

Elektronika

Teori dan Penerapan

Herman Dwi Surjono, Ph.D.

Elektronika :

Teori dan Penerapan

Herman Dwi Surjono, Ph.D.

Elektronika : Teori dan Penerapan

Disusun Oleh: **Herman Dwi Surjono, Ph.D.**

© 2007 All Rights Reserved

Hak cipta dilindungi undang-undang

Penyunting : **Tim Cerdas Ulet Kreatif**

Perancang Sampul : **Dhega Febiharsa**

Tata Letak : **Dhega Febiharsa**

Diterbitkan Oleh:

Penerbit Cerdas Ulet Kreatif

Jl. Manggis 72 RT 03 RW 04 Jember Lor – Patrang

Jember - Jawa Timur 68118

Telp. 0331-422327 Faks. 0331422327

Katalog Dalam Terbitan (KDT)

Herman Dwi Surjono, **Elektronika : Teori dan Penerapan** /Herman Dwi Surjono, Penyunting: Tim Cerdas Ulet Kreatif, 2007, 168 hlm; 14,8 x 21 cm.

ISBN 978-602-98174-7-8

1. Hukum Administrasi	I. Judul
II. Tim Cerdas Ulet Kreatif	168

Distributor:

Penerbit CERDAS ULET KREATIF

Website : www.cerdas.co.id - email : buku@cerdas.co.id

Cetakan Kedua, 2011

Undang-Undang RI Nomor 19 Tahun 2002 Tentang Hak Cipta

Ketentuan Pidana

Pasal 72 (ayat 2)

1. Barang Siapa dengan sengaja menyiarkan, memamerkan, mengedarkan, atau menjual kepada umum suatu ciptaan atau barang hasil pelanggaran Hak Cipta atau hak terkait sebagaimana dimaksud pada ayat (1), dipidana dengan pidana penjara paling lama 5 (lima) tahun dan/atau denda paling banyak Rp. 500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).

Kata Pengantar

Buku ini diperuntukkan bagi siapa saja yang ingin mengetahui elektronika baik secara teori, konsep dan penerapannya. Pembahasan dilakukan secara komprehensif dan mendalam mulai dari pemahaman konsep dasar hingga ke taraf kemampuan untuk menganalisis dan mendesain rangkaian elektronika. Penggunaan matematika tingkat tinggi diusahakan seminimal mungkin, sehingga buku ini bias digunakan oleh berbagai kalangan. Pembaca dapat beraktivitas dengan mudah karena didukung banyak contoh soal dalam hamper setiap pokok bahasan serta latihan soal pada setiap akhir bab. Beberapa rangkaian penguat sedapat mungkin diambilkan dari pengalaman praktikum.

Sebagai pengetahuan awal, pemakai buku ini harus memahami teori dasar rangkaian DC dan matematika dasar. Teori Thevenin, Norton, dan Superposisi juga digunakan dalam beberapa pokok bahasan. Di samping itu penguasaan penerapan hukum Ohm dan Kirchhoff merupakan syarat mutlak terutama pada bagian analisis dan perancangan.

Bab 1 membahas teori semikonduktor yang merupakan dasar dari pembahasan berbagai topic berikutnya, bahan tipe P dan N, karakteristik diode semikonduktor dan model dioda.

Bab 2 membahas beberapa penerapan diode semikonduktor dalam rangkaian elektronika diantaranya yang paling penting adalah rangkaian penyearah.

Bab 3 membahas transistor bipolar. Prinsip kerja dan karakteristik input dan output transistor, tiga macam konfigurasi transistor serta pengaruhnya terhadap temperatur.

Bab 4 membahas berbagai metode pemberian bias, garis beban AC dan DC, analisis serta perencanaan titik kerja. Selanjutnya pada bab 5 membahas analisis serta perancangan penguat transistor.

Semoga buku ini bermanfaat bagi siapa saja. Saran-saran dari pembaca sangat diharapkan.

Yogyakarta, Desember 2007

Penulis,

Herman Dwi Surjono, Ph.D.

Dosen Jurusan Pendidikan Teknik Elektronika, FT- UNY

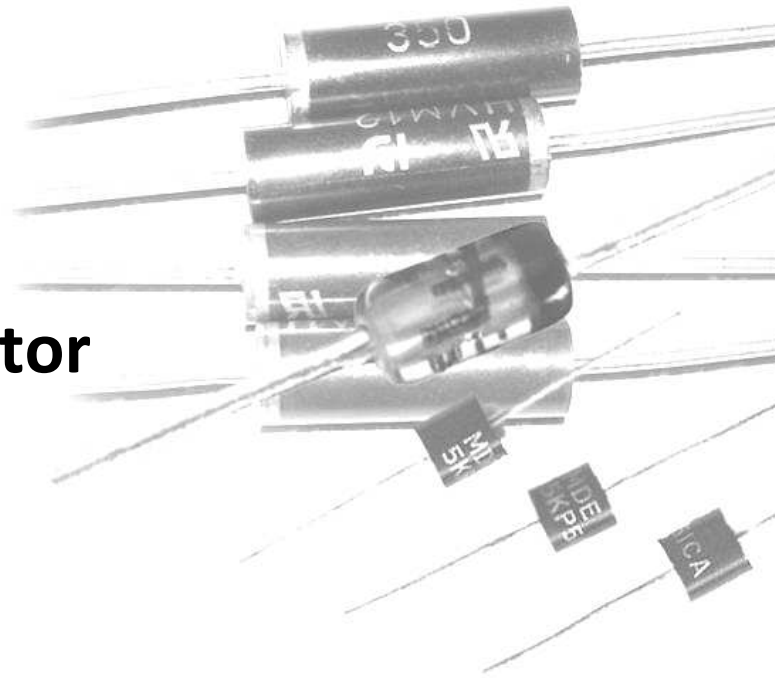
Daftar Isi

KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
1. DIODA SEMIKONDUKTOR	1
1.1. Pendahuluan	1
1.2. Teori Semikonduktor	1
1.3. Semikonduktor Type N	7
1.4. Semikonduktor Type P	9
1.5. Dioda Semikonduktor	12
1.6. Bias Mundur (<i>Reverse Bias</i>)	13
1.7. Bias Maju (<i>Forward Bias</i>)	14
1.8. Kurva Karakteristik Dioda	15
1.9. Resistansi Dioda	19
1.10. Rangkaian Ekuivalen Dioda	22
1.11. Ringkasan	24
1.12. Soal Latihan	25
2. RANGKAIAN DIODA	27
2.1. Pendahuluan	27
2.2. Penyearah Setengah Gelombang	27
2.3. Penyearah Gelombang Penuh	32
2.4. Penyearah Gelombang Penuh Sistem Jembatan	34
2.5. Rangkaian <i>Clipper</i> (Pemotong)	36
2.6. Rangkaian <i>Clamper</i> (Penggeser)	39
2.7. Dioda Zener	41
2.8. Perencanaan Penyetabil Tegangan	46
2.9. Rangkaian Pelipat Tegangan	48
2.10. Ringkasan	51
2.11. Soal Latihan	52
3. TRANSISTOR BIPOLAR	55
3.1. Pendahuluan	55
3.2. Konstruksi Transistor Bipolar	55
3.3. Kerja Transistor	56
3.4. Konfigurasi Transistor	60
3.5. Kurva Karakteristik Transistor	64
3.6. Pengaruh Temperatur	69
3.7. Ringkasan	72
3.8. Soal Latihan	73
4. BIAS DC TRANSISTOR BIPOLAR	75
4.1. Pendahuluan	75
4.2. Pengertian Titik Kerja	75
4.3. Rangkaian Bias Tetap	77

4.4. Bias Umpan Balik Tegangan	86
4.5. Bias Pembagi Tegangan	89
4.6. Garis Beban DC dan AC	96
4.7. Analisa dan Desain	101
4.8. Ringkasan	109
4.9. Soal Latihan	110
5. PENGUAT TRANSISTOR BIPOLAR	115
5.1. Pendahuluan	115
5.2. Parameter Penguat	115
5.3. Model Hibrid	117
5.4. Parameter H	122
5.5. Analisa Penguat CE	128
5.6. Penguat CE dengan Resistor RE	134
5.7. Rangkaian Pengikut Emitor	140
5.8. Penguat Basis Bersama (CB)	146
5.9. Perencanaan Penguat Transistor	149
5.10. Ringkasan	153
5.11. Soal Latihan	154
LAMPIRAN A	159
LAMPIRAN B	160
INDEKS	161

