunakan untuk penerangan	23
1.29 NYYHY Low Voltage 0,6/ 1 kV	
Kabel Instalasi Untuk Mesin Yang Bergerak	24
2.1 Kabel dan Isolatornya.....	27
2.2 Kabel NYA	31
2.3 Kabel NYM dengan dua inti	32
2.4 Kabel NYY.....	33
2.5 kabel NYY.....	33
2.6 Kabel NYM	33
2.7 Kabel NYY.....	34
2.8 Kabel N2XA	34
2.9 Kabel NAXY	35
2.10 Kabel NYRGBY	36
2.11 Kabel NYFGBY.....	37
2.12 Perbedaan konstruksi antara	
kabel NYRGBY dan NYFGBBY	38
2.13 Kabel NYBY.....	39
2.14 Kabel N2FGBY	40
2.15 Kabel N2XRGBY	41
2.16 Kabel NYSY	42
2.17 Kabel NYCY.....	43
2.18 Kabel NYAF.....	44
2.19 Kabel NYMHY	45
2.20 Kabel NYYHY.....	46
2.21 Kabel Tanah N2XY	46

2.22 Kabel NF2XSEY	47
2.23 Kabel NF2XSEY-T	48
2.24 Kabel N2XSEFGBY	49
3.1 Tampak Atas Kabel Tembaga dan Isolatorinya.....	50
3.2 Isolator konduktor dengan bahan karet	53
3.3 Kabel Berisolasi Kertas	54
3.4 Kabel berisolasi PVC	55
3.5 kabel dengan isolasi XLPE	56
3.6 Kabel dengan isolasi LSF	57
3.7 Kabel Mineral (Magnesium Oksida)	58
4.1 Struktur Atom Penyusun Semikonduktor	60
4.2 Struktur Atom Semikonduktor.....	63
4.3 Struktur Atom Semikonduktor (2)	64
4.4 Pita Energi Natrium	67
4.5 Pita Energi	68
4.6 Pita Energi Isolator	68
4.7 Pita Energi Semikonduktor	69
4.8 Elektrovalensi Semikonduktor	70
4.9 Semikonduktor Instrinsik.....	73
4.10 Struktur Kristal 2 Dimensi Kristal Si.....	74
4.11 Ikatan Kovalen Pada Semikonduktor instrinsik Si	74
4.12 Data Germanium pada Susunan Periodik Berkala	77
4.13 Germanium	79
4.14 Silikon	79
4.15 Prinsip dari Sebuah Penyearah	
Setengah Gelombang (Half-wave rectifier)	84
4.16 Struktur kristal silikon	88
4.17 Struktur kristal silikon (2)	91
4.18a. Kristal semikonduktor paduan Ga As	
dalam dua dimensi.....	92
b. Kristal semikonduktor padua Ga As	

dalam type-n dua dimensi.....	92
4.19Prinsip dari Sebuah Penyearah	
Setengah Gelombang (Half-wave rectifier)	93
4.20Bentuk Gelombang Dari Tegangan Keluaran Penyearah ..	
Setengah Gelombang (Half Wafe Receifer)	94
4.21Diode Zener.....	96
4.22Karakteristik maju (Forward Characteristic).....	97
4.23Pemanfaatan semikonduktor	99
4.24Termistor	99
4.25Alat junction (Diode)	100
4.26Transistor	101

BAB I

Bahan Konduktor Padat

Tujuan Instruksional :

Setelah mempelajari Bab ini, di harapkan pembaca dapat:

1. Memahami, Mengetahui dan menjelaskan beberapa ukuran konduktor yang dapat dipakai dalam instalasi listrik.
2. Memahami dan menjelaskan berbagai jenis konduktor yang digunakan dalam instalasi listrik.
3. Memahami berbagai ukuran konduktor sesuai dengan kemampuan hantar arus.



Gambar 1.1 Bahan Konduktor

1.9. Definisi Konduktor / Penghantar

Penghantar adalah suatu benda yang berbentuk logam ataupun non logam yang dapat mengalirkan arus listrik dari satu titik ke titik yang lain. Penghantar dapat berupa kabel (penghantar dengan selubung isolasi) atau kawat (Penghantar tanpa isolasi)[1].

Dalam kehidupan sehari hari, penghantar dapat dijumpai sebagai material untuk penghubung antara sumber tenaga

listrik dengan bebannya, atau penghantar ini berada di dalam rangkaian suatu komponen beban. Ciri – Ciri Konduktor yang baik itu sendiri memiliki tahanan jenis yang kecil dan salah satu Penghantar atau Contoh Konduktor yg sangat baik adalah emas, akan tetapi karena harganya yang begitu mahal, maka penghantar yg umumnya digunakan adalah tembaga dan aluminium untuk menghemat biaya.



Gambar 1.2 Kawat (Tanpa selubung)



Gambar 1.3 Kabel (Dengan selubung isolator)

Ketahanan Konduktor yang diberikan tergantung dari bahan atau material yang digunakan terbuat dari apa serta berapa ukurannya karena untuk bahan tertentu, resistansi akan berbanding terbalik dgn luas penampangnya. Pada bagian selanjutnya akan dijelaskan mengenai formulanya. Contohnya bisa dilihat didalam kawat tembaga yg tebal memiliki resistansi lebih rendah dari pada kawat tembaga yang tipis, dan juga untuk resisten sebanding dgn panjang.

Contohnya kawat tembaga yg lebih panjang ketahanannya lebih tinggi dari pada kawat tembaga yang pendek.

1.10.

syarat bahan Konduktor

Syarat bahan konduktor adalah syarat yang harus dipenuhi oleh bahan konduktor. Syarat bahan konduktor antara lain [2]:

1. Konduktivitasnya cukup baik.
2. Koefisien muai panjangnya kecil.
3. Modulus kenyalnya (modulus elastisitas) nya cukup besar.

Jika Konduktivitas suatu bahan konduktor memiliki nilai besar, maka bahan konduktor tersebut memiliki nilai penghantaran yang besar. Namun sebaliknya jika bahan konduktor memiliki nilai konduktivitas rendah, maka dia memiliki nilai penghantaran rendah juga.

Sedangkan dari sisi tinjauan muai panjang, maka bahan konduktor yang memiliki nilai muai panjang yang kecil maka akan memiliki daya hantar yang lebih tinggi bila dibandingkan dengan bahan konduktor yang memiliki nilai muai panjang yang besar.

Jika ditinjau dari sisi modulus kenyal, maka bahan konduktor yang memiliki nilai modulus kenyalnya besar akan memiliki nilai hantar yang cukup besar pula demikian pula sebaliknya jika memiliki nilai modulus kenyal yang rendah, maka bahan konduktor tersebut akan memiliki nilai hantar yang rendah pula.

Maka dari penjelasan diatas didapatkan suatu analisis hubungan antara daya hantar suatu bahan konduktor dengan nilai konduktifitas, muai panjang dan modulus kenyal.

Bahan-bahan yang biasa digunakan sebagai konduktor:

1. Logam biasa, seperti: tembaga, alumunium dan besi.
2. Logam campuran (alloy) yaitu logam dari tembaga atau alumunium yang dicampur dengan jumlah tertentu dari logam jenis lain untuk meningkatkan kekuatan mekanisnya.
3. Logam paduan (composite), yaitu dua atau lebih jenis logam yang dipadukan dengan cara kompresi, peleburan (melting) atau pengelasan (welding).

Tiga bahan tersebut sangat sering dijumpai dilapangan. Masing – masing mempunyai karakteristik yang berbeda. Kapan dilakukan urni logam biasa, kapan dilakukan pencampuran dan kapan dilakukan komposit itu tergantung peruntukan bahan konduktor tersebut dipasang, maupun medan yang akan dilalui oleh bahan konduktor tersebut.

1.11.

lasifikasi Konduktor

Untuk lebih mengenal konduktor, maka konduktro diklasifikasikan sebagai berikut :

1.11.1.

lasifikasi Konduktor Menurut Bahannya

- a. Kawat Logam Biasa, baik dengan bahan Tembaga, Aluminium atau lainnya. Sebagai contoh [3]:

- BCC (Bare Copper Conductor), Konduktor dengan inti Baja. Ini biasa dipakai untuk kabel Grounding. Sebagai Down Conductor dan penghantar yang masuk dari Bar Plate ke Copper Rod atau Copper Plate.



Gambar 1.4 BCC (Bare Copper Conductor)

- AAC (All Aluminium Conductor), Konduktor Aluminium.



Gambar 1.5 AAC (All Aluminium Conductor)

- b. Kawat Logam Campuran (Alloy). Contoh : AAAC (All Aluminium Alloy Conductor) – Konduktor Campuran Aluminium.



Gambar 1.6 AAAC (All Aluminum Alloy Conductor)

- c. Kawat Paduan Logam (Composite), contoh : Kawat Baja Berlapis Tembaga (Copper Clad Steel).



Gambar 1.7 Copper Clad Steel (CCS)

- d. Kawat Lilit Campuran (Alloy), yaitu kawat yang lilitannya terdiri dari 2 jenis logam atau lebih. Contoh : ACSR (Aluminium Conductor Steel Reinforced) Untuk penghantar SUTET dengan jarak bentang jauh.



Gambar 1.8 ACSR (Aluminium Conductor Steel Reinforced)

1.11.2.

lasifikasi Konduktor menurut Konstruksinya

Menurut konstruksinya konduktor dibagi menjadi beberapa macam, yaitu :

1. Kawat Padat (Solid Wire) berpenampang bulat.
2. Kawat Berlilit (Stranded Wire) terdiri dari 7 sampai 61 kawat yang dililit menjadi 1.
3. Kawat Berongga (Hollow Conductor) adalah kawat berongga yang dibuat untuk mendapatkan diameter yang besar.



Gambar 1.9 Kawat Berongga (Hollow Conductor)

Kawat padat adalah kawat yang tidak memiliki rongga. Berpenampang kecil sampai yang paling besar sekitar 50 mm². Kawat ini lebih kaku bila dibandingkan dengan kawat berlilit. Dari sisi kemampuan hantar arus tipe kawat padat ini memiliki kemampuan hantar yang lebih kecil pada diameter yang sama jika dibandingkan dengan kawat berlilit.

Untuk kawat berlilit banyak digunakan mulai dengan ukuran penampang kecil sampai besar. Untuk proses instalasi penghantar jika menggunakan kawat berlilit maka akan lebih mudah dilakukan, jika dibandingkan dengan proses instalasi Kawat pejal.

Untuk kawat berongga, ini bisa dijumpai pada kawat bidang telekomunikasi atau untuk sound system. Kawat ini mempunyai keistimewaan pada daya tembus medan elektromagnet.

1.11.3.

Klasifikasi Konduktor Menurut Isolasinya

Klasifikasi Konduktor menurut isolasinya adalah klasifikasi berdasarkan pembungkus – pembungkus yang terpasang pada konduktor. Klasifikasi konduktor menurut isolasinya adalah sebagai berikut :

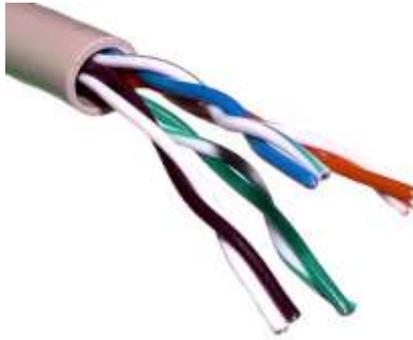
1. Konduktor Telanjang.
2. Konduktor Berisolasi, Contoh kabel twisted dan kabel NYY



Gambar 1.10 Kabel Telanjang



Gambar 1.11 Kabel berselubung



Gambar 1.12 Kabel Twisted 2 pair

Konduktor telanjang dimaksud adalah konduktor yang tidak memiliki pelapis isolator yang melingkupi konduktornya. Sedangkan Konduktor Berisolasi adalah konduktor yang memiliki selubung atau isolasi yang melingkupi konduktornya[4].

1.12.

arakteristik Konduktor.

Ada 2 (dua) jenis karakteristik konduktor, yaitu: dari tinjauan Mekanis dan dari tinjauan Elektris. Adapun penjelasan masing masing karakter itu sebagai berikut:

1.12.1.

injauan Kekuatan Mekanik :

Karakteristik mekanik, yang menunjukkan keadaan fisik dari konduktor yang menyatakan kekuatan tarik dari pada konduktor (dari SPLN 41-8:1981, untuk konduktor 70 mm^2 berselubung AAAC-S pada suhu sekitar 30°C , maka kemampuan maksimal dari konduktor untuk menghantar arus adalah 275 A).

1.12.2.

injauan Kekuatan Listrik :

Karakteristik listrik, yang menunjukkan kemampuan dari konduktor terhadap arus listrik yang melewatinya (dari SPLN 41-10 : 1991, untuk konduktor 70 mm² berselubung AAAC-S pada suhu sekitar 30o C, maka kemampuan maksimum dari konduktor untuk menghantar arus adalah 275 A).

1.13.

esistifitas Listrik

Sifat daya hantar listrik material dinyatakan dengan konduktivitas, yaitu kebalikan dari resistivitas atau tahanan jenis penghantar, dimana tahanan jenis penghantar tersebut didefinisikan sebagai:

$$R = \rho l / A$$

dimana;

A : luas penampang (m²)

l : Panjang penghantar (m)

ρ : tahanan jenis penghantar (ohm.m)

R : tahanan penghantar (ohm)

Konduktivitas merupakan sifat listrik yang diperlukan dalam berbagai pemakaian sebagai penghantar tenaga listrik dan mempunyai rentang harga yang sangat luas. Logam atau material yang merupakan penghantar listrik yang baik, memiliki konduktivitas listrik dengan orde 10^7 (ohm.meter)⁻¹

dan sebaliknya material isolator memiliki konduktivitas yang sangat rendah, yaitu antara 10^{-10} sampai dengan 10^{-20} (ohm.m)⁻¹.

Diantara kedua sifat ekstrim tersebut, ada material Semikonduktor yang konduktivitasnya berkisar antara 10^{-6} sampai dengan 10^{-4} (ohm.m)⁻¹. Berbeda pada kabel tegangan rendah, pada kabel tegangan menengah untuk pemenuhan fungsi penghantar dan pengaman terhadap penggunaan, ketiga jenis atau sifat konduktivitas tersebut diatas digunakan semuanya.

Logam Konduktivitas listrik ohm meter

Perak (Ag)	6,8 x 10 ⁷
Tembaga (Cu)	6,0 x 10 ⁷
Emas (Au)	4,3 x 10 ⁷
Alumunium (Ac)	3,8 x 10 ⁷
Kuningan (70% Cu – 30% Zn).....	1,6 x 10 ⁷
Besi (Fe)	1,0 x 10 ⁷
Baja karbon (Ffe – C)	0,6 x 10 ⁷
Baja tahan karat (Ffe – Cr)	0,2 x 10 ⁷

Tabel 1. Konduktivitas Listrik Berbagai Logam dan Paduannya Pada Suhu Kamar.

1.14.

oeffisien Temperatur Hambatan

Koefisien tempertur hambatan adalah : Besarnya perubahan tahanan akibat perubahan suhu dinyatakan oleh :

$$R = R_0 [1 + \alpha (t - t_0)]$$

Dimana :

R = Tahanan akhir setelah perubahan suhu (Ohm).

R_0 = Tahanan awal sebelum perubahan suhu (Ohm).

α = Koefisien Temperatur Bahan.

t = Temperatur akhir ($^{\circ}\text{C}$).

t_0 = Temperatur awal ($^{\circ}\text{C}$).

Dari persamaan diatas, maka di dapatkan kesimpulan bahwa : jika suatu bahan konduktor diberikan panas maka nilai tahanan akan semakin besar. Nilai penambahan panas berbanding lurus dengan nilai Tahanan material konduktor.

1.15.

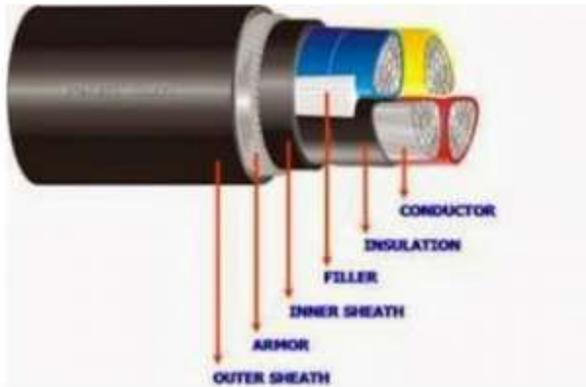
penamaan Konduktor

Kabel adalah kawat penghantar listrik (Konduktor tembaga/Alumunium) yang di berikan bahan isolasi dapat berupa bahan PVC atau XLPE sedangkan Konduktor listrik adalah kawat penghantar listrik yang tidak diberi isolasi atau disebut juga kabel telanjang[5][1].

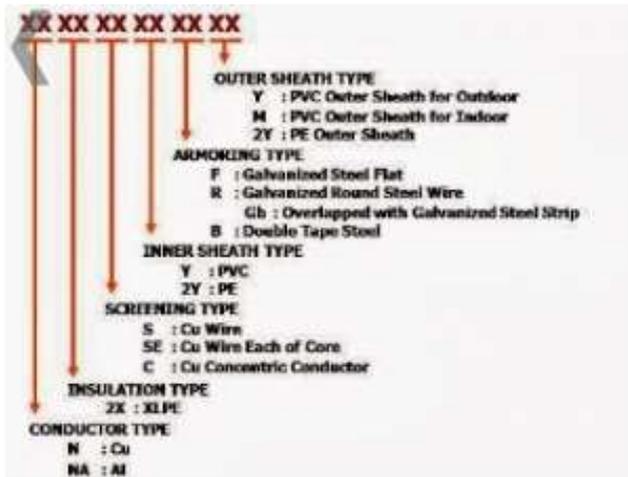
Kabel terdiri dari dua kategori yaitu Low Voltage kisaran tegangan 350 – 1000 Volt & Medium Voltage kisaran tegangan 3,6/6 kV, 6/10 kV, 12/20 kV, 18/30kV,

Konduktor mempunyai kisaran tegangan hampir 150 kV sampai 500kV

Sistem penamaan kabel:



Gambar 1.13 Sistem Penamaan Kabel



Gambar 1.14 Sistem Penamaan Untuk Low Voltage



Gambar 1.15 Low Voltage Tembaga Non Armour

Low Voltage Tembaga Non Armour

- NYA = Cu/PVC kisaran 450/750 Volt – Single Core
- NYF = Cu-Flex/PVC 450/750 Volt – Single Core
- NYM = Cu/PVC/PVC 300/500 Volt – Multi Core
- NYMHY = Cu-Flex/PVC/PVC 300/500 Volt – Multi Core
- NYYY = Cu/PVC/PVC 0.6/1 kV – Single Core & Multi Core
- NYYYHY = Cu-Flex/PVC/PVC 0.6/1 kV – Single Core & Multi Core
- N2XY
 = Cu/XLPE/PVC 0.6/1 kV – Single Core & Multi Core
 = Cu-Flex/XLPE/PVC 0.6/1 kV – Single Core & Multi Core

Low Voltage Aluminium Non Armour

- NAYA = AL/PVC kisaran 450/750 Volt – Single Core

NAYY = AL/PVC/PVC 0.6/1 kV – Single Core & Multi Core
NA2XY = AL/XLPE/PVC 0.6/1 kV – Single Core & Multi Core

Low Voltage Tembaga Armour

NYRGBY

= Cu/PVC/AWA/PVC 0.6/1 kV – Single Core

= Cu/PVC/SWA/PVC 0.6/1 kV – Multi Core

N2XRGBY

= Cu/XLPE/AWA/PVC 0.6/1 kV – Single Core

= Cu/XLPE/SWA/PVC 0.6/1 kV – Multi Core

NYFGBY

= Cu/PVC/SFA/PVC 0.6/1 kV – Multi Core

N2XFGBY

= Cu/XLPE/SFA/PVC 0.6/1 kV – Multi Core

NYBY = Cu/PVC/DSTA/PVC 0.6/1 kV – Multi Core

N2XBY = Cu/XLPE/DSTA/PVC 0.6/1 kV – Multi Core

Low Voltage Aluminium Armour

NAYRGBY

= AL/PVC/AWA/PVC 0.6/1 kV – Single Core

= AL/PVC/SWA/PVC 0.6/1 kV – Multi Core

NA2XRGBY

= AL/XLPE/AWA/PVC 0.6/1 kV – Single Core

= AL/XLPE/SWA/PVC 0.6/1 kV – Multi Core

NAYFGBY = AL/PVC/SFA/PVC 0.6/1 kV – Multi Core

NA2XFGBY = AL/XLPE/SFA/PVC 0.6/1 kV – Multi Core

NABY = AL/PVC/DSTA/PVC 0.6/1 kV – Multi Core

NA2XBY = AL/XLPE/DSTA/PVC 0.6/1 kV – Multi Core

Control Cable with Screening Armour & Non Armour

NYSY = Cu/PVC/CTS/PVC 0.6/1 kV – Single Core & Multi Core

NYCY = Cu/PVC/CWS/PVC 0.6/1 kV – Single Core & Multi Core

N2XSY = Cu/XLPE/CTS/PVC 0.6/1 kV – Single Core & Multi Core

N2XCY = Cu/XLPE/CWS/PVC 0.6/1 kV – Single Core & Multi Core

Twisted Cable – Over Head Cable

TC AL-XLPE 2 x 10 mm² – 0.6/1

TC AL-XLPE 2 x 16 mm² – 0.6/1

TC AL-XLPE 2 x 25 mm² – 0.6/1

TC. AL-XLPE 4 x 16 mm² – 0.6/1

TC. AL-XLPE 4 x 25 mm² – 0.6/1

TC. AL-XLPE 4 x 35 mm² – 0.6/1

Twisted Cable dengan penggantung

TC. AL-XLPE 2 x 35 + 1 x 25 mm²

TC. AL-XLPE 2 x 50 + 1 x 35 mm²

TC. AL-XLPE 2 x 70 + 1 x 50 mm²

TC. AL-XLPE 2 x 95 + 1 x 70 mm²

TC. AL-XLPE 3 x 25 + 25 mm²

TC. AL-XLPE 3 x 35 + 1 x 25 mm²

TC. AL-XLPE 3 x 50 + 1 x 35 mm²

TC. AL-XLPE 3 x 70 + 1 x 50 mm²

TC. AL-XLPE 3 x 95 + 1 x 70 mm²

Medium Voltage Tembaga & Aluminium Non Armour

N2XSY = Cu/XLPE/CTS/PVC 3,6/6 kV, 6/10 kV, 12/20 kV,
18/30kV – Single Core & 3 Core

N2XCY = Cu/XLPE/CWS/PVC 3,6/6 kV, 6/10 kV, 12/20 kV,
18/30kV – Single Core & 3 Core

NA2XSY = AL/XLPE/CTS/PVC 3,6/6 kV, 6/10 kV, 12/20 kV,
18/30kV – Single Core & 3 Core

NA2XCY = AL/XLPE/CWS/PVC 3,6/6 kV, 6/10 kV, 12/20 kV,
18/30kV – Single Core & 3 Core

Medium Voltage Tembaga Armour

N2XSEBY = Cu/XLPE/CTS/DSTA/PVC 3,6/6 kV, 6/10 kV, 12/20
kV, 18/30kV – 3 Core

N2XSEYBY = Cu/XLPE/CWS/DSTA/PVC 3,6/6 kV, 6/10 kV, 12/20
kV, 18/30kV – 3 Core

N2XSEFGBY = Cu/XLPE/CTS/AWA/PVC 3,6/6 kV, 6/10 kV, 12/20
kV, 18/30kV – 3 Core

N2XSEYFGBY = Cu/XLPE/CWS/AWA/PVC 3,6/6 kV, 6/10 kV,
12/20 kV, 18/30kV – 3 Core

N2XSERGBY = Cu/XLPE/CTS/AWA/PVC 3,6/6 kV, 6/10 kV, 12/20
kV, 18/30kV – Single Core

= Cu/XLPE/CTS/SWA/PVC 3,6/6 kV, 6/10 kV, 12/20 kV, 18/30kV
– 3 Core

N2XSEYRGBY = Cu/XLPE/CWS/AWA/PVC 3,6/6 kV, 6/10 kV,
12/20 kV, 18/30kV – Single Core

= Cu/XLPE/CWS/SWA/PVC 3,6/6 kV, 6/10 kV, 12/20 kV,
18/30kV – 3 Core

Medium Voltage Aluminium Armour

NA2XSEBY = AL/XLPE/CTS/DSTA/PVC 3,6/6 kV, 6/10 kV, 12/20 kV, 18/30kV – 3 Core

NA2XSEYBY = AL/XLPE/CWS/DSTA/PVC 3,6/6 kV, 6/10 kV, 12/20 kV, 18/30kV – 3 Core

NA2XSEFGBY = AL/XLPE/CTS/AWA/PVC 3,6/6 kV, 6/10 kV, 12/20 kV, 18/30kV – 3 Core

NA2XSEYFGBY = AL/XLPE/CWS/AWA/PVC 3,6/6 kV, 6/10 kV, 12/20 kV, 18/30kV – 3 Core

NA2XSERGBY = AL/XLPE/CTS/AWA/PVC 3,6/6 kV, 6/10 kV, 12/20 kV, 18/30kV – Single Core

= AL/XLPE/CTS/SWA/PVC 3,6/6 kV, 6/10 kV, 12/20 kV, 18/30kV – 3 Core

NA2XSEYRGBY = AL/XLPE/CWS/AWA/PVC 3,6/6 kV, 6/10 kV, 12/20 kV, 18/30kV – Single Core

= AL/XLPE/CWS/SWA/PVC 3,6/6 kV, 6/10 kV, 12/20 kV, 18/30kV – 3 Core

NFA2XSY = AL/XLPE/CTS/PVC 3,6/6 kV, 6/10 kV, 12/20 kV, 18/30kV – 3 Core

NFA2XSY – T = AL/XLPE/CTS/PVC + AAAC 3,6/6 kV, 6/10 kV, 12/20 kV, 18/30kV – 3 Core

High Voltage Conductor

AAC

AAAC

AAAC/s with Grease

ACSR

T-ACSR

Rectangular Wire
BCCH, BCCsoft

Gambar 1.16 Kabel NYFGBY (Kabel tanah Low Voltage 0,6 / 1
kV



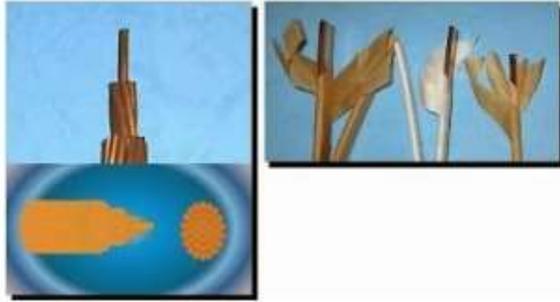
Gambar 1.17 NYSY – Kabel Kontrol Low Voltage 0,6/1 kV



Gambar 1.18 Twisted Cable Low Voltage 0,6 / 1 kV



Gambar 1.19 Conductor ACSR kabel Saluran Distribusi SUTT dan SUTET High Voltage



Gambar 1.20 BCCH Kabel Grounding – Rectangular Wire

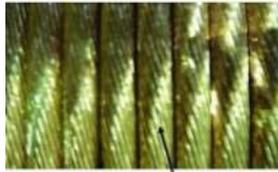


Gambar 1.21 Kawat BCCH (Bare Copper Conductor Hard)



**Penghantar
untuk low
voltage
cable.
Bentuk wire
bulat, jarak
antar wire
besar.**

Gambar 1.22 Conductor untuk Low Voltage



Penghantar
untuk
medium
voltage
cable.
Bentuk wire
pipih, jarak
antar wire
kecil.

Gambar 1.23 Konduktor Untuk Medium Voltage



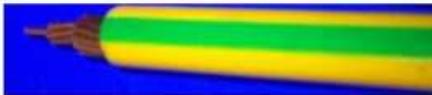
Gambar 1.24 Kabel N2XSBY Medium Voltage 12/20 kV



Gambar 1.25 NA2XRGB2Y = AL/XLPE/SWAPE Low Voltage 0,6 /
1 kV



Gambar 1.26 NA2XSERGBY Medium Voltage 12/20 kV dari PLN ke MDP



Gambar 1.27 NYA Low Voltage 450/750 V untuk Grounding Sistem Instalasi indoor



Gambar 1.28 NYM Kabel Low Voltage 450/750 V yang biasa dipergunakan untuk penerangan



Gambar 1.29 NYHHY Low Voltage 0,6/ 1 kV Kabel Instalasi Untuk Mesin Yang Bergerak

1.16.

riteria Mutu Penghantar

Konduktivitas logam penghantar sangat dipengaruhi oleh unsur – unsur pepadu, impurity atau ketidaksempurnaan dalam kristal logam, yang ketiganya banyak berperan dalam proses pembuatan penghantar itu sendiri. Unsur – unsur pepadu selain mempengaruhi konduktivitas listrik, akan mempengaruhi sifat – sifat mekanika dan fisika lainnya. Logam murni memiliki konduktivitas listrik yang lebih baik dari pada yang lebih rendah kemurniannya. Akan tetapi kekuatan mekanis logam murni adalah rendah[4].

Penghantar tenaga listrik, selain mensyaratkan konduktivitas yang tinggi juga membutuhkan sifat mekanis dan fisika tertentu yang disesuaikan dengan penggunaan penghantar itu sendiri. Selain masalah teknis, penggunaan logam sebagai penghantar ternyata juga sangat ditentukan oleh nilai ekonomis logam tersebut dimasyarakat. Sehingga suatu kompromi antara nilai teknis dan ekonomi logam yang akan digunakan mutlak diperhatikan. Nilai kompromi termurahlah yang akan menentukan logam mana yang akan digunakan. Pada saat ini, logam Tembaga dan Aluminium adalah logam yang terpilih diantara jenis logam penghantar

lainnya yang memenuhi nilai kompromi teknis ekonomis termurah.

Dari jenis-jenis logam penghantar pada tabel 1. diatas, tembaga merupakan penghantar yang paling lama digunakan dalam bidang kelistrikan. Pada tahun 1913, oleh International Electrochemical Commission (IEC) ditetapkan suatu standar yang menunjukkan daya hantar kawat tembaga yang kemudian dikenal sebagai International Annealed Copper Standard (IACS). Standar tersebut menyebutkan bahwa untuk kawat tembaga yang telah dilunakkan dengan proses anil (annealing), mempunyai panjang 1m dan luas penampang 1mm², serta mempunyai tahanan listrik (resistance) tidak lebih dari 0.017241 ohm pada suhu 20°C, dinyatakan mempunyai konduktivitas listrik 100% IACS[6].

Akan tetapi dengan kemajuan teknologi proses pembuatan tembaga yang dicapai dewasa ini, dimana tingkat kemurnian tembaga pada kawat penghantar jauh lebih tinggi jika dibandingkan pada tahun 1913, maka konduktivitas listrik kawat tembaga sekarang ini bisa mencapai diatas 100% IACS.

Untuk kawat Aluminium, konduktivitas listriknya biasa dibandingkan terhadap standar kawat tembaga. Menurut standar ASTM B 609 untuk kawat aluminium dari jenis EC grade atau seri AA 1350(*), konduktivitas listriknya berkisar antara 61.0 – 61.8% IACS, tergantung pada kondisi kekerasan atau temper. Sedangkan untuk kawat penghantar dari paduan aluminium seri AA 6201, menurut standar ASTM B 3988 persaratan konduktivitas listriknya tidak boleh kurang dari 52.5% IACS. Kawat penghantar 6201 ini biasanya digunakan untuk bahan kabel dari jenis All Aluminium Alloy Conductor (AAAC).