Bab 1

Dioda Semikonduktor



1.1 Pendahuluan

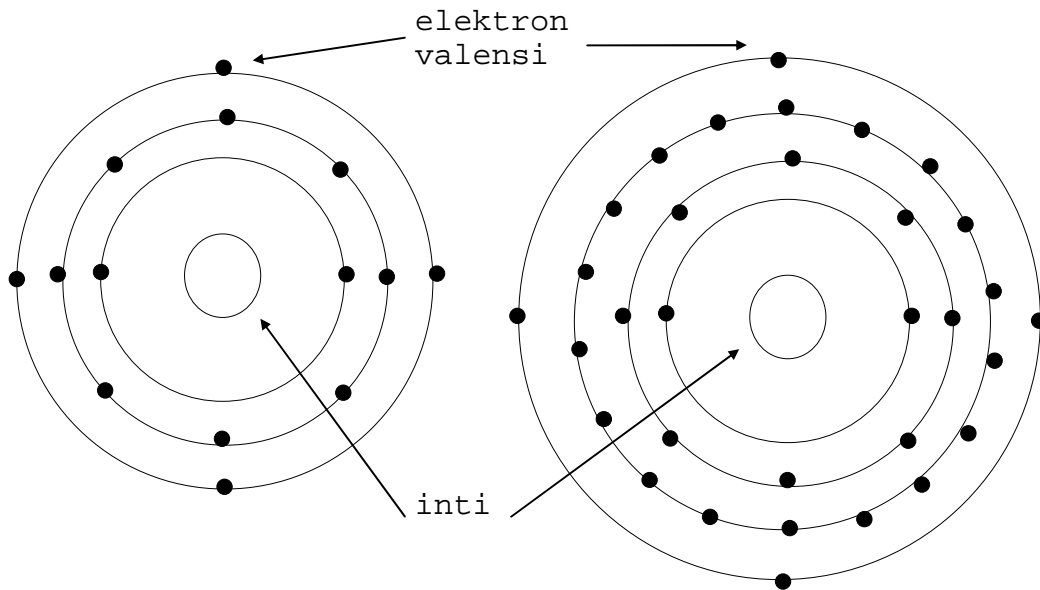
Dioda merupakan komponen elektronika non-linier yang sederhana. Struktur dasar dioda berupa bahan semikonduktor type P yang disambung dengan bahan type N. Pada ujung bahan type P dijadikan terminal Anoda (A) dan ujung lainnya katoda (K), sehingga dua terminal inilah yang menyiratkan nama dioda. Operasi dioda ditentukan oleh polaritas relatif kaki Anoda terhadap kaki Katoda.

Pada bab ini akan dibahas prinsip kerja dan karakteristik dioda. Karakteristik dioda terdiri atas kurva maju dan kurva mundur. Pada bias maju arus mengalir dengan besar sedangkan pada bias mundur yang mengalir hanya arus bocor kecil.

1.2 Teori Semikonduktor

Operasi semua komponen benda padat seperti dioda, LED, Transistor Bipolar dan FET serta Op-Amp atau rangkaian terpadu lainnya (solid state) didasarkan atas sifat-sifat semikonduktor. Secara umum semikonduktor adalah bahan yang sifat-sifat kelistrikannya terletak antara sifat-sifat konduktor dan isolator. Sifat-sifat kelistrikan konduktor maupun isolator tidak mudah berubah oleh pengaruh temperatur, cahaya atau medan magnet, tetapi pada semikonduktor sifat-sifat tersebut sangat sensitif.

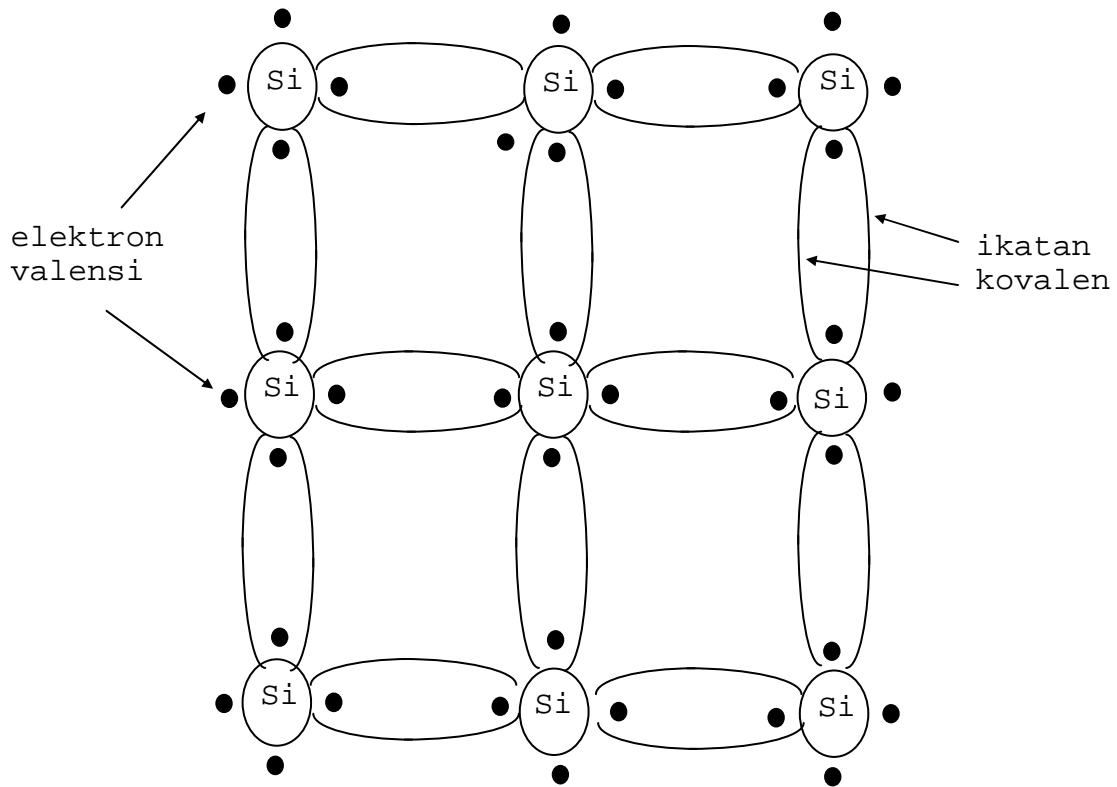
Elemen terkecil dari suatu bahan yang masih memiliki sifat-sifat kimia dan fisika yang sama adalah atom. Suatu atom terdiri atas tiga partikel dasar, yaitu: neutron, proton, dan elektron. Dalam struktur atom, proton dan neutron membentuk inti atom yang bermuatan positif dan sedangkan elektron-elektron yang bermuatan negatif mengelilingi inti. Elektron-elektron ini tersusun berlapis-lapis. Struktur atom dengan model Bohr dari bahan semikonduktor yang paling banyak digunakan, silikon dan germanium, terlihat pada gambar 1.1.



Gambar 1.1 Struktur Atom (a) silikon; (b) germanium

Seperti ditunjukkan pada gambar 1.1 atom silikon mempunyai elektron yang mengorbit (yang mengelilingi inti) sebanyak 14 dan atom germanium mempunyai 32 elektron. Pada atom yang seimbang (netral) jumlah elektron dalam orbit sama dengan jumlah proton dalam inti. Muatan listrik sebuah elektron adalah: $- 1.602^{-19}$ C dan muatan sebuah proton adalah: $+ 1.602^{-19}$ C.