Disamping persyaratan sifat listrik seperti konduktivitas listrik diatas, kriteria mutu lainnya yang juga harus dipenuhi meliputi seluruh atau sebagian dari sifat – sifat atau kondisi berikut ini, yaitu:

- a. Komposisi kimia.
- b. Sifat tarik seperti kekuatan tarik (tensile strength) dan regangan tarik (elongation).
- c. Sifat bending.
- d. Diameter dan variasi yang diijinkan.
- e. Kondisi permukaan kawat harus bebas dari cacat, dan lain-lain.

1.17.

ugas

Apakah yang dimaksud dengan :

1. Kabel NYY; $4 \times 6 \text{ mm}^2$, 0,6 / 1 kV.
2. Kabel NYM – O; $4 \times 2 \text{ mm}^2$; 300 / 500 V

BAB II

Bahan Tembaga

Tujuan Instruksional :

Setelah mempelajari Bab ini, di harapkan pembaca dapat:

1. Memahami dan menjelaskan tentang yang dimaksud dengan bahan tembaga.
2. Memahami dan menjelaskan jenis – jenis tembaga yang digunakan pada instalasi listrik.
3. Memahami dan menyebutkan fungsi setiap jenis isolator yang melingkupi bahan tembaga untuk digunakan pada sistem tenaga listrik.



Gambar 2.1 Kabel dan Isolatornya

2.1. Definisi Kabel Tembaga

Kabel tembaga adalah : Kabel dengan penghantar tembaga dan biasanya dipakai dalam instalasi tenaga listrik dan alat alat kontrol. Jenis kabel ini juga disebut dengan kabel instalasi[2].

Ada dua jenis kabel tembaga berdasarkan bahan penghantar, fungsi dan susunan isolasinya. Ciri kabel tembaga berdasarkan bahan penghantarnya adalah [7]:

1. Bentuk padat dan berurat banyak .
2. Bahan dari aluminium murni dan campuran.

Sedangkan berdasarkan fungsi dan susunan isolasinya terbagi menjadi :

1. Untuk keperluan instalasi listrik dan rumah tinggal, Instalasi leketronika, panel tembaga dan distribusi.
2. Menggunakan isolasi PVC dan XLPE.

Sedangkan penyusun dari suatu kabel yaitu ;

1. Konduktor : Merupakan bahan untuk menghantarkan arus listrik.
2. Isolator : Merupakan bahan untuk meng isolasi dari penghantar yang satu dengan yang lain dan juga terhadap lingkungannya.
3. Pelindung Luar : Merupakan bahan pelindung kabel dari kerusakan mekanis, pengaruh bahan kimia (elektrolisis), api atau pengaruh pengaruh luar lainnya yang merugikan.

Sedangkan penentuan besar atau kecilnya jumlah serabut (inti) yang digunakan dapat diketahui dari PUIL (Persyaratan Umum Instalasi Listrik).

2.2. Ciri Kabel Tembaga

Kabel tembaga memiliki ciri ciri ditinjau dari :

1. Pengenal inti.
2. Standard Warna.
3. Jenis Tegangan.

Adapun penjelasan tentang ciri ciri tersebut sebagai mana termaktub di bawah ini :

2.2.1. Pengenal inti

Pengenal inti atau pengenal Rel dari suatu Kabel Tembaga dapat dilihat dari PUIL 2000, dan dicuplik sebagaimana pada tabel 2.1[5].

Tabel 2.1. Pengenal Inti dan Rel

Inti atau rel	Pengenal		
	Dengan huruf	Dengan lambang	Dengan warna
1	2	3	4
A. Instalasi arus bolak-balik : fase satu fase dua fase tiga netral	L1 / R L2 / S L3 / T N		merah kuning hitam biru
B. Instalasi perlengkapan listrik : fase satu fase dua fase tiga	U / X V / Y W / Z		merah kuning hitam
C. Instalasi arus searah : positif negatif kawat tengah	L + L - M	+ -	tidak ditetapkan tidak ditetapkan biru
D. Penghantar netral	N		biru
E. Penghantar pembumian	PE		loreng kuning hijau-

Pada tabel 2.1. dijelaskan mengenai pengenalan dengan huruf maupun dengan rel untuk beberapa penggunaan sebagai berikut :

- A. Instalasi Arus Bolak Balik.
- B. Instalasi Perlengkapan Listrik.
- C. Instalasi Arus Searah.
- D. Penghantar Netral.
- E. Penghantar Pembumian.

2.2.2. Standard Warna

Warna kabel diperuntukkan bagi penggunaan sistem tenaga, untuk kabel informasi data sampai saat ini belum ada standar pemberian warna kabel. Warna untuk kabel tenaga sesuai dengan standar PUIL 2000 meliputi :

- a) Earth (Pentanahan) : Warna majemuk Kuning Hijau, tidak boleh untuk tujuan lain.

Kawat Netral : Warna biru, jika instalasi tanpa hantaran netral.

Kawat Fase :

Fasa 1 (Fasa R) : Merah.

Fasa 2 (Fasa S) : Kuning.

Fasa 3 (Fasa T) : Hitam.

- b) Earth atau (pentanahan) : Menggunakan warna Hijau / Kuning + Garis Kuning.

Kawat Netral : Hitam

Kawat Fase :

Fasa 1 (Fasa R) : Merah.

Fasa 2 (Fasa S) : Kuning.

Fasa 3 (Fasa T) : Biru.

2.2.3. Konduktor Berdasarkan Jenis Tegangan

Konduktor atas dasar penggunaannya dibedakan pada jenis tegangan yang melalui nya. Tegangan yang melalui konduktor tersebut adalah tegangan Rendah atau tegangan Menengah. Sedangkan untuk tegangan rendah dibagi lagi menjadi beberapa macam jenis kabel, yaitu :

1. Kabel LV (Low Voltage) Tanpa Perisai.
2. Kabel LV (Low Voltage) Dengan Perisai.
3. Kabel LV (Low Voltage) Berpelindung / Berperisai.
4. Kabel Fleksibel.
5. Kabel Kontrol kawat fleksibel.

2.2.3.1. Tegangan Rendah Tanpa Perisai

1) Terisolasi PVC (PVC insulated)

- a) Kabel NYA : Kabel NYA adalah jenis kabel dengan bahan penghantar / inti tembaga yang di anilkan (Dipanaskan kemudian didinginkan pelan-pelan dengan isolasi selubung PVC. Pemakaian tegangannya berkisar antara tegangan 450 V – 750 V, digunakan untuk instalasi dalam pipa kabel atau terbuka pada kondisi kering, dengan klasifikasi inti kabel hijau – kuning – hitam – biru muda dan merah.



Gambar 2.2 Kabel NYA

b) Kabel NYM : Yaitu kabel standar dengan inti penghantaran tembaga yang dianilkan, mempunyai isolasi PVC dan berselubung PVC. Kabel NYM ini dipakai pada kisaran tegangan 300 V – 500 V, digunakan untuk instalasi permanen dalam pipa penghantar yang dipleseter / kawat yang memanjang di lokasi kering. Dengan klasifikasi inti kabel :

Dua inti : Biru muda – Hitam.

Tiga inti : Biru muda – Kuning – Hitam.

Empat inti : Biru muda - merah – kuning – hitam.

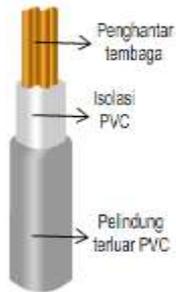
Lima inti : Hijau / Kuning – Biru muda – merah – kuning hitam



Gambar 2.3 Kabel NYM dengan dua inti

c) Kabel NYY : Yaitu kabel dengan inti tembaga yang dianilkan yang mempunyai isolasi PVC dan berselubung / pelindung terluar menggunakan PVC. Kabel ini dipergunakan pada tegangan 600 V – 1000 V. Kabel NYY ini dipergunakan untuk instalasi dalam dan luar

ruangan atau diletakkan di tanah dimana tidak ada kemungkinan kerusakan mekanik yang menjalar.



Gambar 2.4 Kabel NYN

Perbandingan antara kabel NYA, NYM dan NYN adalah sebagaimana ditunjukkan pada gambar _____



Gambar 2.5 kabel NYN



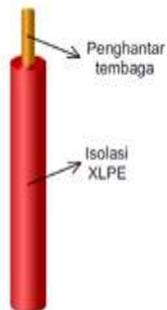
Gambar 2.6 Kabel NYM



Gambar 2.7 Kabel NYY

2) Terisolasi XLPE (XLPE Insulated)

- a) Kabel N2XA : Yaitu jenis kabel standar dengan inti tembaga yang dianilkan sebagai penghantar yang menggunakan isolasi XLPE, dengan ukuran penggunaan tegangan antara 600 V – 1000 V. Kabel ini dipergunakan untuk rangkaian power elektronik. Dengan klasifikasi inti Kabel : Kunig Hijau – Kuning – Hitam – Biru Muda – Merah.



Gambar 2.8 Kabel N2XA

b) Kabel NAXY : Yaitu Kabel dengan inti tembaga dengan sistem isolasi XLPE yang mempunyai pelindung bagian dalam PVC dan pelindung terluar PVC. Ukuran tegangan antara 600 V sd 1000 V. Sama dengan jenis kabel sebelumnya, kabel type NAXY ini dipergunakan untuk rangkaian Power Elektronik. Klasifikasi inti kabel sebagai berikut :

Satu inti : Hitam.

Dua inti : Biru muda – Hitam.

Tiga inti : Biru muda – Kuning – Hitam.

Empat inti : Biru muda – merah – Kuning – Hitam.

Lima inti : Hijau – Biru muda – Merah – Kuning – Hitam.

Diatas Lima inti : Hitam dengan angka berwarna Putih.

Penggunaan kabel ini adalah untuk instalasi bergerak atau dipergunakan untuk peralatan listrik tangan.



Gambar 2.9 Kabel NAXY

2.2.3.2. Tegangan Rendah Berperisai

- 1) Terisolasi PVC (PVC insulated)
 - a) Kabel NYRGRBY: Kabel dengan inti tembaga yang dianillkan dengan isolasi PVC yang mempunyai pelindung bagian dalam PVC, dilengkapi kawat baja bundar dan dilindungi PVC sebagai pelindung luar. Kabel ini untuk dioperasikan pada tegangan antara 600 V – 1000 V. Dapat dipasang pada area indor atau outdoor. Dengan klasifikasi kabel sebagai berikut:
Dua inti : Biru muda – Hitam.
Tiga inti : Biru muda – Kuning – Hitam.
Empat inti : Biru muda – merah – Kuning – Hitam.
Lima inti : Hijau – Biru muda – Merah – Kunig – Hitam.



Gambar 2.10 Kabel NYRGRBY

- b) Kabel NYFGBY : Kabel dengan inti tembaga yang menggunakan isolasi PVC dengan pelindung bagian dalam PVC yang dilengkapi kawat baja datar dan pita dengan pelindung terluar PVC. Dengan tegangan operasional antara 600 V sd 1000 V. Klasifikasi inti kabel NYFGBY adalah:
- Dua inti : Biru muda – Hitam.
 - Tiga inti : Biru muda – Kuning – Hitam.
 - Empat inti : Biru muda – merah – Kuning – Hitam.
 - Lima inti : Hijau/kuning – Biru muda – Merah – Kunig – Hitam.
- Diatas Lima inti : Hitam dengan angka berwarna Putih.



Gambar 2.11 Kabel NYFGBY

Sedangkan perbedaan antara kabel NYRGBY dan NYFGBY adalah sebagai berikut :

Gambar 4



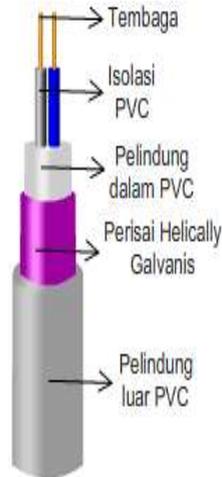
Gambar 2.12 Perbedaan konstruksi antara kabel NYRGGY dan NYFGGBY

c) Kabel NYBY : Kabel dengan inti konduktor dari tembaga yang mempunyai isolasi PVC dengan pelindung bagian dalam PVC yang dilengkapi dengan periai dan pelindung bagian luar atau selubung PVC. Tegangan operasionalnya antara 600V sd 1000V. Kabel jenis ini dapat digunakan untuk instalasi langsung yang ditanam dalam dan luar ruangan. Dengan klasifikasi inti kabel sebagai berikut :

- Dua inti : Biru muda – Hitam.
- Tiga inti : Biru muda – Kuning – Hitam.
- Empat inti : Biru muda – merah – Kuning – Hitam.

Lima inti : Hijau/kuning – Biru muda – Merah – Kuning – Hitam.

Diatas Lima inti: Hitam dengan angka berwarna Putih.



Gambar 2.13 Kabel NYBY

2) Terisolasi XLPE (XLPE Insulated)

- a) Kabel N2FGBY: Kabel dengan inti tembaga dengan sistem isolasi XLPE yang mempunyai pelindung bagian dalam PVC dengan perisai kawat baja datar dan pita dilindungi PVC pada bagian luarnya. Tegangan operasional pada 600 V sd 1000 V. Kabel ini dipergunakan untuk rangkaian kabel daya di luar ruangan atau tanam. Sedangkan klasifikasi inti kabelnya adalah sebagai berikut :

- Dua inti : Biru muda – Hitam.
- Tiga inti : Biru muda – Kuning – Hitam.
- Empat inti : Biru muda – merah – Kuning – Hitam.
- Lima inti : Hijau/kuning – Biru muda – Merah – Kunig – Hitam.
- Diatas Lima inti : Hitam dengan angka berwarna Putih.



Gambar 2.14 Kabel N2FGBY

b) Kabel N2XRGBY : Kabel dengan inti tembaga yang di anilkan dengan isolasi XLPE yang mempunyai pelindung bagian dalam PVC dengan perisai kawat baja bundar galvanis dan dilindungi OVC pada bagian luarnya. Tegangan operasionalnya antara 600V sd 1000 V. Jenis kabel ini dipergunakan untuk kabel daya diluar ruangan, kabel tanam atau kabel laut.

- Dua inti : Biru muda – Hitam.
- Tiga inti : Biru muda – Kuning – Hitam.

- Empat inti : Biru muda – merah – Kuning – Hitam.
 Lima inti : Hijau/kuning – Biru muda – Merah – Kuning – Hitam.
 Diatas Lima inti : Hitam dengan angka berwarna Putih.



Gambar 2.15 Kabel N2XRGBY

2.2.3.3. Tegangan Rendah Dengan Pelindung/Perisai

- a) Kabel NYSY : Kabel dengan inti tembaga yang dianilkan dengan sistem isolasi PVC, yang dilapisi peindung bagian dalam PVC dan dilengkapi dengan perisai Helically Copper Tape (Pita Tembaga) serta pelindung atau lapisan terluar PVC. Ukuran tegangan operasional pada 600 V sd 1000 V. Kabel ini digunakan pemasangan instalasi langsung dalam atau luar ruangan, dalam tanah atau dalam air.

- Dua inti : Biru muda – Hitam.
 Tiga inti : Biru muda – Kuning – Hitam.
 Empat inti : Biru muda – merah – Kuning – Hitam.

Lima inti : Hijau/kuning – Biru muda – Merah – Kuning – Hitam.

Diatas Lima inti : Hitam dengan angka berwarna Putih.



Gambar 2.16 Kabel NYSY

b) Kabel NYCY : Kabel dengan inti tembaga yang dianilkan dengan sistem isolasi PVC yang dilapisi bagian pelindung dalam PVC dilengkapi dengan perisai copper wire, serta elindung atau lapisan terluar PVC. Dioperasikan pada tegangan 600V sd 1000 V. Kabel jenis ini digunakan untuk pemasangan instalasi langsung dalam ruang dan luar ruangan.

Satu inti : Hitam.

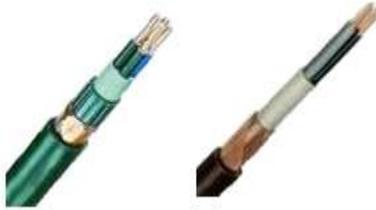
Dua inti : Biru muda – Hitam.

Tiga inti : Biru muda – Kuning – Hitam.

Empat inti : Biru muda – merah – Kuning – Hitam.

Lima inti : Hijau/kuning – Biru muda – Merah – Kuning – Hitam.

Diatas Lima inti : Hitam dengan angka berwarna Putih.



Gambar 2.17 Kabel NYCY

2.2.4. Kabel Fleksibel (Flexible Cable)

Jenis kabel ini memiliki konstruksi yang lentur. Mudah untuk dilakukan instalasi. Inti kabel merupakan kabel serabut, bukan kabel pejal. Beberapa macam Type kabel Fleksibel ini antara lain :

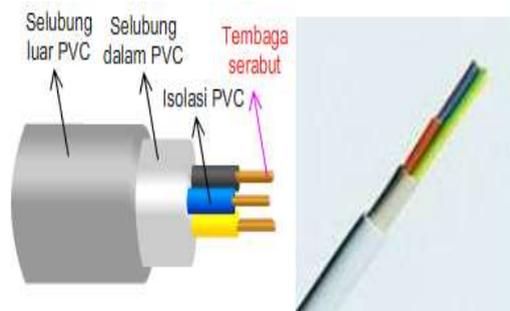
- a) Kabel NYAF : Kabel ini berisikan inti serabut dengan selubung PVC. Dipergunakan untuk instalasi permanen dalam pipa penghantar yang dipilester, jenis kabel ini digunakan untuk instalasi panel daya atau ditempat lain yang membutuhkan fleksibilitas kabel nya. Sedangkan klasifikasi inti kabel nya adalah sebagai berikut :
Kuning Hijau – Kuning Hitam – Biru muda dan merah.



Gambar 2.18 Kabel NYAF

b) Kabel NYMHY : Kabel dengan inti tembaga serabut sehingga bersifat fleksibel dengan isolasi PVC dan berselubung luar PVC. Kabel, jenis ini dapat digunakan untuk instalasi atau koneksi dalam ruang atau penggunaan yang mudah bergerak atau digunakan untuk peralatan listrik tangan, dengan klasifikasi inti kabel sebagai berikut :

- Dua inti : Biru muda – Hitam.
- Tiga inti : Biru muda – Kuning – Hitam.
- Empat inti : Biru muda – merah – Kuning – Hitam.
- Lima inti : Hijau – Biru muda – Merah – Kuning – Hitam.

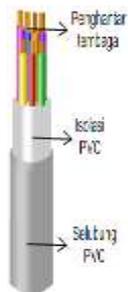


Gambar 2.19 Kabel NYMHY

2.2.5. Kabel Kontrol Kawat Fleksibel

Kabel ini adalah berjenis kabel kontrol. Bersifat fleksibel mudah untuk digerakkan dan lentur. Contoh kabel kontrol kawat fleksibel ini antara lain :

Kabel NYHHY : Kabel dengan inti tembaga sebagai penghantar dengan isolasi PVC dan berselubung terluar PVC. Dengan Tegangan operasional 450 V sd 750 V, biasanya dioperasikan untuk penghubung yang fleksibel dan kabel kontrol untuk mekanik yang berat.

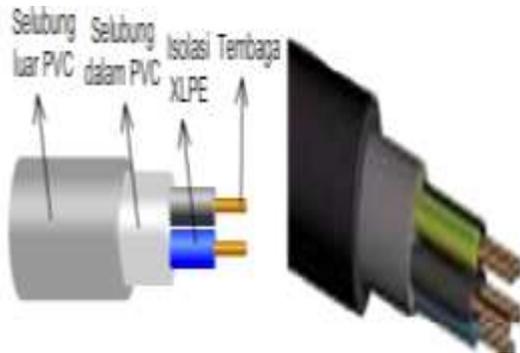


Gambar 2.20 Kabel NYHHY

2.2.6. Kabel Tegangan Menengah

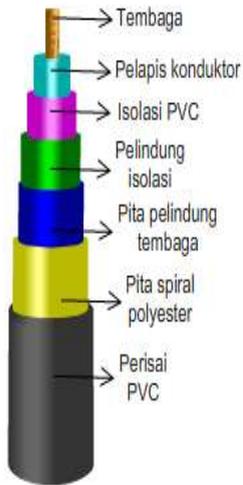
Kabel tegangan menengah adalah jenis kabel yang dioperasikan pada tegangan menengah yaitu 20 kV. Secara konstruksi memiliki dimensi yang lebih besar dari pada kabel tegangan rendah. Adapun beberapa contoh jenis kabel tegangan menengah ada di bawah ini :

- a) Kabel Tanah N2XY : Kabel jenis standar dengan jenis satu inti tunggal tembaga atau aluminium dengan campuran Semikonduktor, mempunyai isolasi PVC dan selubung PVC.



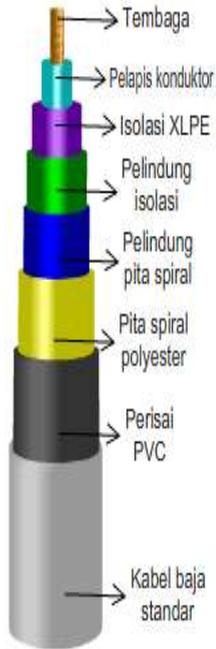
Gambar 2.20 Kabel Tanah N2XY

- b) Kabel NF2XSEY: Kabel dengan 3 inti tunggal tembaga atau aluminium dengan pelapis konduktor berupa campuran semi konduktif, isolasi PVC, pelindung isolasi berupa pita tembaga yang saling berimpit, yang dibungkus dengan pita spiral polyester yang saling berimpit dan mempunyai lapisan perisai PVC. Kabel ini beroperasi pada tegangan : maksimum antara : 7,2 kV sd 36 kV.



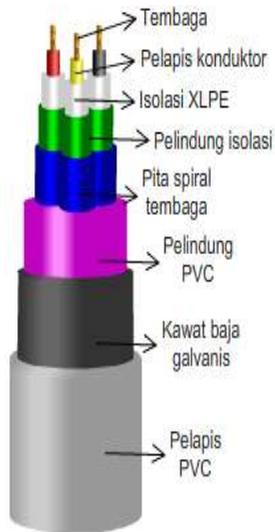
Gambar 2.22 Kabel NF2XSEY

- c) Kabel NF2XSEY-T: Kabel dengan 3 inti tunggal tembaga dengan pelapis konduktor berupa campuran Semikonduktor, isolasi PVC, pelindung isolasi berupa campuran semi konduktif, yang dilpisi pita spiral tembaga yang saling berimpit, dengan pelapis perisai PV. Kabel jenis ini mempunyai ukuran tegangan antara 12/20kV dengan tegangan maksimum sebesar 24 kV



Gambar 2.23 Kabel NF2XSEY-T

- d) Kabel NF2XSEFGBY: Kabel dengan 3 inti tembaga atau aluminium, isolasi XLPE, pelindung isolasi campuran Semikonduktor, pelindung metalic pita spiral tembaga yang saling berimpit, pelindung bagian dalam PVC yang dilapisi baja galvanis bundar dan pita tembaga dengan palpis perisai PVC. Kabel ini beroperasi pada tegangan antara 7,2 kV sd 36 kV.



Gambar 2.24 Kabel N2XSEFGBY

2.3. Tugas

1. Jika akan dipasang Diesel Genset dengan kapasitas 50 KVA, 3 f, 220/380, dan akan ditarik kabel NYY, maka tentukan jenis kabel dan ukuran penampang yang akan dipasang.
2. Ada proses peningkatan daya trafo dari 82,5 KVA menjadi 125 KVA, maka kabelnya harus diganti dengan penampang berapa (Jika kabel powernya menggunakan NYFGBY).

BAB III

Bahan Isolator

Tujuan Instruksional :

Setelah mempelajari Bab ini, di harapkan pembaca dapat:

1. Memahami dan menjelaskan tentang yang dimaksud dengan isolator.
2. Memahami dan menjelaskan jenis – jenis isolator yang digunakan pada instalasi listrik.
3. Memahami dan menyebutkan fungsi setiap jenis isolator yang digunakan pada sistem tenaga listrik.



Gambar 3.1 Tampak Atas Kabel Tembaga dan Isolatornya

3.1 Definisi Isolator

Pengertian Isolator adalah bahan yang tidak dapat atau sulit untuk melakukan perpindahan muatan listrik, atau secara umum isolator adalah penghambat aliran listrik. Fungsi Isolator yg lainnya ialah sebagai penopang beban ataupun pemisah antara konduktor tanpa membuat adanya aliran arus yang mengalir keluar atau antara konduktor. Alat ini juga sering digunakan sebagai alat yg digunakan utk menyangga kabel transmisi listrik yang terdapat pada tiang listrik[8].

Bahan isolator sendiri tidak ada yang sempurna, karena isolator masih membawa sejumlah muatan kecil mobile atau pembawa muatan yang dapat dibawa saat arus listrik mengalir. Hal tersebut menjadikan semua isolator menjadi konduktif secara elektrik pada saat voltase cukup besar digunakan, sehingga medan listrik akan mengalirkan air dari atom dan hal ini dikenal juga dengan sebutan Breakdown Isolator.

Beberapa Contoh Isolator yg baik itu sendiri diantaranya ialah Kertas, Kaca, ataupun Teflon. Sedangkan beberapa Contoh Bahan Isolator lainnya yang masih cukup bagus digunakan sebagai isolator diantaranya adalah Karet dan Plastik. Bahan – Bahan Isolator tersebut dipilih menjadi Isolator Kabel karena lebih mudah untuk diproses serta dibentuk, akan tetapi masih dapat digunakan sebagai penyumbat aliran listrik untuk voltase menengah (kurang lebih mampu menahan ratusan atau ribuan volt).

Fungsi Isolator sendiri yg paling utama ialah untuk menghindari sengatan listrik, hubungan arus pendek, dan juga menghindari bahaya kebakaran yang dikarenakan kabel saling bersentuhan dan menghasilkan sambungan silang. Oleh karena itu harus dipasang isolator pada bagian tengah

berongga pada kabel untuk mencegah terjadinya pantulan gelombang EM yang nantinya dapat menyebabkan kejutan manusia ataupun bahaya sengatan listrik pada tegangan yang lebih tinggi dari 60 volt.

3.2 Macam – Macam Isolator

Isolator yang ada di pasaran, memiliki beberapa jenis bahan pembuatnya antara lain : ada yang terbuat dari karet, dari kertas,, dari XLPE dan jenis jenis yang lain. Penjelasan dari masing - masing bahan pembuat isolasi tersebut adalah sebagai berikut[9]:

3.2.1 Kabel Selubung Karet (Eicables)

Yaitu jenis isolasi kabel yang terbuat dari karet, dimana isolasi yang terbuat dari bahan karet ini memiliki sifat – sifat ebagai berikut :

- a) Karet organik bersifat organik.
- b) Ketika dipergunakan cepat menjadi kaaku dan rapuh.
- c) Kalau sudah berusia lama dan mengalami keretakan, maka hilang sifat isolasinya.
- d) Lebih baik mempergunakan karet syntetis, daripada menggunakan karet organik.
- e) Karet syntetis leih fleksibel dan meiliki ketahanan yang lebih baik.
- f) Karet syntetis ini dapat dipakai pada temperatur 60°C sampai 180°C, tergantung dari campuran bahan pembuatnya.



Gambar 3.2 Isolator konduktor dengan bahan karet

3.2.2 Kabel Dengan Selubung Kertas

Kabel dengan selubung kertas ini biasa dipergunakan pada saat lalu. Saat ini sudah jarang dipergunakan. Isolasi kertas ini memiliki karakteristik sebagai berikut :

- a) Isolasi kertas ini memiliki nilai isolasi yang baik, kecuali jika basah.
- b) Kertas memiliki sifat Higroskopis, yaitu menyerap kelembapan di sekitarnya (Tidak boleh kontak langsung dengan udara).
- c) Kertas harus dilapisi dengan bahan penahan yang umumnya adalah timah, dikenal dengan sebutan PILC(Paper Insulated Lead Covered).
- d) PILC biasa dipakai untuk kondisi yang berat.
- e) Selubung kertas dicampurkan minyak atau bahan tahan serap agar Penyambungan kabel ini diperlukan metode khusus agar tetap terisolasi dengan baik.
- f) Kekurangannya kabe berisolasi kertas ini sangat berat, sehingga PVC dan XLPE lebih banyak dipakai.



Gambar 3.3 Kabel Berisolasi Kertas

3.2.3 Kabel Dengan Selubung PVC (Polivinyl Chloride).

Kabel dengan isolasi PVC ini sangat banyak dijumpai di lapangan. Dikarenakan bahannya yang kuat, nilai iresivitasnya yang cukup tinggi dan temperatur kerjanya juga cukup tinggi. Karakteristik isolasi PVC ini adalah sebagai berikut :

- a) Mudah digunakan dan tahan terhadap minyak dan bahan kimia lain.
- b) Bila terbakar, maka PVC akan menghasilkan asap tebal dikarenakan emngandung gas Chlorida hydrogen korosif.
- c) PVC ini tidak oleh digunakna pada suhu kurang drai 5° C. Walau ada jenis PVC khusus yang bekerja pada suhu -20° C.
- d) Bila terkena suhu tinggi maka PVC akan meleleh.

- e) PVC tidak meleleh pada suhu 70⁰C, walau tersedia juga PVC yang aman sampai suhu 85⁰ C.
- f) Pancaran sinar ultra violet yang terus menerus diarahkan ke PVC akan menyebabkan PVC menjadi kaku dan rapuh.



Gambar 3.4 Kabel berisolasi PVC

3.2.4 Kabel Dengan Thermosetting (XLPE – Gross-Linked Polyethylene)

Kabel dengan isolasi XLPE ini sangat abnyak dijumpai dipasaran, dan banyak juga di pakai di lapangan. Karakteristik dari kabel XLPE ini adalah sebagai berikut :

- a) XLPE adalah campuran thermoset.
- b) Sifat lebih baik dari PVC.

- c) XLPE dipakai pada tegangan menengah sampai tegangan tinggi.
- d) Lebih baik terhadap perubahan sifat pada suhu tinggi dari pada PVC.
- e) Dalam beberapa aplikasi juga menggantikan isolasi jenis PILC (paper insulated lead covered).
- f) XLPE ini bisa bertahan pada suhu 90°C , dimana bisa meningkatkan kapasitas arus, khususnya bila suhu lingkungan sangat tinggi.



Gambar 3.5 kabel dengan isolasi XLPE

3.2.5 Kabel Dengan LSF (Low Smoke and Fume)

Kabel dengan LSF (Low Smoke and Fume) ini adalah kabel yang jika terbakar akan mempunyai asap dan emisi gas korosif yang sedikit. Hal ini berlawanan dengan sifat isolasi PVC. Isolasi LSF ini memiliki karakteristik sebagai berikut :

- a) Jika terbakar maka memiliki sedikit asap.
- b) Umumnya dipergunakan sebagai campuran selubung XLPE atau LSF.
- c) LSF ini dipergunakan untuk kabel yang berposisi di daerah yang memiliki kemungkinan kebakaran yang tinggi. Sehingga jika menggunakan LSF maka kabel akan lebih aman.



Gambar 3.6 Kabel dengan isolasi LSF

3.2.6 Mineral (Magnesium Oksida)

Kabel jenis ini menggunakan isolasi dengan pembungkus tembaga. Kabel ini berfungsi untuk dioperasikan pada tempat-tempat bertemperatur

tinggi dan tahan api. Adapun karakteristiknya adalah sebagai berikut :

- a) Isolasi dilapisi dengan selubung tembaga.
- b) Tahan api dan bisa tahan sampai temperatur 250°C .
- c) Sepenuhnya in organik.
- d) Kabel ini mempunyai diameter yang kecil dengan kekuatan mekanis yang bagus, tahan air, tahan korosi dan tahan pulsa elektromagnetik, lentur dan tahan korosi.
- e) Dalam kasus tertentu, selubung tembaga bisa mengalami korosi, maka digunakan LSF untuk melindunginya yang akan mengurangi suhu kerja.
- f) Untuk mencegah masuknya kelembapan, maka digunakan seal khusus pada potongan kabel.
- g) Jika diinginkan kabel memiliki kemampuan untuk mengurangi efek elektromagnetis bisa ditambahkan mineral khusus pada inti logam.