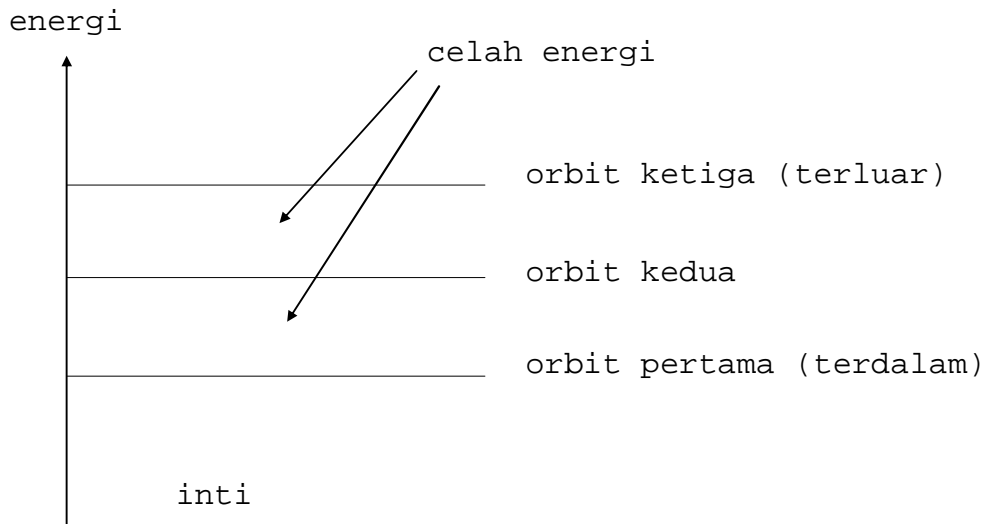
Elektron yang menempati lapisan terluar disebut sebagai elektron valensi. Atom silikon dan germanium masing-masing mempunyai empat elektron valensi. Oleh karena itu baik atom silikon maupun atom germanium disebut juga dengan atom tetra-valent (bervalensi empat). Empat elektron valensi tersebut terikat dalam struktur kisi-kisi, sehingga setiap elektron valensi akan membentuk ikatan kovalen dengan elektron valensi dari atom-atom yang bersebelahan. Struktur kisi-kisi kristal silikon murni dapat digambarkan secara dua dimensi guna memudahkan pembahasan. Lihat gambar 1.2.



Gambar 1.2 Struktur kristal silikon dengan ikatan kovalen

Meskipun terikat dengan kuat dalam struktur kristal, namun bisa saja elektron valensi tersebut keluar dari ikatan kovalen menuju daerah konduksi apabila diberikan energi panas. Bila energi panas tersebut cukup kuat untuk memisahkan elektron dari ikatan kovalen maka elektron tersebut menjadi bebas atau disebut dengan elektron bebas. Pada suhu ruang terdapat kurang lebih 1.5×10^{10} elektron bebas dalam 1 cm^3 bahan silikon murni (intrinsik) dan 2.5×10^{13} elektron bebas pada germanium. Semakin besar energi panas yang diberikan semakin banyak jumlah elektron bebas yang keluar dari ikatan kovalen, dengan kata lain konduktivitas bahan meningkat.

Setiap elektron yang menempati suatu orbit tertentu dalam struktur atom tunggal (atau terisolasi) akan mempunyai level energi tertentu. Semakin jauh posisi orbit suatu elektron, maka semakin besar level energinya. Oleh karena itu elektron yang menduduki posisi orbit terluar dalam suatu struktur atom atau yang disebut dengan elektron valensi, akan mempunyai level energi terbesar. Sebaliknya elektron yang paling dekat dengan inti mempunyai level energi terkecil. Level energi dari atom tunggal dapat dilihat pada gambar 1.3.



Gambar 1.3 Level energi

Di antara level energi individual yang dimiliki elektron pada orbit tertentu terdapat celah energi yang mana tidak dimungkinkan adanya elektron mengorbit. Oleh karena itu celah ini disebut juga dengan daerah terlarang. Suatu elektron tidak dapat mengorbit pada daerah terlarang, tetapi bisa melewatinya dengan cepat. Misalnya bila suatu elektron pada orbit tertentu mendapatkan energi tambahan dari luar (seperti energi panas), sehingga level energi elektron tersebut bertambah besar, maka elektron akan meloncat ke orbit berikutnya yang lebih luar yakni dengan cepat melewati daerah terlarang. Hal ini berlaku juga sebaliknya, yaitu apabila suatu elektron dipaksa kembali ke orbit yang lebih dalam, maka elektron akan mengeluarkan energi. Dengan kata lain, elektron yang berpindah ke orbit lebih luar akan membutuhkan energi, sedangkan bila berpindah ke orbit lebih dalam akan mengeluarkan energi.

Besarnya energi dari suatu elektron dinyatakan dengan satuan elektron volt (eV). Hal ini disebabkan karena definisi energi merupakan persamaan:

$$W = Q \cdot V \quad \dots\dots\dots (1.1)$$

- dimana: W = energi [Joule (J)]
- Q = muatan (Coulomb)
- V = potensial listrik [Volt (V)]

Dengan potensial listrik sebesar 1 V dan muatan elektron sebesar 1.602^{-19} C, maka energi dari sebuah elektron dapat dicari:

$$W = (1.602^{-19} \text{ C}) (1 \text{ V}) = 1.602^{-19} \text{ J}$$

Hasil tersebut menunjukkan bahwa untuk memindahkan sebuah elektron melalui beda potensial sebesar 1 V diperlukan energi sebesar 1.602^{-19} J. Atau dengan kata lain:

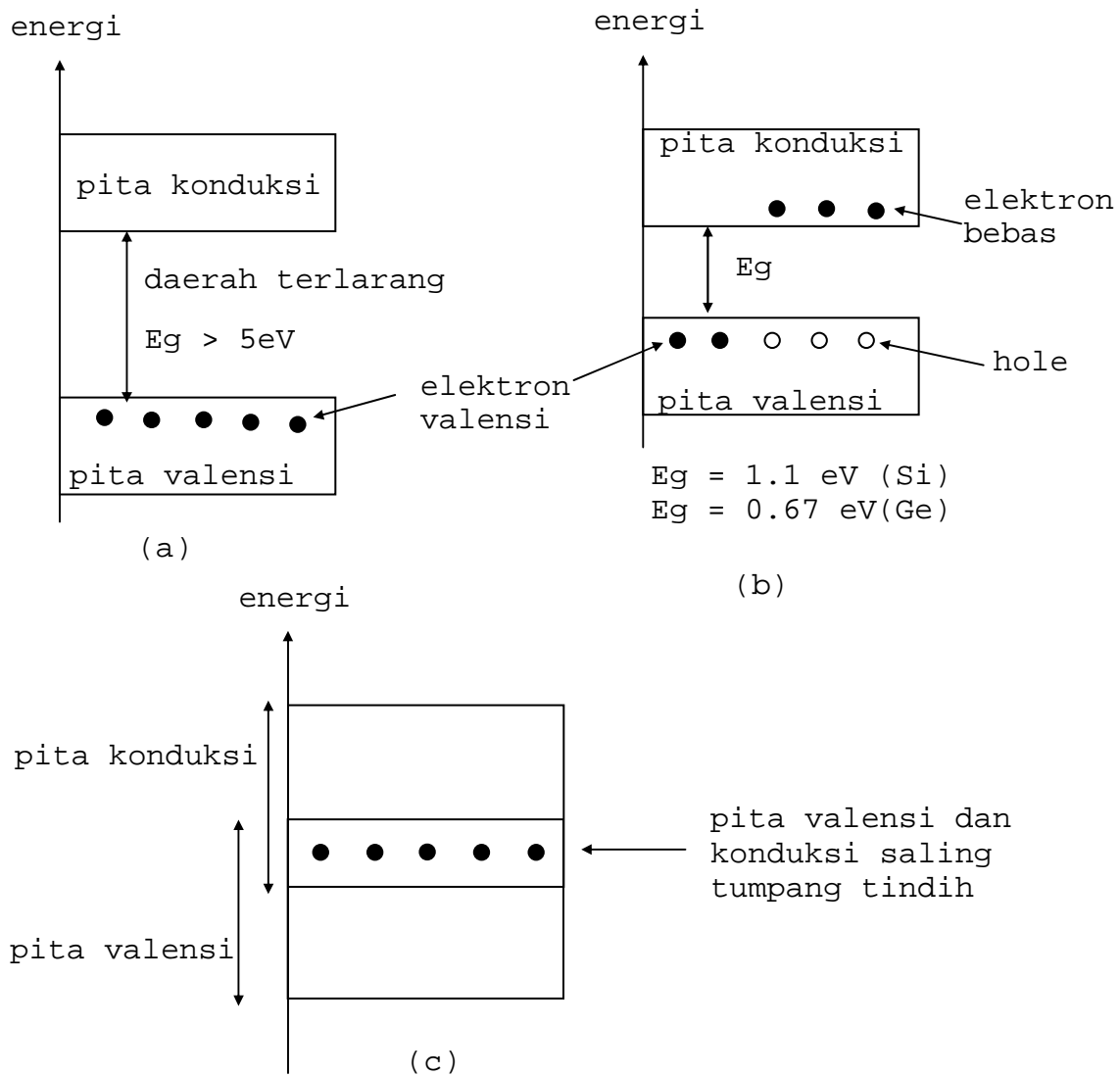
$$1 \text{ eV} = 1.602^{-19} \text{ J}$$

Bila atom-atom tunggal dalam suatu bahan saling berdekatan (dalam kenyatannya memang mesti demikian) sehingga membentuk suatu kisi-kisi kristal, maka atom-atom akan berinteraksi dengan mempunyai ikatan kovalen. Karena setiap elektron valensi level energinya tidak tepat sama, maka level energi jutaan elektron valensi dari suatu bahan akan membentuk range energi atau yang disebut dengan pita energi valensi atau pita valensi. Gambar 1.4 menunjukkan diagram pita energi dari bahan isolator, semikonduktor dan konduktor.

Suatu energi bila diberikan kepada elektron valensi, maka elektron tersebut akan meloncat keluar. Oleh karena elektron valensi terletak pada orbit terluar dari struktur atom, maka elektron tersebut akan meloncat ke daerah pita konduksi. Pita konduksi merupakan level energi dimana elektron terlepas dari ikatan inti atom atau menjadi elektron bebas. Jarak energi antara pita valensi dan pita konduksi disebut dengan pita celah atau daerah terlarang.

Seberapa besar perbedaan energi, E_g , (jarak energi) antara pita valensi dan pita konduksi pada suatu bahan akan menentukan apakah bahan tersebut termasuk isolator, semikonduktor atau konduktor. E_g adalah energi yang diperlukan oleh elektron valensi untuk berpindah dari pita valensi ke pita konduksi. E_g dinyatakan dalam satuan eV (elektron volt). Semakin besar E_g , semakin besar energi yang dibutuhkan elektron valensi untuk berpindah ke pita konduksi.

Pada bahan-bahan isolator jarak antara pita valensi dan pita konduksi (daerah terlarang) sangat jauh. Pada suhu ruang hanya ada sedikit sekali (atau tidak ada) elektron valensi yang sampai keluar ke pita konduksi. Sehingga pada bahan-bahan ini tidak dimungkinkan terjadinya aliran arus listrik. Diperlukan E_g paling tidak 5 eV untuk mengeluarkan elektron valensi ke pita konduksi.



Gambar 1.4 Diagram pita energi (a) isolator;(b) semikonduktor dan (c) konduktor

Pada bahan semikonduktor lebar daerah terlarang relatif kecil. Pada suhu mutlak 0° Kelvin, tidak ada elektron valensi yang keluar ke pita konduksi, sehingga pada suhu ini bahan semikonduktor merupakan isolator yang baik. Namun pada suhu ruang, energi panas mampu memindahkan sebagian elektron valensi ke pita konduksi (menjadi elektron bebas). Pada bahan silikon dan germanium masing-masing E_g -nya adalah 1.1 eV dan 0.67 eV.

Tempat yang ditinggalkan elektron valensi ini disebut dengan hole. Pada gambar 1.4 dilukiskan dengan lingkaran kosong. Meskipun hole ini secara fisik adalah kosong, namun secara listrik bermuatan positif, karena ditinggalkan oleh elektron yang bermuatan negatif. Level energi suatu hole adalah terletak pada pita valensi, yaitu tempat asalnya elektron valensi. Apabila ada elektron valensi berpindah dan menempati suatu hole dari atom sebelumnya,

maka hole menjadi tersisi dan tempat dari elektron yang berpindah tersebut menjadi kosong atau hole. Dengan demikian arah gerakan hole (seolah-olah) berlawanan dengan arah gerakan elektron.

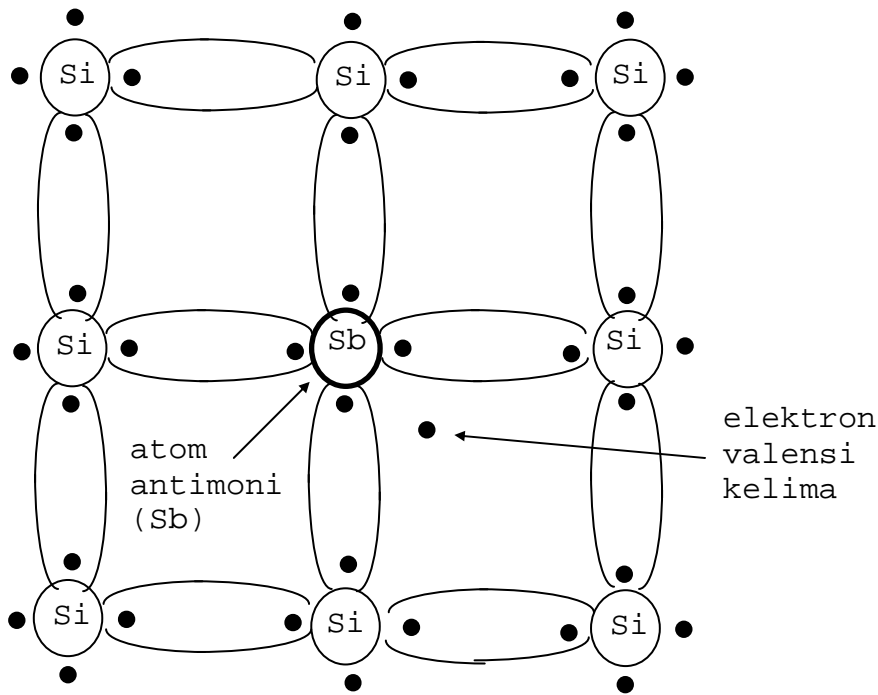
Sedangkan pada bahan konduktor pita valensi dan pita konduksi saling tumpang tindih. Elektron-elektron valensi sekaligus menempati pada pita konduksi. Oleh karena itu pada bahan konduktor meskipun pada suhu 0° K, cukup banyak elektron valensi yang berada di pita konduksi (elektron bebas).

1.3 Semikonduktor type n

Apabila bahan semikonduktor intrinsik (murni) diberi (didoping) dengan bahan bervalensi lain maka diperoleh semikonduktor ekstrinsik. Pada bahan semikonduktor intrinsik, jumlah elektron bebas dan holenya adalah sama. Konduktivitas semikonduktor intrinsik sangat rendah, karena terbatasnya jumlah pembawa muatan yakni hole maupun elektron bebas tersebut.

Jika bahan silikon didoping dengan bahan ketidak murnian (impuritas) bervalensi lima (penta-valens), maka diperoleh semikonduktor tipe n. Bahan dopan yang bervalensi lima ini misalnya antimoni, arsenik, dan pospor. Struktur kisi-kisi kristal bahan silikon type n dapat dilihat pada gambar 1.5.