Gambar 3.7 Kabel Mineral (Magnesium Oksida)

3.3 Tugas

Sebutkan jenis kabel yang akan di pakai untuk memasang kabel kontrol yang berada di sekitar Boiler suatu Pembangkit Tenaga Listrik Tenaga Uap. Kapasitas arus yang melaluinya tidak lebih dari 5 ampere dengan tegangan sebesar 48 V.

BAB IV

Semikonduktor

Tujuan Instruksional :

Setelah mempelajari Bab ini, di harapkan pembaca dapat:

1. Memahami dan menyebutkan beberapa karakteristik dari bahan Semikonduktor.
2. Memahami dan menyebutkan karakteristik tegangan dari bahan Semikonduktor
3. Memahami dan menyebutkan karakteristik tahanan dari bahan Semikonduktor.
4. Memahami dan menyebutkan karakteristik suhu bahan Semikonduktor



Gambar 4.1 Struktur Atom Penyusun Semikonduktor

4.1 Definisi Semikonduktor

Semikonduktor ini berada di pertengahan tersebut, artinya Semikonduktor adalah sebuah bahan dengan konduktivitas listrik yang berada di antara insulator (isolator) dan konduktor.

Semikonduktor disebut juga sebagai bahan setengah penghantar listrik. Semikonduktor ini memiliki hambatan jenis antara 10^{-6} - $10^4 \Omega\text{m}$ [10].

Pada 1950-an, produksi perangkat semikonduktor terutama menggunakan bahan kristal tunggal germanium. Pada 1960-an, karena kinerja bahan kristal tunggal silikon jauh melampaui germanium, silikon semikonduktor telah banyak digunakan, dan silikon telah mendominasi bahan semikonduktor[11].

Pembuatan sirkuit terpadu berskala besar didominasi oleh bahan kristal tunggal silikon, dan senyawa semikonduktor III-V seperti galium arsenide, gallium phosphide, indium antimonide, dll juga telah menerima perhatian yang meningkat, terutama GaAs. Dengan karakteristik yang sangat baik dari silikon dan germanium yang dapat beroperasi pada suhu dan frekuensi tinggi, ia juga memiliki celah pita yang lebih besar dan mobilitas elektron, dan cocok untuk pembuatan perangkat efek tubuh gelombang mikro, efisiensi tinggi memancarkan cahaya inframerah dioda, dan laser semikonduktor. Gallium arsenide adalah bahan semikonduktor yang menjanjikan.

Dengan peningkatan teknologi manufaktur sirkuit terpadu berskala besar, bidang penelitian dan objek kimia semikonduktor akan terus berkembang.

Sebelum ditemukannya gallium keberadaan dan sifat utamanya diprediksi oleh ahli kimia Rusia Dmitri Mendeleev. Dia menamai elemen hipotetis eka-aluminium saat ia meramalkan unsur tersebut akan duduk di bawah aluminium pada tabel periodik. Gallium ditemukan oleh ahli kimia Prancis Paul E. Lecoq de Boisbaudran melalui sebuah spektroskop

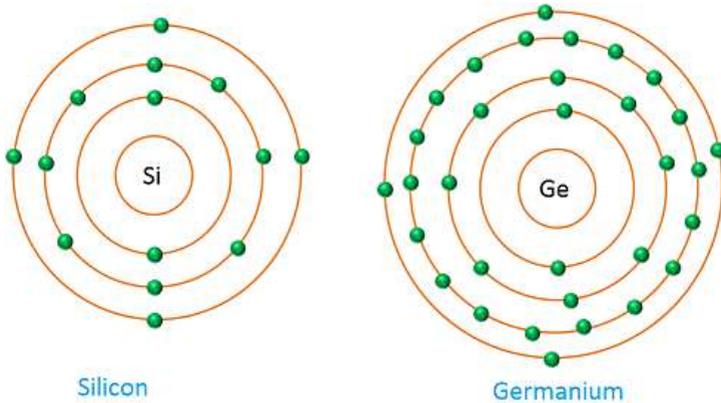
pada tahun 1875 di Paris. Ciri khasnya sekarang (dua garis ungu) mengidentifikasinya sebagai elemen baru[12].

De Boisbaudran mengekstraksi gallium dalam contoh pertama dari bijih seng blende dari Pyrenees dan awalnya diperoleh hanya 0,65 gram dari 430 kilogram bijih. Dia mengisolasi gallium dengan elektrolisis hidroksidanya dalam larutan kalium hidroksida. Asal namanya berasal dari kata Latin 'Gallia', yang berarti Prancis. Foto di bawah ini menunjukkan Kristal dari logam gallium

Gallium adalah logam lembut keperakan, seperti kaca. Ia berada dekat dengan non-logam dalam tabel periodik dan sifat metaliknya tidak sama persis dengan logam lainnya. Gallium padat rapuh dan merupakan konduktor listrik yang lebih buruk daripada timbal. Pecahan logam padat ini membentuk conchoidal. (seperti cangkang, permukaan yang retak melengkung seperti cangkang laut.)

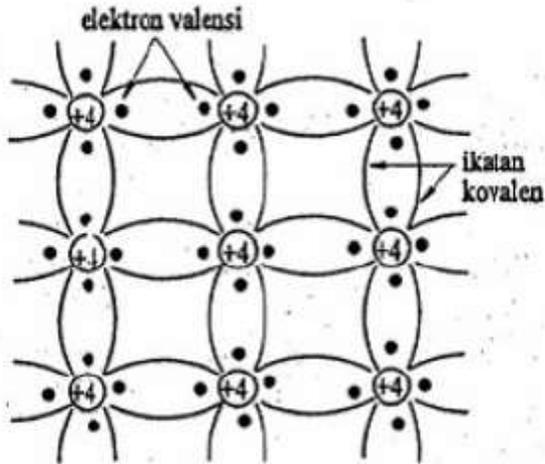
4.2 Struktur Atom Semikonduktor

Atom dibentuk oleh 3 partikel bebas, yaitu elektron (bermuatan negatif), proton (bermuatan positif), dan neutron (netral). Proton dan neutron menempati inti, sedang elektron berada pada shell-shell mengelilingi inti. Sifat suatu material ditentukan oleh jumlah elektron pada shell terluarnya. Atom semikonduktor memiliki 4 elektron pada shell terluarnya[13].



Gambar 4.2 Struktur Atom Semikonduktor

Atom-atom semikonduktor dalam bentuk padatan tersusun secara teratur mengikuti pola tertentu yang disebut kristal atau struktur latis (lattice structure). Atom paling stabil bila memiliki 8 elektron pada shell terluar atau 2 elektron pada shell terluar bila atom hanya memiliki 1 shell. Elektron yang menempati shell terluar disebut juga elektron valensi. Dalam kristal silikon/germanium murni, agar memiliki konfigurasi elektron yang stabil, atom-atomnya akan cenderung saling meminjamkan elektronnya membentuk suatu ikatan yang disebut ikatan kovalen.



Gambar 4.3 Struktur Atom Semikonduktor (2)

Dari gambar tersebut memiliki ciri-ciri :

- a) Ikatan inti atom yang stabil adalah jika dikelilingi oleh 8 elektron.
- b) Ikatan kovalen adalah ikatan dimana elektron tidak dapat berpindah dari satu inti ke inti atom yang lainnya atau disebut juga sebagai isolator.
- c) Pada suhu kamar, ada beberapa ikatan kovalen yang lepas karena energi panas sehingga elektron terlepas tetapi tidak banyak, untuk itu diperlukan doping.

Tabel 4.1. Elemen Semikonduktor pada Tabel Periodik

KOLOM III		KOLOM IV		KOLOM V	
5	B BORON 10,82	6	C CARBON 12,01	7	N NITROGEN 14,008
13	Al ALUMINUM 26,97	14	Si SILICON 28,09	15	P PHOSPHORUS 31,02
31	Ga GALLIUM 69,72	32	Ge GERMANIUM 72,60	33	As ARSENIC 74,91
49	In INDIUM 114,8	50	Sn TIN 118,7	51	Sb ANTIMONY 121,8

4.3 Pita Energi

Pada pembahasan sebelumnya diketahui bahwa atom terdiri dari inti dan elektron – elektron, dimana inti terdiri dari neutron dan proton. Elektron ini berada pada kulit atom memiliki tingkatan energi masing – masing, sehingga hal ini akan menyebabkan elektron itu berada pada lintasan nya. Demikian juga terjadi pada kristal. Kristal memiliki tingkat energi yang dapat digambarkan dengan cara yang sama dengan atom tunggal. Interaksiantar atom pada kristal hanya terjadi pada elektron di kulit terluar (elektron valensi), sehingga tingkat energi untuk elektron pada kulit bagian dalam tidak berubah.

Suatu tingkatan energi tidak boleh terdapat lebih dari satu elektron pada keadaan yang sama, hal ini dijelaskan pada azas Pauli. Apabila terdapat lebih dari satu elektron pada keadaan

yang sama, akan terjadi pergeseran tingkat energi, sehingga tidak pernah terjadi tingkat-tingkat energi yang bertindihan. Kumpulan garis pada tingkat energi yang sama akan saling berhimpit dan membentuk suatu pita yang disebut sebagai pita energi.

Pada sebuah atom tunggal elektron-elektronnya hanya boleh menempati tingkat-tingkat energi tertentu seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 4.3. Sedangkan untuk kristal yang memiliki atom yang tersusun secara periodik dan teratur sehingga atom-atomnya saling berdekatan. Hal inilah yang menyebabkan elektro-elektron yang berada pada kulit terluar (elektron valensi) akan saling berinteraksi sehingga tingkat-tingkat energinya akan saling berhimpit dan dianggap membentuk suatu pita energi seperti pada gambar 4.4.

4.3.1 Jenis-Jenis Pita Energi

Secara umum, pita energi ini akan terbagi menjadi 2 (dua) daerah besar, yaitu daerah pita valensi (Valence Band) dan pita konduksi (Conduction Band). Atom-atom pada daerah pita valensi terikat sangat erat dengan inti atom, sedangkan atom-atom pada daerah pita konduksi mudah sekali terlepas dari inti atom. Pada umumnya, antara pita valensi dan pita konduksi memiliki jarak tertentu yang dikenal dengan istilah celah energi. Berdasarkan celah energi inilah sifat-sifat material dapat dibedakan. Elektron-elektron tidak diperbolehkan menempati celah-celah energi ini. Besarnya energi yang diperlukan untuk memindahkan elektron dari pita valensi ke pita konduksi adalah sebesar energi pada pita terlarang[14].



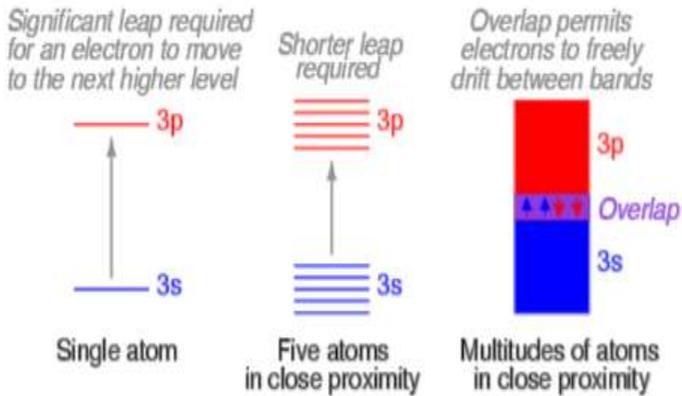
PITA-PITA ENERGI NATRIUM

Gambar 4.4 Pita Energi Natrium

Berdasarkan celah energinya suatu material dibagi menjadi tiga macam, yaitu :

1. Konduktor

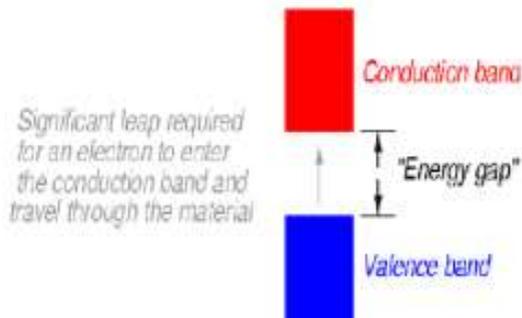
Bahan yang bersifat konduktor ini biasanya berupa material logam dimana energygap (celah energi) nya saling tumpang tindih (overlap) sehingga atom-atom dari pita valensi ini sangat mudah berpindah ke pita konduksi. Hal inilah yang menyebabkan logam memiliki sifat konduktif (dapat menghantarkan arus listrik), dimana konduktivitas listriknya $\geq 10^5 \sigma / m$. Gambar 4.5., mengilustrasikan pita energi dan celah energi pada konduktor.



Gambar 4.5 Pita Energi

2. Isolator

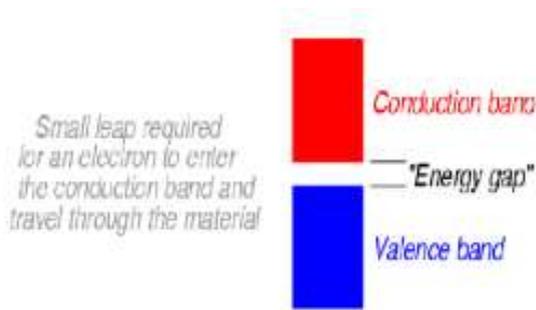
Untuk material-material non-logam ini biasanya memiliki celah energy yang berjauhan sehingga atom-atom sulit untuk bergerak ke arah pita konduksi. Sehingga material-material jenis ini memiliki sifat sulit untuk menghantarkan listrik atau isolator, dimana untuk bahan/material jenis ini konduktivitasnya $10^5 \sigma / m$. Berikut adalah gambar pita dan celah energi untuk material isolator Gambar 4.6.



Gambar 4.6 Pita Energi Isolator

3. Semikonduktor

Semikonduktor namun terdapat beberapa bahan/material yang memiliki celah energi yang berdekatan. Oleh karena itu, pada kondisi normal atom-atom sulit bergerak ke daerah pita konduksi sehingga bersifat isolator. Tetapi jika diberi sedikit tambahan energi, atom-atom tersebut dapat bergerak ke daerah pita konduksi sehingga menjadi bersifat konduktor. Untuk material/bahan jenis ini memiliki konduktifitas listrik sebesar $10^{-5} \Omega^{-1} \text{m} \leq \leq 10^5 \Omega^{-1} \text{m}$. Karena sifatnya yang demikian, bahan/material tersebut dikenal sebagai semikonduktor. Gambar 4.7., menunjukkan ilustrasi dari pita energi dan celah energi yang dimiliki oleh bahan semikonduktor[15].

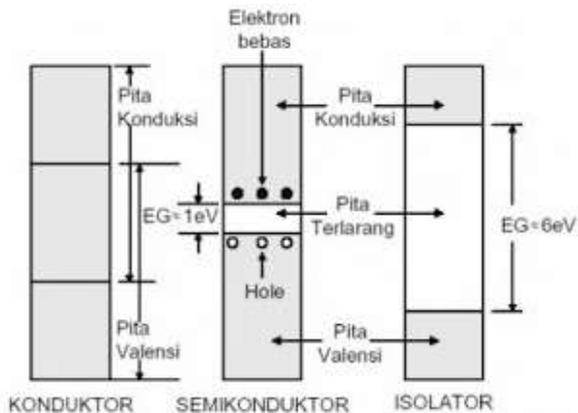


Gambar 4.7 Pita Energi Semikonduktor

Material-material yang telah disebutkan sebelumnya, memiliki daya hantar (konduktifitas) listrik yang berbeda-beda. Untuk dapat menerangkan sifat

daya hantar listrik zat padat diperlukan sebuah model. Model yang dikembangkan adalah model elektron bebas terkuantisasi, namun pada model ini tidak dapat menjelaskan rentang nilai konduktivitas listrik dari zat padat yang lebar. Pada model ini potensial dari gugus ion diabaikan ($V = 0$). Model yang kedua adalah model pita energi, dimana model ini dapat menjelaskan rentang nilai konduktivitas listrik dari zat padat yang lebar. Pada model ini potensial dari gugus ion tidak diabaikan atau terdapat potensial yang berkala pada suatu zat padat.

4.3.2 Semikonduktor dibandingkan Konduktor dan Isolator dengan Tinjauan Pita Energinya [10]



Gambar 4.8 Elektrovalensi Semikonduktor

Berikut Contoh Bahan Semikonduktor :

Tabel 4.2. Nilai Hambatan Jenis Dan Koefisien Muai Semi Konduktor

Bahan	Hambatan Jenis ρ (Ωm)	Koefisien muai, α ($^{\circ}\text{C}$)-1
Karbo (grafit)	$(3-60) \times 10^{-5}$	- 0,0005
Germanium	$(1-500) \times 10^{-3}$	- 0,05
Silikon	0,1 – 60	- 0,07

Tipe Semikonduktor :

Semikonduktor terbagi menjadi 2 yaitu semikonduktor intrinsik dan ekstrinsik dimana pada semikonduktor ekstrinsik ini terbagi lagi menjadi 2 yaitu semikonduktor tipe-p dan tipe-n.

Semikonduktor Intrinsik :

Semikonduktor Instrinsik adalah semikonduktor murni, karena belum diberi pengotoran sehingga jumlah hole dan elektron bebasnya sama. Contohnya Germanium (Ge) dan Silikon (Si).

Semikonduktor Ektrinsik :

Semikonduktor Ektrinsik adalah semikonduktor yang sudah dikotori, yaitu mengalami penyisipan atom-atom lain. Semikonduktor ini terbagi menjadi 2 yaitu tipe-p dan tipe-n.

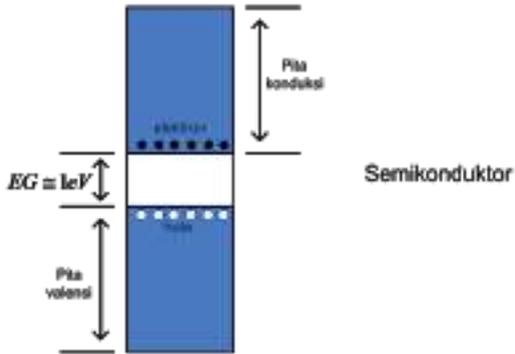
4.4 Jenis – Jenis Semikonduktor

Kebanyakan komponen-komponen elektronik dibuat dari kristal khusus yang disebut Semikonduktor. Empat peralatan semikonduktor yang paling umum digunakan adalah diode, transistor, tirister, dan rangkaian terintegrasi (Integrated Circuit, IC).

Semikonduktor juga digunakan untuk sensor panas (termistor) dan sensor cahaya (light-sensing). Istilah Semikonduktor digunakan untuk menjelaskan bahwa karakteristik material tersebut berada diantara isolator dan konduktor. Semikonduktor murni dapat bekerja sebagai konduktor atau sebagai isolator, tergantung pada temperatur sekelilingnya. Material semikonduktor yang paling umum digunakan adalah silikon (Si) dan germanium (Ge), dan diantara keduanya silikon lebih banyak digunakan karena lebih murah dan lebih mudah didapatkan.

4.4.1 Semikonduktor Intrinsik

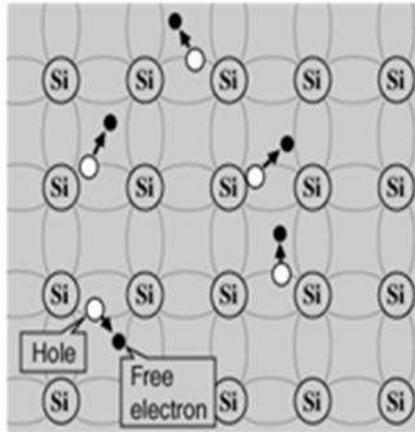
Semikonduktor Intrinsik dibuat tanpa menambahkan atom-atom impuritas, sehingga jumlah elektron sama dengan jumlah lubang (hole) yang ditinggalkan elektron ketika elektron bergerak dan energi tambahan yang dibutuhkan untuk meningkatkan konduktivitasnya relatif besar.



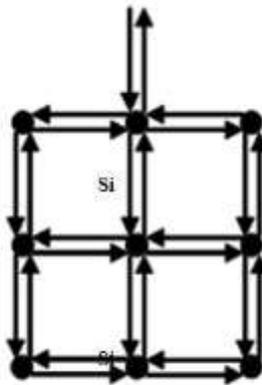
Gambar 4.9. Semikonduktor intrinsik

Perbedaan antara semikonduktor dan isolator adalah pada ukuran sela energi terlarang. Pada semikonduktor, besar sela energi yang sempit menyebabkan elektron dapat melompat ke pita konduksi yang kosong. Si dan Ge murni memiliki sifat sebagai semikonduktor intrinsik. Energi sela E_g antara pita valensi dan pita konduksi dalam semikonduktor adalah kecil, sehingga bila beberapa elektron memiliki energi termal yang cukup, maka akan dapat melompati sela dan masuk ke dalam pita konduksi.

Pada Kristal semikonduktor Si, 1 atom Si yang memiliki 4 elektron valensi berikatan dengan 4 atom Si lainnya, perhatikan gambar 4.10.



Gambar 4.10 Struktur Kristal 2 Dimensi Kristal Si



Gambar 4.11 Ikatan Kovalen Pada Semikonduktor instrinsik Si

Lubang elektron yang terjadi dalam pita valensi dapat mengantarkan muatan, karena elektron yang terletak di

bagian yang lebih dalam dari pita dapat bergerak ke atas mengisi lubang yang dikosongkan tadi. Bila suatu tegangan dikenakan pada suatu material semikonduktor, maka elektron pada pita konduksi bergerak ke elektrode positif, sedang lubang pada pita valensi bergerak ke elektrode negatif. Dengan demikian arus yang dihasilkan merupakan gabungan dari gerakan elektron dan gerakan lubang. Konduktivitas yang dihasilkan oleh sejumlah pasangan elektron dan lubang adalah:

$$\sigma = n_n q \mu_n + n_p q \mu_p$$

Dimana :

n_n & n_p = jumlah elektron dan jumlah lubang (m^{-3})

q = muatan (coulomb)

μ_n & μ_p = mobilitas elektron dan lubang ($m^2 V^{-1} s^{-1}$)

Dalam semikonduktor intrinsik :

$$n = n_n = n_p$$

Sehingga :

$$\sigma = n q (\mu_n + \mu_p)$$

Mobilitas elektron dalam suatu semikonduktor lebih besar dari pada mobilitas lubang dalam semikonduktor yang sama ($\mu_n = \mu_p$)

Sumber energi yang dapat meningkatkan konduktivitas suatu semikonduktor intrinsik :

- Energi panas,
- Energi cahaya (foton),
- Energi elektron berkecepatan tinggi,

Energi Panas :

Logam akan mengalami kenaikan tahanan dan penurunan konduktivitas bila suhu meningkat, tetapi sebaliknya konduktivitas semikonduktor intrinsik meningkat dengan naik nya suhu.

Konduktivitas :

$$\sigma = \sigma_0 e^{-E_g/2kT}$$

dimana :

σ_0 = konstanta pembanding yang mencakup faktor-faktor q dan μ ;

k = konstanta Boltzman

T = temperatur absolut

Persamaan Konduktivitas dapat pula dituliskan :

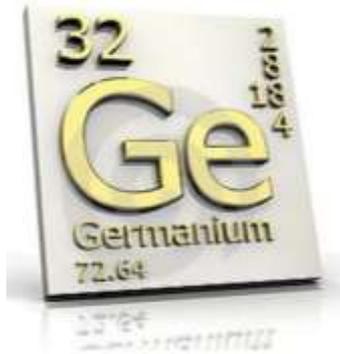
$$\ln \sigma = \ln \sigma_0 - E_g / 2kT$$

Jadi persamaan di atas dapat dilihat bahwa σ meningkat bila T meningkat.

Energi cahaya (foton) : berupa sinar infra merah.

- Suatu foton dapat memacu elektron agar melompati sela energi, sehingga dihasilkan sepasang elektron konduksi dan lubang valensi sebagai pembawa muatan;
- Bila energi berkurang, pasangan elektron-lubang akan bergabung kembali;
- Pada saat elektro turun melalui sela, energi dibebaskan dalam bentuk energi cahaya (foton).

4.4.1.1 Germanium



Gambar 4.12 Data Germanium pada Susunan Periodik Berkala

Germanium murni adalah metaloid yang bersifat keras, getas, berkilau, dan berwarna putih abu-abu. Unsur ini memiliki sifat kimia dan fisika mirip silikon. Germanium stabil di udara dan air, serta tidak terpengaruh oleh asam dan basa, kecuali asam nitrat. Germanium tidak tersedia banyak di alam. Dalam proses geologi, unsur ini tidak banyak berasosiasi dengan mineral sehingga penyebarannya amat luas, namun dengan konsentrasi amat rendah[16][17].

Bijih germanium termasuk langka. Bijih yang paling umum ditemukan adalah germanite yang merupakan tembaga besi germanium sulfida dengan kandungan sekitar 8% germanium. Namun bijih ini pun biasanya tidak ditambang. Germanium tersebar di bijih logam lain, seperti seng, sehingga germanium terutama diperoleh sebagai produk sampingan dari pengolahan berbagai bijih logam lain.

a) Penggunaan Germanium,

Germanium merupakan semikonduktor penting yang terutama digunakan dalam transistor dan sirkuit terpadu. Germanium juga mampu membentuk berbagai senyawa. Germanium oksida bisa ditambahkan ke kaca untuk meningkatkan indeks bias yang digunakan dalam lensa wide-angle dan perangkat inframerah. Detektor kristal germanium lazim digunakan untuk mengidentifikasi sumber-sumber radiasi dan banyak digunakan di berbagai bandara.

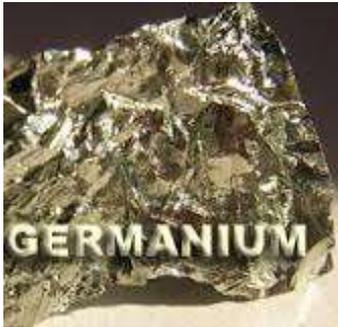
b) Efek Kesehatan Germanium

Manusia diperkirakan mengkonsumsi germanium sekitar 1 mg/hari dari makanan dan minuman. Terdapat klaim bahwa germanium bermanfaat bagi kesehatan, namun klaim ini belum pernah dibuktikan secara ilmiah. Asupan tinggi germanium dipercaya meningkatkan sistem kekebalan tubuh, meningkatkan pasokan oksigen tubuh, serta menghancurkan radikal bebas.

Germanium hidrida dan germanium tetrahidrida sangat mudah terbakar dan meledak bahkan hanya dengan terpapar udara. Terpapar oleh senyawa tersebut bisa memicu berbagai keluhan seperti iritasi mata, kulit, dan saluran pernapasan. Substansi ini juga menyebabkan efek pada darah dengan mengakibatkan lesi sel darah.

c) Dampak Lingkungan Germanium

Gas germanium lebih berat daripada udara dan jika terbebas dalam konsentrasi tinggi berpotensi menimbulkan ledakan. Sebagai logam berat, germanium dianggap memiliki berbagai dampak negatif pada ekosistem perairan



Gambar 4.13 Germanium

4.4.1.1 Silikon



Gambar 4.14 Silikon

Silikon adalah suatu unsur kimia dalam tabel periodik yang memiliki lambang Si dan nomor atom 14. Silikon merupakan unsur periode ketiga yang paling banyak terdapat di alam. 28% dari massa kulit bumi mengandung silikon. Silikon adalah unsur kedua yang paling berlimpah di kerak bumi, setelah oksigen.

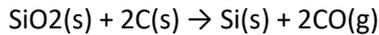
Silikon membentuk 28% kerak bumi dalam jumlah berat, dan merupakan unsur terbanyak kedua, setelah oksigen. Silikon tidak ditemukan bebas di alam. Silikon terdapat dalam bentuk senyawa oksida silika SiO_2 , dan mineral yang disebut silikat. Kristal SiO_2 murni mudah kita jumpai yang dikenal dengan nama pasir atau kuarsa, sedangkan Kristal SiO_2 yang tidak murni (dengan runtuhan bahan kotoran, di antaranya adalah agata (akik), oniks, opal, batu kecubung (amethyst), dan flint. Granit, hornblende, asbestos, feldspar, tanah liat, mica, dsb merupakan contoh beberapa mineral silikat.

Silikon memiliki 14 isotop yang setengah-hidup diketahui, dengan nomor massa 22-36. Dari jumlah tersebut, tiga yang stabil, yaitu ^{28}Si (92.23%), ^{29}Si (4.67%), dan ^{30}Si (3.10%). Sebab spin intinya $I = 1/2$, ^{29}Si digunakan dalam studi NMR senyawa silikon organik atau silikat (NMR padatan).

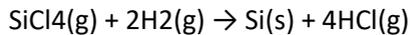
a. Sifat Kimia Silikon

Silikon di kulit bumi terdapat dalam berbagai bentuk silikat, yaitu senyawa silikon dengan oksigen. Unsur

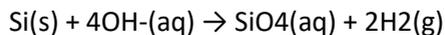
ini dapat dibuat dari silikon dioksida (SiO₂) yang terdapat dalam pasir, melalui reaksi:



Silikon murni berstruktur seperti Intan (tetrahedral) sehingga sangat keras dan tidak menghantarkan listrik jika dicampur dengan sedikit unsur lain, seperti aluminium (Al) atau boron (B). Silikon bersifat semikonduktor (sedikit menghantarkan listrik), yang diperlukan dalam berbagai peralatan elektronik, seperti kalkulator dan komputer. Itulah sebabnya silikon merupakan zat yang sangat penting dalam dunia modern. Untuk itu dibutuhkan silikon yang kemurniannya sangat tinggi dan dapat dihasilkan dengan reaksi:



Jari-jari silikon lebih besar dari karbon, sehingga tidak dapat membentuk ikatan π (rangkap dua atau tiga) sesamanya, hanya ikatan tunggal (σ). Karena itu silikon tidak reaktif pada suhu kamar dan tidak bereaksi dengan asam, tetapi dapat bereaksi dengan basa kuat seperti NaOH.



Batuan dan mineral yang mengandung silikon, umumnya merupakan zat padat yang mempunyai titik leleh tinggi, keras, yang setiap keping darinya merupakan suatu kisi yang kontinu terdiri dari atom-atom yang terikat erat.

Sebuah contoh senyawa silikon yang memiliki titik leleh tinggi adalah silikon dioksida, yang terdapat dalam bentuk kuarsa, agata (akik), pasir, dan seterusnya.

b. Reaktifitas silikon

Kereaktifan silikon sama halnya dengan boron dan karbon yaitu sangat tak reaktif pada suhu biasa. Bila silikon bereaksi, tak ada kecenderungan dari atom-atom silikon untuk kehilangan elektron-elektron terluar dan membentuk kation sederhana seperti Si^{4+} , karena ion-ion kecil ini akan mempunyai rapat muatan begitu tinggi. Namun atom-atom ini biasanya bereaksi dengan persekutuan antara elektron mereka membentuk ikatan kovalen. Bila dipanaskan dalam udara, unsur-unsur itu bereaksi dengan oksigen dalam reaksi pembakaran yang sangat eksotermik untuk membentuk oksida SiO_2 yang bersifat asam.

4.4.1.2 Galium Arsenid

Gallium merupakan unsur ketiga dalam kolom ketiga belas dari tabel periodik. Gallium diklasifikasikan sebagai logam pasca-transisi atau "logam miskin". Atom Gallium memiliki 31 elektron dan 31 proton dengan 3 elektron valensi di kulit terluar.

Gallium arsenide adalah senyawa golongan III-V, padatan berwarna abu-abu hitam dengan titik leleh 1238°C . Di bawah 600°C , bisa stabil di udara, dan tidak diserang oleh asam-asam bukan pengoksidasi.