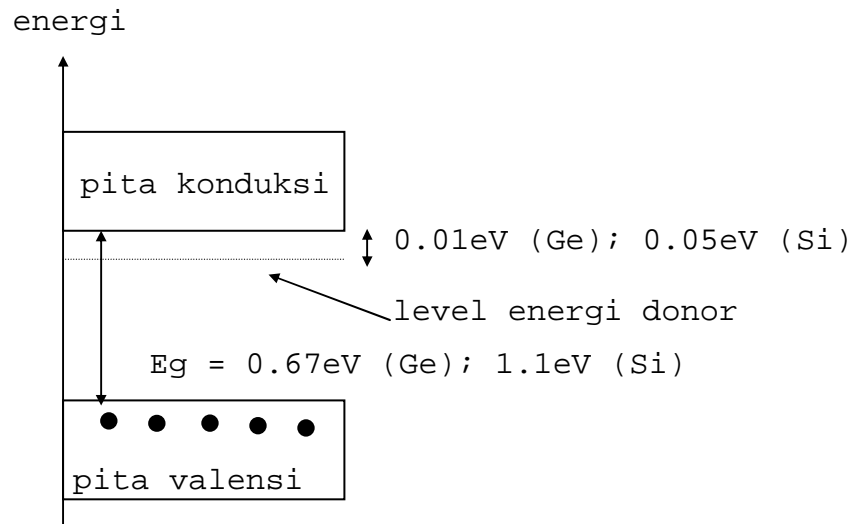
Karena atom antimoni (Sb) bervalensi lima, maka empat elektron valensi mendapatkan pasangan ikatan kovalen dengan atom silikon sedangkan elektron valensi yang kelima tidak mendapatkan pasangan. Oleh karena itu ikatan elektron kelima ini dengan inti menjadi lemah dan mudah menjadi elektron bebas. Karena setiap atom dopan ini menyumbang sebuah elektron, maka atom yang bervalensi lima disebut dengan atom donor. Dan elektron “bebas” sumbangan dari atom dopan inipun dapat dikontrol jumlahnya atau konsentrasinya.



Gambar 1.5 Struktur kristal semikonduktor (silikon) tipe n

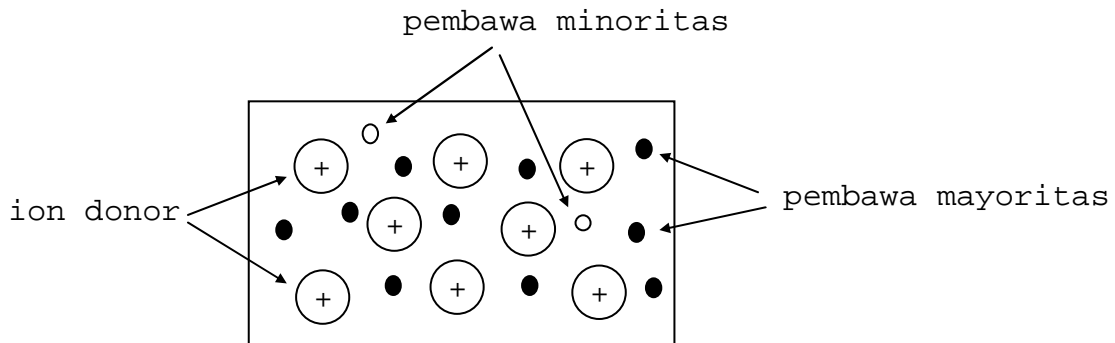
Meskipun bahan silikon type n ini mengandung elektron bebas (pembawa mayoritas) cukup banyak, namun secara keseluruhan kristal ini tetap netral karena jumlah muatan positif pada inti atom masih sama dengan jumlah keseluruhan elektronnya. Pada bahan type n disamping jumlah elektron bebasnya (pembawa mayoritas) meningkat, ternyata jumlah holenya (pembawa minoritas) menurun. Hal ini disebabkan karena dengan bertambahnya jumlah elektron bebas, maka kecepatan hole dan elektron ber-rekombinasi (bergabungnya kembali elektron dengan hole) semakin meningkat. Sehingga jumlah holenya menurun.

Level energi dari elektron bebas sumbangan atom donor dapat digambarkan seperti pada gambar 1.6. Jarak antara pita konduksi dengan level energi donor sangat kecil yaitu 0.05 eV untuk silikon dan 0.01 eV untuk germanium. Oleh karena itu pada suhu ruang saja, maka semua elektron donor sudah bisa mencapai pita konduksi dan menjadi elektron bebas.



Gambar 1.6 Diagram pita energi semikonduktor type n

Bahan semikonduktor type n dapat dilukiskan seperti pada gambar 1.7. Karena atom-atom donor telah ditinggalkan oleh elektron valensinya (yakni menjadi elektron bebas), maka menjadi ion yang bermuatan positif. Sehingga digambarkan dengan tanda positif. Sedangkan elektron bebasnya menjadi pembawa mayoritas. Dan pembawa minoritasnya berupa hole.



Gambar 1.7 Bahan semikonduktor type n

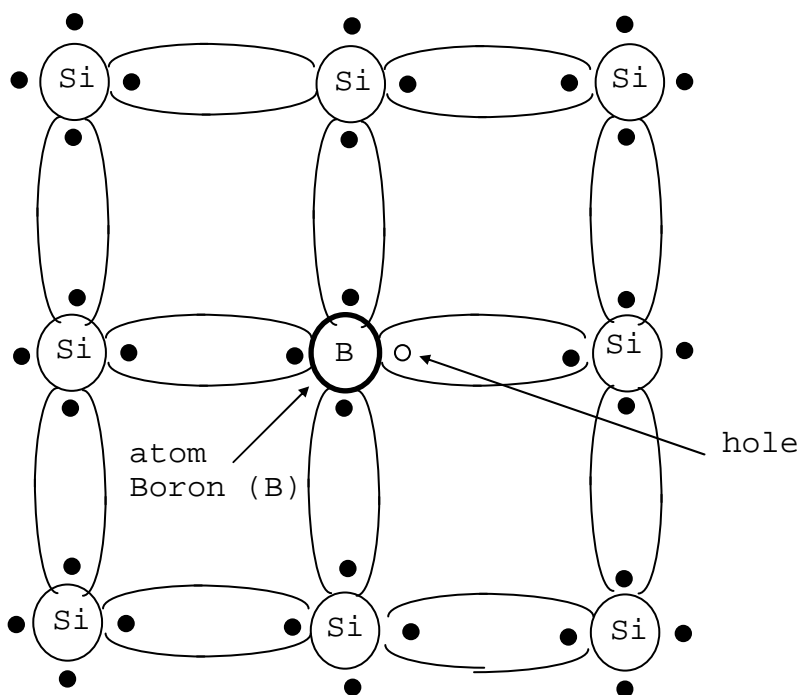
1.4 Semikonduktor type P

Apabila bahan semikonduktor murni (intrinsik) didoping dengan bahan impuritas (ke-tidak-murnian) bervalensi tiga, maka akan diperoleh semikonduktor type p. Bahan dopan yang bervalensi tiga tersebut misalnya boron, galium, dan indium. Struktur kisi-kisi kristal semikonduktor (silikon) type p adalah seperti gambar 1.8.

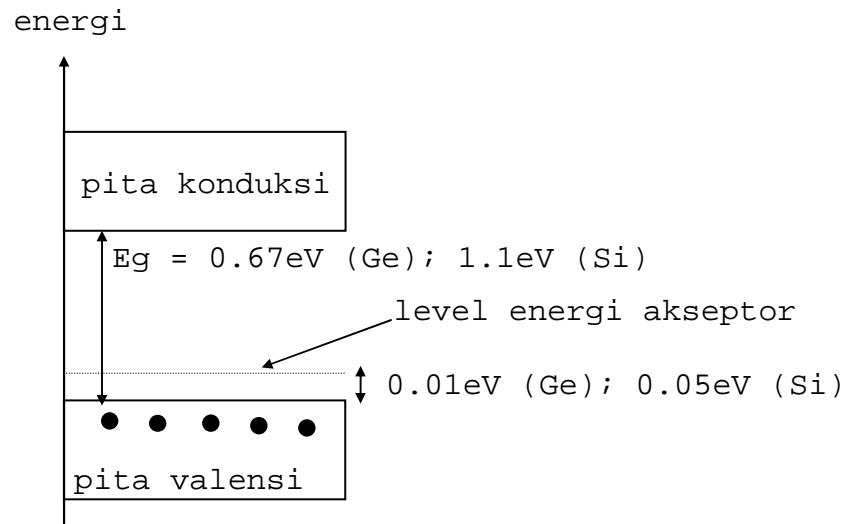
Karena atom dopan mempunyai tiga elektron valensi, dalam gambar 1.8 adalah atom Boron (B), maka hanya tiga ikatan kovalen yang bisa dipenuhi. Sedangkan tempat yang se-

harusnya membentuk ikatan kovalen keempat menjadi kosong (membentuk hole) dan bisa ditempati oleh elektron valensi lain. Dengan demikian sebuah atom bervalensi tiga akan menyumbangkan sebuah hole. Atom bervalensi tiga (trivalent) disebut juga atom akseptor, karena atom ini siap untuk menerima elektron.