Merupakan bahan semikonduktor senyawa penting, dengan germanium, rasio silikon, celah pita dan mobilitas

elektron relatif besar, perangkat yang dibuat dengan itu memiliki karakteristik frekuensi yang lebih baik dan karakteristik suhu tinggi. Digunakan untuk membuat perangkat semikonduktor microwave dan laser semikonduktor. Germanium dan arsenik disintesis pada suhu tinggi dan kemudian dibuat menjadi kristal tunggal.

Ada berbagai macam bahan semikonduktor, mulai dari zat sederhana hingga senyawa, dari bahan anorganik hingga bahan organik, dan dari kristal tunggal hingga bahan amorf, sebagai bahan semikonduktor. Menurut komposisi kimia dan struktur material, semikonduktor dapat dibagi menjadi semikonduktor unsur seperti silikon (Si) dan germanium (Ge); senyawa semikonduktor biner seperti galium arsenide (GaAs) dan indium telluride (InSb); Senyawa semikonduktor, seperti GaAsAl, GaAsP; semikonduktor padat-solusi, seperti Ge-Si, GaAs-GaP; semikonduktor kaca (juga dikenal sebagai semikonduktor amorf), seperti silikon amorf, semikonduktor oksida kaca; semikonduktor organik, seperti phthalocyanine, germanium Cyanine, polyacrylonitrile, dll.



Gambar 4.15 Pemanfaat Galium Arsenide untuk Photovoltaic

Gallium merupakan unsur] terbesar kedua dari unsur apapun yang memiliki range bentuk cair dan merupakan satu dari sedikit logam yang cair di dekat suhu kamar (titik leleh 29.76 oC, 85.6 oF) mencair di tangan. Logam lain dengan sifat ini adalah cesium, francium dan merkuri. Brom adalah satu-satunya elemen non-logam yang cair pada atau di sekitar suhu kamar. Cairan gallium menempel pada atau membasahi kaca dan permukaan yang serupa. Gallium juga memiliki sifat yang tidak biasa yang (seperti air) yang berkembang saat membeku. Empat elemen lainnya berkembang saat mereka membeku; silikon, bismut, antimon dan germanium.

Penggunaan Gallium

Paduan galium dengan titik leleh yang rendah digunakan dalam beberapa termometer medis sebagai pengganti merkuri yang tidak beracun. Gallium arsenide digunakan dalam produksi semikonduktor terutama untuk dioda laser, dioda pemancar cahaya dan panel surya. Gallium juga digunakan untuk membuat cermin yang berkilau.

Kelimpahan dan Isotop

Kelimpahan kerak bumi: 19 bagian per juta berat, 5,5 bagian per juta mol. Kelimpahan tata surya: 40 bagian per miliar berat, 0,6 bagian per miliar per mol. Gallium tidak berada bebas di alam dan tidak ada mineral dengan kandungan galium yang substansial. Secara komersial, kebanyakan gallium diekstraksi sebagai produk sampingan dari produksi aluminium dan seng. dalam jumlah rendah, kita bisa menemukan gallium dalam berbagai mineral, seperti sphalerite, bauksit, dan batu bara. Gallium juga diekstraksi dari debu cerobong batubara.

Tabel 4.3 Beberapa Properti dasar Silikon dan Germanium pada 300K

Properti	Silikon	Germanium
Energi terlarang/gap (eV)	1,1	0,67
Mobilitas elektron, μ_n ($\text{m}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$)	0,135	0,39
Mobilitas lubang, μ_p ($\text{m}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$)	0,048	0,19
Konsentrasi intrinsik, n_i (m^{-3})	$1,5 \times 10^{16}$	$2,4 \times 10^{19}$
Resistivitas intrinsik, ρ_i (Ωm)	2300	0,46

4.4.2 Semikonduktor Ekstrinsik

Semikonduktor Ekstrinsik dibuat dengan menambahkan atom-atom impuritas, sehingga jumlah elektron tidak sama dengan jumlah lubang dan energi tambahan yang dibutuhkan untuk meningkatkan konduktivitasnya relatif kecil. Proses penambahan impuritas ke kristal untuk menambah strukturnya disebut doping, sedangkan impuritas yang ditambahkan disebut dopant. Konduktivitas semikonduktor ekstrinsik tergantung pada jumlah impuritas yang ditambahkan. Terdapat dua jenis material semikonduktor ekstrinsik, yaitu material jenis N dan material jenis P.

4.4.2.1 Semikonduktor Ekstrinsik tipe N

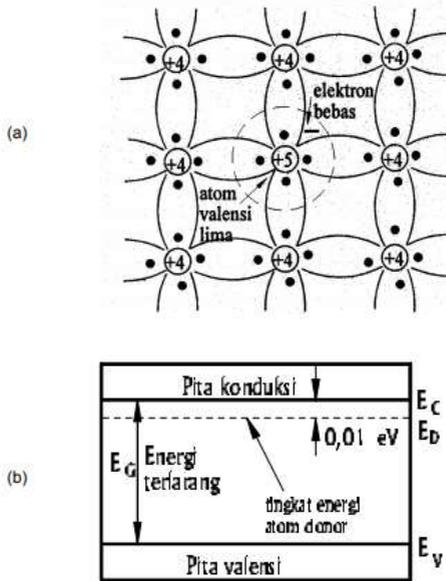
Berbeda dengan tipe-p, semikonduktor tipe-n diberikan doping (pengotoran) atomatom yang memiliki elektron valensi 5, bersifat negatif karena terdiri dari elektron-elektron. Elektron sendiri bermuatan Negatif sehingga disebut dengan Tipe Negatif atau N-type. Contoh atom pengotornya ialah Arsenic (As) dan Antimony (Sb). Pada

N-type Semikonduktor yakni Elektron sebagai Majority Carrier dan Hole sebagai Minority Carrier.

Untuk menghasilkan material jenis-N, dilakukan dengan menambahkan atom elemen yang memiliki elektron valensi yang lebih banyak daripada kristal semikonduktornya. Sebagai contoh atom arsenik (Ar) dengan elektron valensi lima ditambahkan ke silikon murni. Empat dari lima elektron valensi arsenik akan bergabung dalam ikatan kovalen dengan atom-atom silikon. Dalam hal ini akan terdapat satu elektron atom arsenik yang masih bebas bergerak disekitar kristal, sehingga elektron ini disebut elektron bebas. Impuritas yang ditambahkan tersebut akan menghasilkan beberapa elektron bebas yang akan menolong pergerakan arus dan disebut pembawa.

Elemen yang umum digunakan untuk membuat material jenis-N adalah arsenik, bismuth, dan antimoni. Jumlah impuritas yang ditambahkan umumnya berkisar antara sepermiliard hingga seperjuta dari jumlah kristal semikonduktornya. Dengan mengendalikan jumlah impuritas dalam kristal, maka dapat dibuat semikonduktor sesuai dengan karakteristik pengoperasian yang dikehendaki. Atom dopant yang dapat digunakan untuk membentuk material jenis-N disebut pentavalent, yang memiliki 5 elektron valensi. Material dopant yang digunakan disebut impuritas donor karena elektron bebas dalam atom dopant dapat dengan mudah diterima oleh kristal semikonduktor. Bila material jenis-N dihubungkan kedalam rangkaian listrik, maka akan terjadi hubungan listrik dalam arti elektron

bebas akan berfungsi sebagai konduktor logam. Semakin banyak atom impuritas yang ditambahkan, semakin baik konduktivitasnya.



Gambar 4.16 Struktur Kristal Silicon

4.4.2.2 Semikonduktor Ekstrinsik tipe P

Semikonduktor tipe-p adalah semikonduktor murni yang diberikan doping (pengotoran) atom trivalent (atom yang memiliki elektron valensi 3), bersifat positif karena dikotori atom akseptor. Contoh atom yang memiliki elektron valensi 3 ialah Boron (B) dan Gallium (Ga). Atom pengotor disebut sebagai atom akseptor dan pembawa muatan disebut hole.

Material jenis-P dapat dihasilkan dengan menambahkan atom-atom elemen yang memiliki elektron dalam shell terluar lebih sedikit dibandingkan kristal natural semikonduktor. Sebagai contoh, suatu atom Galium (Ga) dengan tiga elektron valensi ditambahkan ke silikon murni. Dalam kondisi ini, ketiga elektron valensi galium akan berhubungan dengan elektron valensi atom silikon dengan ikatan kovalen. Tetapi ikatan ini belum lengkap; masih dibutuhkan satu elektron yang lain untuk melengkapi struktur ikatan kovalen. Dengan demikian akan terbentuk ruang atau lubang (hole) dalam shell valensi atom galium. Shell valensi ini akan dapat dengan mudah menerima elektron ke dalam lubang.

Shell valensi yang tidak lengkap tersebut akan bertindak sebagai ion positif walaupun atom-atom nya netral. Oleh karena itu material ini disebut material jenis-P. Elemen yang umum digunakan untuk membuat material jenis-P adalah galium, boron, dan indium. Dalam material jenis-P, lubang berfungsi sebagai pembawa. Bila suatu tegangan diberikan, lubang akan diisi oleh elektron bebas, sehingga elektron akan bergerak dari potensial negatif, ke potensial positif melalui kristal. Pergerakan elektron dari satu lubang ke lubang berikutnya menyebabkan timbulnya pergerakan lubang. Aliran lubang sama berlawanan arah dengan aliran elektron. Atom-atom dopant yang digunakan untuk membentuk kristal jenis-P disebut trivalent, karena memiliki 3 elektron valensi dan material dopant yang digunakan disebut impuritas penerima (acceptor).

Perlu dicatat bahwa formasi kristal jenis-N dan jenis-P, elektron dan protonnya selalu memiliki jumlah muatan sama dengan polaritas yang berlawanan. Kristal tidak pernah kelebihan atau kekurangan elektron sebagai proses penambahan dan tetap netral secara kelistrikan.

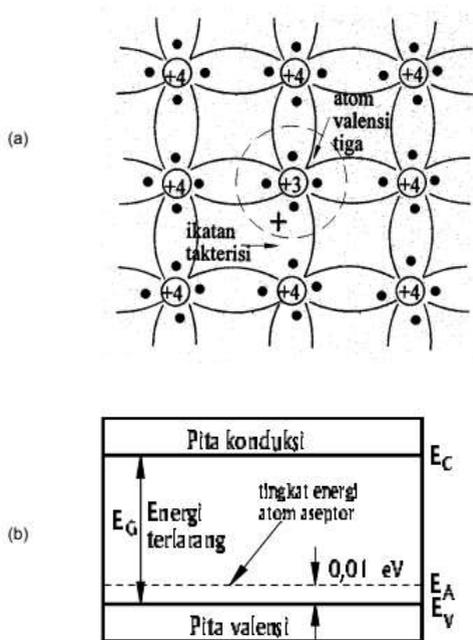
Perbedaan Antara Semikonduktor Intrinsik dengan Semikonduktor Ekstrinsik :

Intrinsik

- Dibuat tanpa menambahkan atom-atom impuritas;
- Jumlah elektron sama dengan jumlah lubang;
- Energi tambahan yang dibutuhkan untuk meningkatkan konduktivitasnya relatif besar.

Ekstrinsik

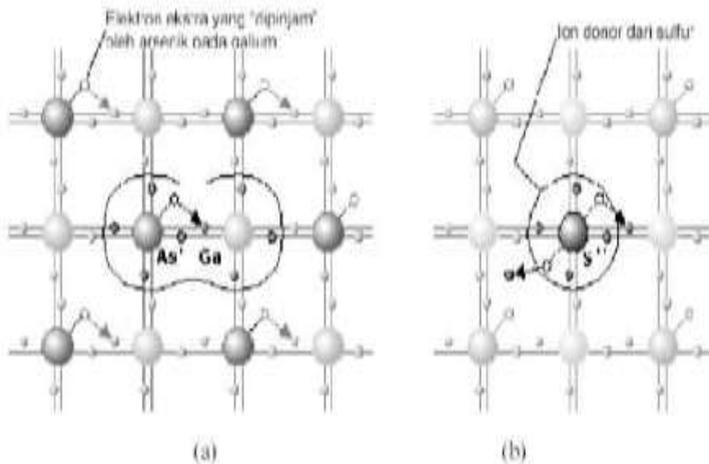
- Dibuat dengan menambahkan atom-atom impuritas;
- Jumlah elektron tidak sama dengan jumlah lubang;
- Energi tambahan yang dibutuhkan untuk meningkatkan konduktivitasnya relatif kecil.



Gambar 4.17 Struktur Kristal Silikon (2)

4.4.2.3 Semikonduktor Paduan

Semikonduktor Paduan Semikonduktor paduan (compound semi conductor) dapat diperoleh dari unsur valensi tiga dan valensi lima (paduan III-V, misalnya GaAs atau GaSb) atau dari unsur valensi dua dan valensi enam (paduan II-VI, misalnya ZnS). Ikatan kimia terbentuk dengan peminjaman elektron oleh unsur dengan valensi lebih tinggi kepada unsur dengan valensi lebih rendah (lihat gambar 4.17. Atom donor pada Semikonduktor paduan adalah unsur dengan valensi lebih tinggi dibandingkan dengan unsur yang diganti.



Gambar 4.18

- (a) Kristal semikonduktor paduan Ga As dalam dua dimensi.
 (b) Kristal semikonduktor paduan Ga As type-n dua dimensi.

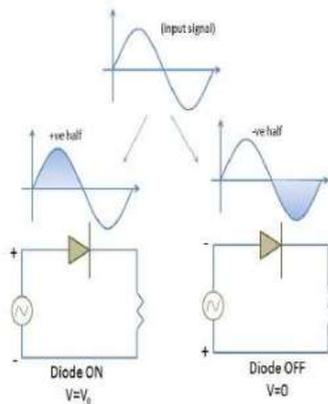
Atom akseptor adalah unsur dengan valensi lebih rendah dibandingkan dengan unsur yang diganti.

Proses Doping pada Semikonduktor Sebenarnya banyak bahan-bahan dasar yang dapat digolongkan sebagai bahan Semikonduktor, tetapi yang paling sering digunakan untuk bahan dasar komponen elektronika hanya beberapa jenis saja, bahan-bahan Semikonduktor tersebut diantaranya adalah Silicon, Selenium, Germanium dan Metal Oxides. Untuk memproses bahan-bahan Semikonduktor tersebut menjadi komponen elektronika, perlu dilakukan proses "Doping" yaitu proses untuk menambahkan ketidakmurnian (Impurity) pada Semikonduktor yang murni (semikonduktor Intrinsik)

sehingga dapat merubah sifat atau karakteristik kelistrikannya. Beberapa bahan yang digunakan untuk menambahkan ketidakmurnian semikonduktor antara lain adalah Arsenic, Indium dan Antimony. Bahan-bahan tersebut sering disebut dengan “Dopant”, sedangkan Semikonduktor yang telah melalui proses “Doping” disebut dengan Semikonduktor Ekstrinsik.

Penyearah Setengah Gelombang (Half-Wave Rectifier)

Pada prinsipnya penyearah setengah gelombang atau yang disebut juga dengan half-wave rectifier seperti terlihat pada gambar di bawah ini merupakan jenis penyearah (rectifier) yang paling sederhana[1].

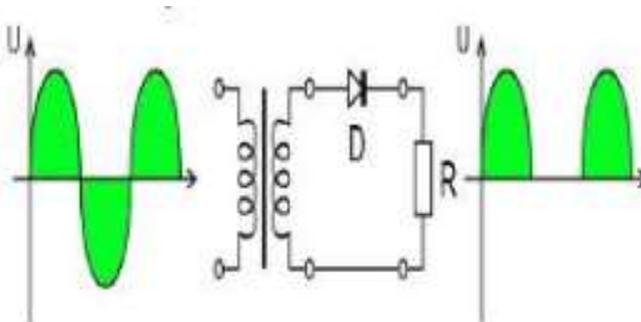


Gambar 4.19 Prinsip dari Sebuah Penyearah Setengah Gelombang (Half-wave rectifier)

Prinsip dari sebuah penyearah setengah gelombang (half-wave rectifier). Penyearah setengah gelombang (half-wave rectifier)

tersebut tersusun atas sebuah dioda seperti terlihat pada gambar 4.18.