Seperti halnya pada semikonduktor type n, secara keseluruhan kristal semikonduktor type p ini adalah netral. Karena jumlah hole dan elektronnya sama. Pada bahan type p, hole merupakan pembawa muatan mayoritas. Karena dengan penambahan atom dopan akan meningkatkan jumlah hole sebagai pembawa muatan. Sedangkan pembawa minoritasnya adalah elektron.



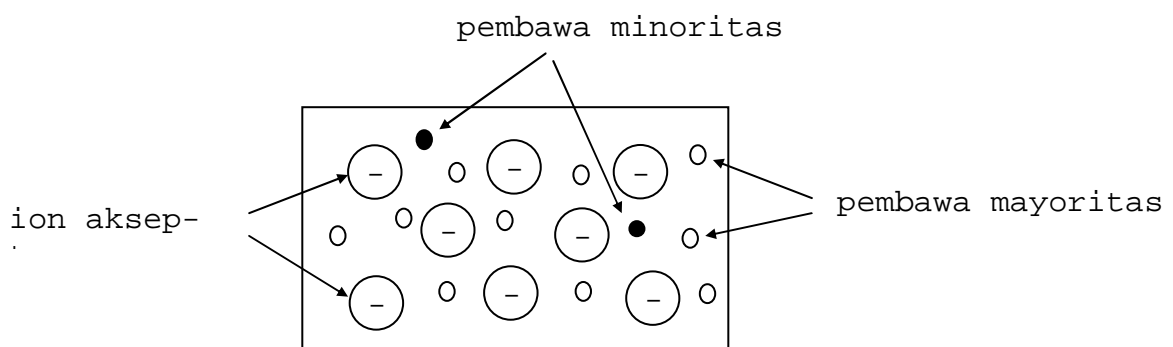
Gambar 1.8 Struktur kristal semikonduktor (silikon) type p



Gambar 1.9 Diagram pita energi semikonduktor type p

Level energi dari hole akseptor dapat dilihat pada gambar 1.9. Jarak antara level energi akseptor dengan pita valensi sangat kecil yaitu sekitar 0.01 eV untuk germanium dan 0.05 eV untuk silikon. Dengan demikian hanya dibutuhkan energi yang sangat kecil bagi elektron valensi untuk menempati hole di level energi akseptor. Oleh karena itu pada suhu ruang banyak sekali jumlah hole di pita valensi yang merupakan pembawa muatan.

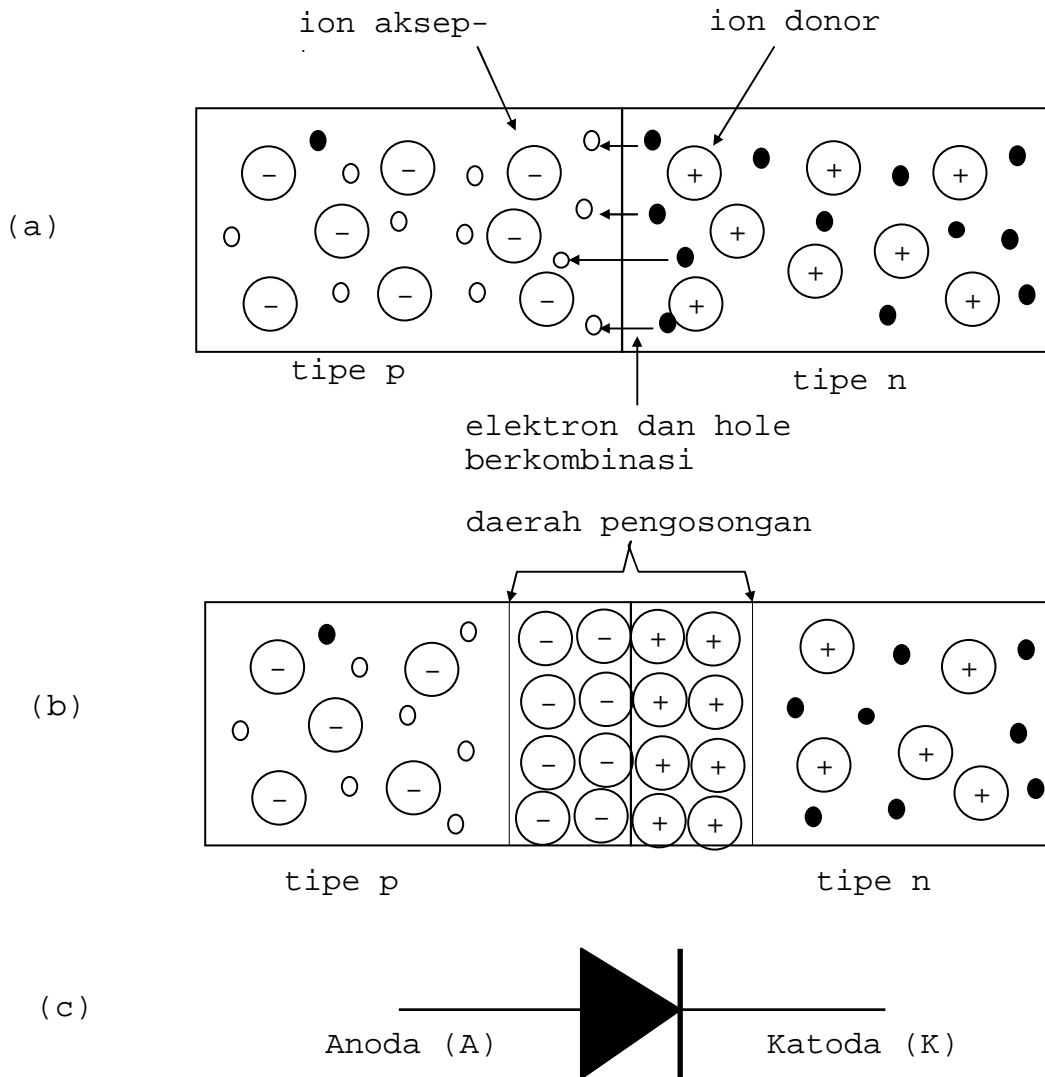
Bahan semikonduktor type p dapat dilukiskan seperti pada gambar 1.10. Karena atom-atom akseptor telah menerima elektron, maka menjadi ion yang bermuatan negatif. Sehingga digambarkan dengan tanda negatif. Pembawa mayoritas berupa hole dan pembawa minoritasnya berupa elektron.



Gambar 1.10 Bahan semikonduktor type p

1.5 Dioda Semikonduktor

Dioda semikonduktor dibentuk dengan cara menyambungkan semikonduktor type p dan type n. Pada saat terjadinya sambungan (junction) p dan n, hole-hole pada bahan p dan elektron-elektron pada bahan n disekitar sambungan cenderung untuk berkombinasi. Hole dan elektron yang berkombinasi ini saling meniadakan, sehingga pada daerah sekitar sambungan ini kosong dari pembawa muatan dan terbentuk daerah pengosongan (depletion region).



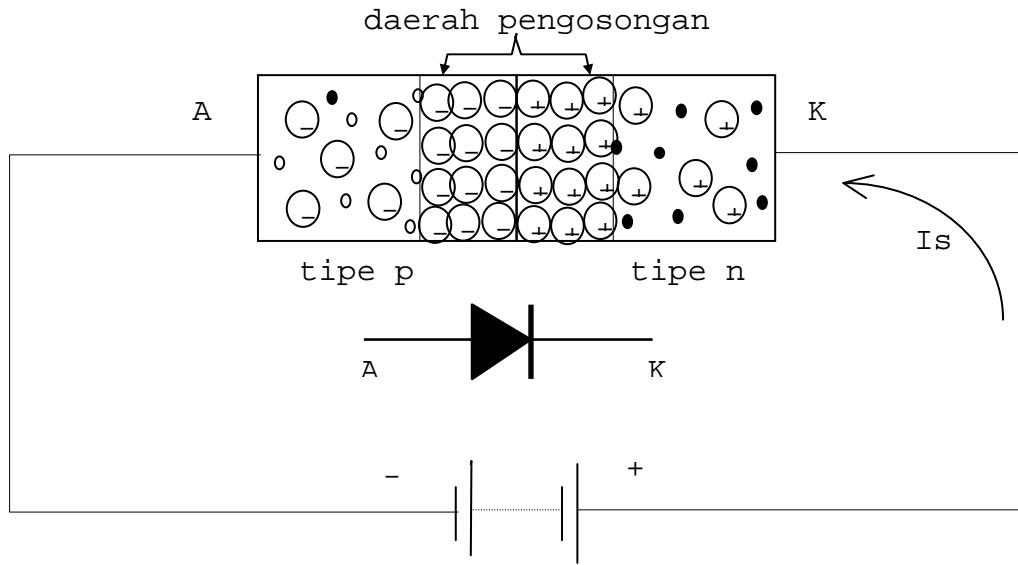
Gambar 1.11 Struktur Dioda Semikonduktor (a) pembentukan sambungan; (b) daerah pengosongan; (c) simbol dioda

Oleh karena itu pada sisi p tinggal ion-ion akseptor yang bermuatan negatif dan pada sisi n tinggal ion-ion donor yang bermuatan positif. Namun proses ini tidak berlangsung terus, karena potensial dari ion-ion positif dan negatif ini akan menghalanginya. Tegangan atau potensial ekivalen pada daerah pengosongan ini disebut dengan tegangan penghalang

(barrier potential). Besarnya tegangan penghalang ini adalah 0.2 untuk germanium dan 0.6 untuk silikon. Lihat gambar 1.11.

1.6 Bias Mundur (Reverse Bias)

Bias mundur adalah pemberian tegangan negatif baterai ke terminal anoda (A) dan tegangan positif ke terminal katoda (K) dari suatu dioda. Dengan kata lain, tegangan anoda katoda V_{A-K} adalah negatif ($V_{A-K} < 0$). Gambar 1.12 menunjukkan dioda diberi bias mundur.



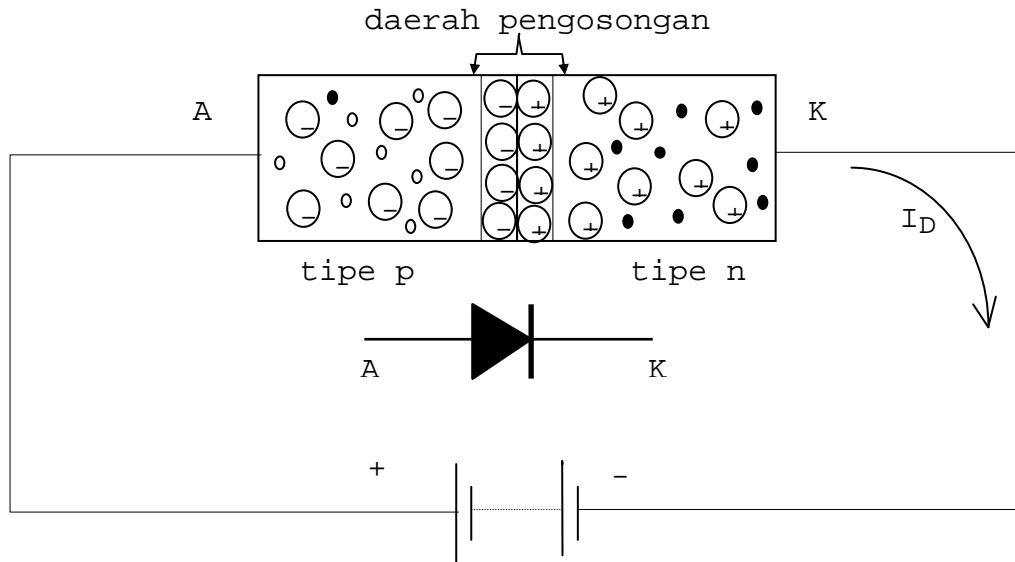
Gambar 1.12 Dioda diberi bias mundur

Karena pada ujung anoda (A) yang berupa bahan tipe p diberi tegangan negatif, maka hole-hole (pembawa mayoritas) akan tertarik ke kutub negatif baterai menjauhi persambungan. Demikian juga karena pada ujung katoda (K) yang berupa bahan tipe n diberi tegangan positif, maka elektron-elektron (pembawa mayoritas) akan tertarik ke kutub positif baterai menjauhi persambungan. Sehingga daerah pengosongan semakin lebar, dan arus yang disebabkan oleh pembawa mayoritas tidak ada yang mengalir.

Sedangkan pembawa minoritas yang berupa elektron (pada bahan tipe p) dan hole (pada bahan tipe n) akan berkombinasi sehingga mengalir arus jenuh mundur (reverse saturation current) atau I_s . Arus ini dikatakan jenuh karena dengan cepat mencapai harga maksimum tanpa dipengaruhi besarnya tegangan baterai. Besarnya arus ini dipengaruhi oleh temperatur. Makin tinggi temperatur, makin besar harga I_s . Pada suhu ruang, besarnya I_s ini dalam skala mikro-ampere untuk dioda germanium, dan dalam skala nano-ampere untuk dioda silikon.

1.7 Bias Maju (Forward Bias)

Apabila tegangan positif baterai dihubungkan ke terminal Anoda (A) dan negatifnya ke terminal katoda (K), maka dioda disebut mendapatkan bias maju (forward bias). Dengan demikian V_{A-K} adalah positif atau $V_{A-K} > 0$. Gambar 1.13 menunjukkan dioda diberi bias maju.



Gambar 1.13 Dioda diberi bias maju

Dengan pemberian polaritas tegangan seperti pada gambar 1.13, yakni V_{A-K} positif, maka pembawa mayoritas dari bahan tipe p (hole) akan tertarik oleh kutub negatif baterai melewati persambungan dan berkombinasi dengan elektron (pembawa mayoritas bahan tipe n). Demikian juga elektronnya akan tertarik oleh kutub positif baterai untuk melewati persambungan. Oleh karena itu daerah pengosongan terlihat semakin menyempit pada saat dioda diberi bias maju. Dan arus dioda yang disebabkan oleh pembawa mayoritas akan mengalir, yaitu I_D .

Sedangkan pembawa minoritas dari bahan tipe p (elektron) dan dari bahan tipe n (hole) akan berkombinasi dan menghasilkan I_s . Arah I_s dan I_D adalah berlawanan. Namun karena I_s jauh lebih kecil dari pada I_D , maka secara praktis besarnya arus yang mengalir pada dioda ditentukan oleh I_D .