Dioda yang telah dipasang tersebut akan membentuk sebuah rangkaian prategangan maju (forward bias) serta prategangan balik (reverse bias) bersama dengan tegangan masukan, yaitu tegangan ac (alternating current). Tegangan ac (alternating current) tersebut memiliki polaritas yang berbeda sebanyak 50 kali dalam satu detik atau secara sederhana tegangan ac (alternating current) memiliki frekuensi 50 Hz. Selama 1 detik tegangan ac (alternating current) akan berhubungan dengan dioda melalui polaritas yang berbeda, yaitu fase positif dan fase negatif. Tegangan ac (alternating current) dan dioda membentuk sebuah rangkaian prategangan maju (forward bias) sehingga dioda dapat menghantar arus listrik melintasinya hingga menuju beban.



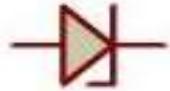
Gambar 4.20 Bentuk Gelombang Dari tegangan Keluaran Penyearah Setengah Gelombang (Half Wafe Rectifier).

Bentuk gelombang dari tegangan keluaran penyearah setengah gelombang (half-wave rectifier).

Tegangan ac (alternating current) tersebut juga akan memberikan polaritas positif kepada daerah N dioda dan memberikan polaritas negatif kepada daerah P dioda. Hubungan tersebut membentuk sebuah rangkaian prategangan balik (reverse bias) sehingga dioda tidak dapat menghantarkan arus listrik melintasinya dan menuju beban. Peristiwa yang telah diuraikan tersebut merupakan proses penyearahan (rectification) dari sebuah penyearah setengah gelombang (half-wave rectifier). Nama setengah gelombang digunakan pada penyearah tersebut karena bentuk gelombang dari tegangan yang dihasilkan oleh penyearah setengah gelombang (half-wave rectifier) adalah setengah gelombang dari gelombang tegangan ac (alternating current), yaitu setengah gelombang pada fase positif. Penyearah setengah gelombang tersebut akan menghasilkan tegangan dengan frekuensi yang sama dengan tegangan masukan.

Dioda Pembatas Tegangan (Zener Diode)

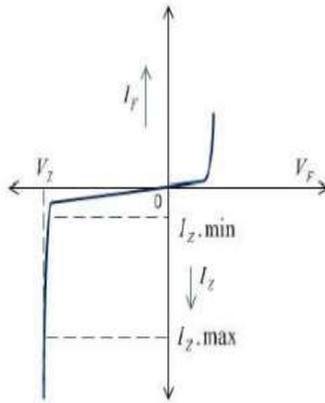
Pada prinsipnya dioda pembatas tegangan atau yang disebut juga dengan dioda Zener (Zener diode) seperti yang terlihat pada gambar 4.15. merupakan sebuah dioda persambungan P-N (p-n junction) prategangan balik (reverse bias) yang dioperasikan pada daerah kerusakan (breakdown). Pengoperasian dioda Zener yang terjadi pada daerah kerusakan (breakdown) tersebut disebabkan oleh rusaknya ikatan kovalen pada dioda Zener.



Gambar 4.21 Diode Zener

Kerusakan kovalen tersebut dapat terjadi karena kekuatan medan listrik yang dibangun di dalam daerah kekosongan (depletion region). Rusaknya ikatan kovalen pada dioda Zener tersebut menghasilkan sejumlah besar elektron - elektron dan lubang-lubang (holes) yang merupakan arus jenuh balik (reverse saturation current) dan dinyatakan sebagai arus Zener serta disimbolkan I_z . Arus Zener pada diode Zener tersebut nilainya dibatasi oleh tahanan luar dari rangkaian. Karakteristik dioda Zener seperti yang terlihat pada gambar dibawah terbagi menjadi 2 jenis, yaitu

- karakteristik maju (forward characteristic) dan
- karakteristik balik (reverse characteristic).



Gambar 4.22 Karakteristik maju (Forward Characteristic)

Karakteristik maju (forward characteristic) pada dioda Zener adalah sama dengan dengan karakteristik maju pada diode persambungan P-N (PN junction), namun pada karakteristik balik (reverse characteristic) terdapat beberapa parameter yang harus diketahui, yaitu:

1. V_Z = Tegangan kerusakan (breakdown) Zener.
2. $I_{Z.min}$ = Arus minimum untuk menahan daerah kerusakan (breakdown).
3. $I_{Z.max}$ = Arus maksimum yang dibatasi oleh pembuangan daya maksimum.

Pada umumnya dioda Zener tersedia denganberagam tegangan operasi, yaitudari 2,4 volt hingga 200 volt. Dioda Zener tersebut juga tersedia dengan kemampuan daya yang beragam, yaitu dari 150 mWatt hingga 50 Watt. Pada prinsipnya dioda Zener dapat bekerja dengan baik bila kondisi-kondisiberikut terpenuhi, yaitu:

1. Dioda Zener dalam kondisi prategangan balik (reverse-biased).
2. Tegangan sumber pada rangkaian harus lebih besar dari pada V_z .
3. Arus sumber pada rangkaian harus lebih kecil daripada I_z max.

Pada umumnya dioda Zener digunakan sebagai:

1. Pengatur tegangan (voltage regulators).
2. Tegangan referensi tetap (Fixed reference regulators).
3. Pemotong puncak (peak clippers)
4. Pelindung alat ukur terhadap kerusakan yang disebabkan oleh tegangan berlebihan pada rangkaian.

4.4.3 Aplikasi Semikonduktor

Peralatan Elektronika yang Menggunakan Semikonduktor sebagaimana dijelaskan di bawah ini :

1. Alat Konduksi dan Tahanan

Pengindraan cahaya (lightsensing), konduktivitas alat ini tergantung pada intensitas sinar datang, dapat berupa sinar ultraviolet atau inframerah, asalkan foton memiliki energi yang setara atau lebih besar daripada sela energi.



Gambar 4. 23 Pemanfaatan Semikonduktor

2. Termistor

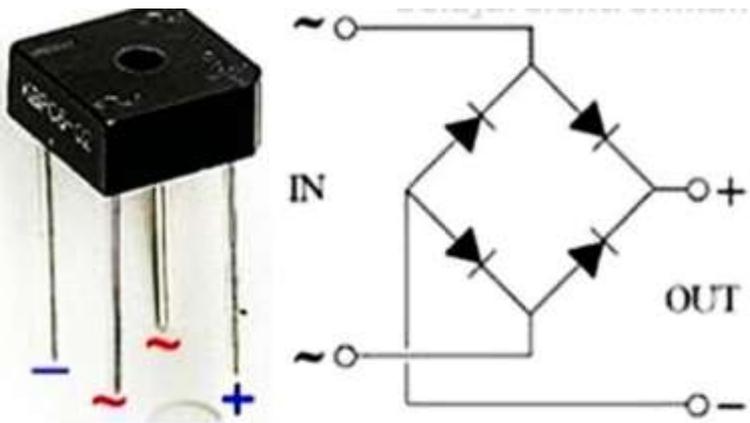
Merupakan suatu semikonduktor dengan tahanan yang telah dikalibrasi terhadap temperatur, sehingga dapat digunakan untuk mencatat temperatur sebesar 10^{-4}°C yang biasa digunakan untuk penelitian mikrokolorimetri meliputi reaksi kimia atau reaksi biologi.



Gambar 4.24 Termistor

3. Alat junction (diode)

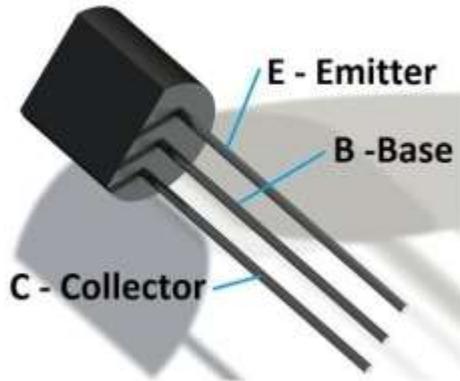
Diode, yaitu peralatan yang menggunakan sambungan antara semikonduktor jenis-N dan jenis-P. Diode pemancar cahaya (light emitting diode/LED), banyak digunakan pada display digital seperti kalkulator. Penyearah arus, yaitu untuk merubah arus bolak-balik menjadi arus searah (direct current)[11].



Gambar 4.25 Alat Junction (Diode)

4. Transistor

Digunakan untuk memperkuat sinyal yang lemah menjadi besaran yang lebih kuat dan dapat dimanfaatkan. Transistor efek medan (field-effect transistor/FET). Transistor junction jenis PNP dan NPN[15].



Gambar 4.25 Transistor

4.4.4 Tugas

1. Buatlah definisi Konduktor, isolator dan semikonduktor menurut tinjauan Pita Energi?
2. Buatlah suatu analisis terbentuknya semikonduktor yang memanfaatkan Germanium

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. M. Soleh *et al.*, "Elektronika Dasar," [Http://Elektronika-Dasar.Web.Id/Penguat-Tak-Membalik-Non-Inverting-Amplifier/](http://Elektronika-Dasar.Web.Id/Penguat-Tak-Membalik-Non-Inverting-Amplifier/), 2018.
- [2] PenJayadin, "Electronic book – Elektronika Dasar 1," *Elektron. Dasar*, 2007.
- [3] N. B. Santosa, "MENGENAL THERMO-ELECTRIC (PELTIER)," *29 January 2015*, 2015. .
- [4] M. Thackeray, "An unexpected conductor," *Nat. Mater.*, 2003.
- [5] S. Bartien, "Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2000," *DirJen Ketenagalistrikan*, 2000.
- [6] J. M. Kelly and S. M. Takhirov, "Analytical and Experimental Study of Fiber-Reinforced Elastomeric Isolators Fiber-Reinforced Elastomeric Isolators," *Rep. No. PEER 2001/11, Pacific Earthq. Eng. Res. Center, Univ. California, Berkeley*, 2001.
- [7] S. Purnama, P. Purwanto, and G. T. Sulungbudi, "Pengaruh Penambahan Konsentrasi Ag₂S Terhadap Komposit Konduktor (Ag₂S)_x(Na₃PO₄)_{1-x} (x = 0,1 - 0,5)," *J. Kim. dan Kemasan*, 2016.
- [8] V. A. Matsagar and R. S. Jangid, "Influence of isolator characteristics on the response of base-isolated structures," *Eng. Struct.*, 2004.
- [9] A. Syakur, M. E. D. Setiaji, and A. Aprianto, "Unjuk Kerja Isolator 20 kV Bahan Resin Epoksi Silane Silika Kondisi Basah dan Unjuk Kerja Isolator 20 kV Bahan Resin Epoksi Silane Silika Kondisi Basah dan Kering," *J. Tek. DIPONEGORO SEMARANG*, 2016.
- [10] M. Rudan, *Physics of Semiconductor Devices*. 2015.
- [11] J. Bardeen and W. H. Brattain, "The transistor, a semiconductor triode [14]," *Physical Review*. 1948.
- [12] S. Errahmah and H. Purwaningsih, "Pengaruh Penambahan

- SiO₂ (x=2 dan 2,5) pada Pembentukan Natrium Superionik Konduktor (Na_{1+x}Zr₂Si_xP₃-XO₁₂) Dan Sifat Konduktifitas Ionik Baterai Elektrolit Padat," *J. Tek. ITS*, 2016.
- [13] G. Prayitno and E. Roza, "Analisa Matematik Karakteristik Detector Semikonduktor Silicon Tipe P sebagai Bahan Detector Partikel Radiasi Bermuatan," *Pros. Semin. Nas. Teknoka*, 2018.
- [14] V. Mourik, K. Zuo, S. M. Frolov, S. R. Plissard, E. P. A. M. Bakkers, and L. P. Kouwenhoven, "Signatures of majorana fermions in hybrid superconductor-semiconductor nanowire devices," *Science (80-.)*, 2012.
- [15] B. J. Baliga, "Junction Field Effect Transistors," in *Gallium Nitride and Silicon Carbide Power Devices*, 2016.
- [16] R. Becker, "Germanium," *Methods Exp. Phys.*, 1993.
- [17] T. Inoguchi, "Semiconductor Physics and Semiconductor Devices," *J. Inst. Telev. Eng. Japan*, 2011.

OTO BIOGRAFI PENULIS



Jamaaluddin, lahir di Surabaya, 17 Oktober 1970, anak pertama dari lima bersaudara dari pasangan Drs. H. Isra' Kusnoto, Msi dan Hj. Indah Rahayu. Penulis tercatat sebagai dosen tetap di Universitas Muhammadiyah Sidoarjo pada tahun 2013, pada Program Studi Teknik Elektro. Latar belakang Pendidikan pendidikan penulis dimulai pada jenjang Sekolah Dasar Pada SDN. Gading 1, Surabaya; Sekolah Menengah Pertama Negeri 9, Surabaya; Sekolah Menengah Pertama Negeri-1, Surabaya; dilanjutkan dengan pendidikan pada jenjang Strata-1 pada Universitas Brawijaya malang Jurusan Teknik Elektro dengan konsentrasi pada Sistem Tenaga Listrik lulus tahun 1992; Jenjang pendidikan Master dilakukannya pada Universitas Muhammadiyah Yogyakarta Jurusan Magister Manajemen dengan konsentrasi Manajemen Sumber Daya Manusia lulus pada tahun 2013; Mulai tahun 2015 penulis menempuh Studi Doktorat (S-3) pada Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya dengan konsentrasi pada Sistem Tenaga Listrik dengan rencana disertasi Tentang “Prediksi Beban Sistem Kelistrikan Jawa Bali”. Dalam karirnya sebagai Dosen di UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SIDOARJO (UMSIDA) yang dilakukannya semenjak tahun 2013, penulis juga aktif dalam melakukan penelitian, utamanya berkaitan dengan kegiatan yang berkaitan dengan Sumber Daya Manusia, Bidang Konversi Energi Listrik pada bidang Energi Baru

Terbarukan, dan pada Sistem Tenaga Listrik. Beberapa hasil penelitiannya sudah dipublikasikan baik secara Nasional maupun Internasional, seperti pada event IEEE Regional Asean, dan GCEAS di Hokkaido-Jappan. Semua penelitian yang dilakukan mendapatkan hibah baik dari KEMENRISTEK DIKTI maupun dari internal UMSIDA. Disamping aktif sebagai dosen tetap, penulis juga mempunyai beberapa usaha di bidang Kontraktor Elektrikal Mekanikal yang telah ditekuninya sejak tahun 2000, dan di bidang Umrah dan Haji Plus sejak tahun 2010. Beberapa buku sudah dibuat oleh penulis sejak usia muda antara lain : Pembuatan naskah skenario Drama Televisi pada tahun 1986 yang berjudul **“Sang Darim”**; Pembuatan buku yang berjudul **“Perjalanan sebuah batu”** pada tahun 1995; Buku **“Bimbingan Manasik haji dan Umrah”** pada tahun 2003; Buku **“Tuntunan Doa Umrah dan Haji”** pada tahun 2003; Buku **“Aduhai Haji”** pada tahun 2005; Buku **“Pegangan Training Of Tour Leader Umrah dan Haji”** pada tahun 2013; Buku **“Pentanahan Sistem Tenaga Listrik”** pada tahun 2016; dan buku ini yang berjudul **“Ayo Menjadi Pewirausaha”** yang berisikan tips menjadi pengusaha tahun 2018. **“Buku Ajar Bahan – Bahan Listrik- Struktur Atom pembentuk bahan”** pada tahun 2017, Saat ini sebagai bentuk Catur Darma Perguruan Tinggi Muhammadiyah penulis juga menjadi Praktisi HYPNOTERAPHIST untuk membantu siapapun yang mengalami gangguan psikis, dan menjadi MOTIVATOR Kewirausahaan pada beberapa perusahaan, sekolah maupun perbankan.

ISBN 978-602-5914-67-4



9 786025 914874