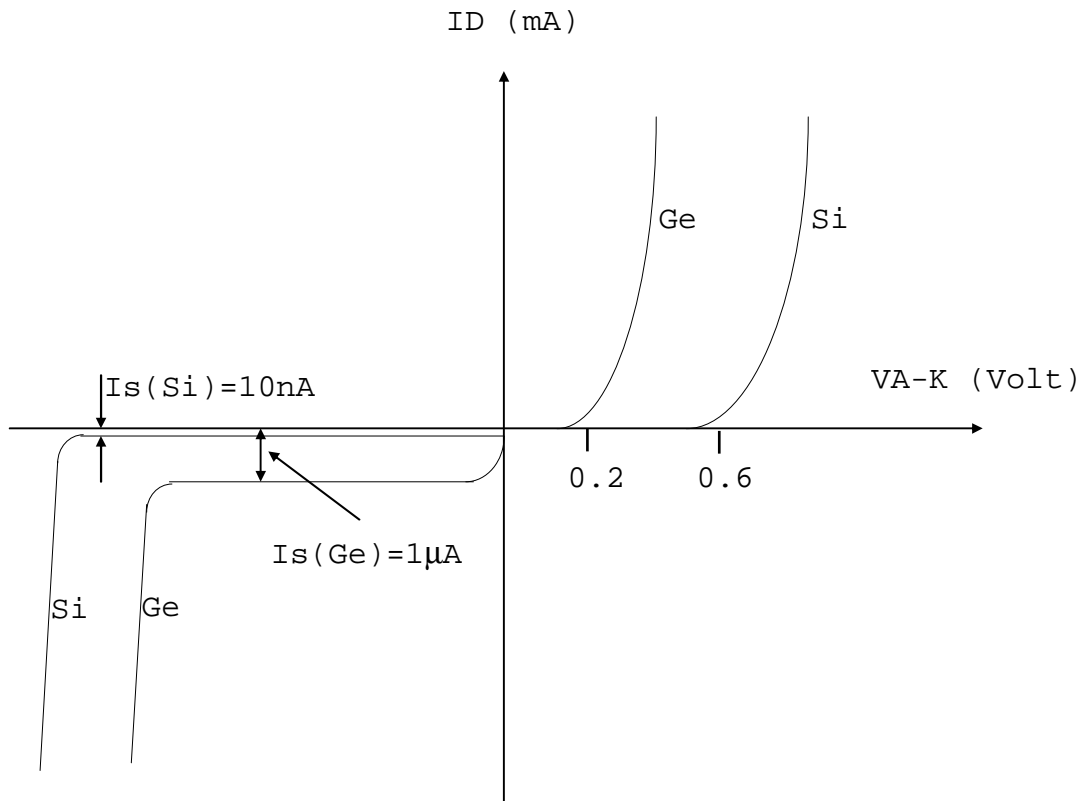
1.8 Kurva Karakteristik Dioda

Hubungan antara besarnya arus yang mengalir melalui dioda dengan tegangan VA-K dapat dilihat pada kurva karakteristik dioda (gambar 1.14).

Gambar 1.14 menunjukkan dua macam kurva, yakni dioda germanium (Ge) dan dioda silikon (Si). Pada saat dioda diberi bias maju, yakni bila VA-K positif, maka arus ID akan naik dengan cepat setelah VA-K mencapai tegangan cut-in (V_{γ}). Tegangan cut-in (V_{γ}) ini kira-kira sebesar 0.2 Volt untuk dioda germanium dan 0.6 Volt untuk dioda silikon. Dengan pemberian tegangan baterai sebesar ini, maka potensial penghalang (barrier potential) pada persambungan akan teratasi, sehingga arus dioda mulai mengalir dengan cepat.

Bagian kiri bawah dari grafik pada gambar 1.14 merupakan kurva karakteristik dioda saat mendapatkan bias mundur. Disini juga terdapat dua kurva, yaitu untuk dioda germanium dan silikon. Besarnya arus jenuh mundur (reverse saturation current) I_s untuk dioda germanium adalah dalam orde mikro amper dalam contoh ini adalah 1 μ A. Sedangkan untuk dioda silikon I_s adalah dalam orde nano amper dalam hal ini adalah 10 nA.

Apabila tegangan VA-K yang berpolaritas negatif tersebut dinaikkan terus, maka suatu saat akan mencapai tegangan patah (break-down) dimana arus I_s akan naik dengan tiba-tiba. Pada saat mencapai tegangan break-down ini, pembawa minoritas dipercepat hingga mencapai kecepatan yang cukup tinggi untuk mengeluarkan elektron valensi dari atom. Kemudian elektron ini juga dipercepat untuk membebaskan yang lainnya sehingga arusnya semakin besar. Pada dioda biasa pencapaian tegangan break-down ini selalu dihindari karena dioda bisa rusak.



Gambar 1.14 Kurva karakteristik dioda

Hubungan arus dioda (I_D) dengan tegangan dioda (V_D) dapat dinyatakan dalam persamaan matematis yang dikembangkan oleh W. Shockley, yaitu:

$$I_D = I_s [e^{(V_D/n \cdot V_T)} - 1]$$

.....(1.2)

dimana:

I_D = arus dioda (amper)

I_s = arus jenuh mundur (amper)

e = bilangan natural, 2.71828...

V_D = beda tegangan pada dioda (volt)

n = konstanta, 1 untuk Ge; dan ≈ 2 untuk Si

V_T = tegangan ekivalen temperatur (volt)

Harga I_s suatu dioda dipengaruhi oleh temperatur, tingkat doping dan geometri dioda. Dan konstanta n tergantung pada sifat konstruksi dan parameter fisik dioda. Sedangkan harga V_T ditentukan dengan persamaan:

$$V_T = \frac{kT}{q} \dots\dots\dots (1.3)$$

dimana :

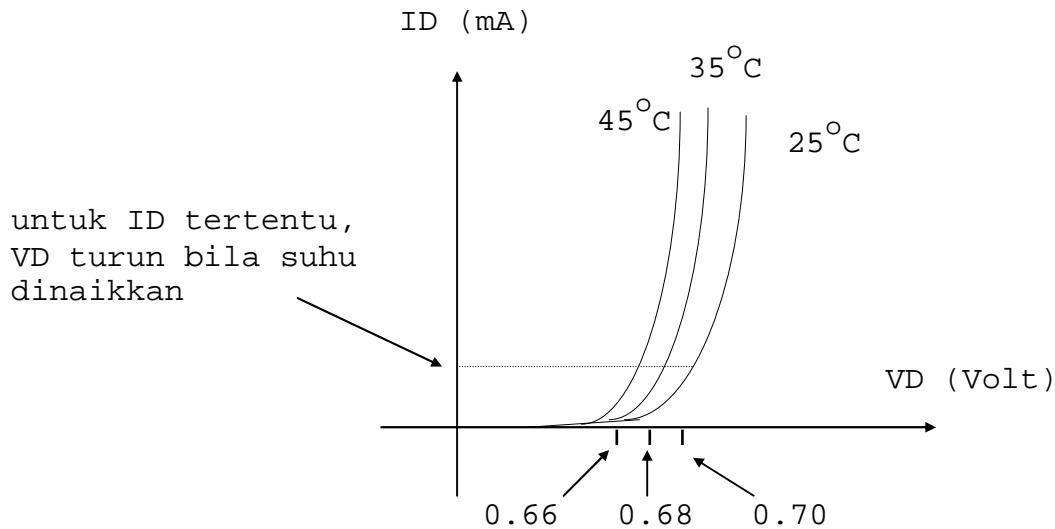
- k = konstanta Boltzmann, 1.381×10^{-23} J/K
(J/K artinya joule per derajat kelvin)
- T = temperatur mutlak (kelvin)
- q = muatan sebuah elektron, 1.602×10^{-19} C

Pada temperatur ruang, 25°C atau $273 + 25 = 298$ K, dapat dihitung besarnya V_T yaitu:

$$\begin{aligned} V_T &= \frac{(1.381 \times 10^{-23} \text{ J/K})(298\text{K})}{1.602 \times 10^{-19} \text{ C}} \\ &= 0.02569 \text{ J/C} \\ &\cong 26 \text{ mV} \end{aligned}$$

Harga V_T adalah 26 mV ini perlu diingat untuk pembicaraan selanjutnya.

Sebagaimana telah disebutkan bahwa arus jenuh mundur, I_s , dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti: doping, persambungan, dan temperatur. Namun karena dalam pemakaian suatu komponen dioda, faktor doping dan persambungan adalah tetap, maka yang perlu mendapat perhatian serius adalah pengaruh temperatur. Gambar 1.15 menunjukkan kurva bias maju untuk beberapa macam temperatur.



Gambar 1.15 Pengaruh temperatur pada kurva bias maju

Apabila temperatur dioda dinaikkan, maka tegangan cut-in ($V\gamma$) turun. Sebaliknya bila temperatur turun, maka $V\gamma$ naik. Dengan asumsi bahwa I_D tetap, hubungan antara temperatur dengan tegangan cut-in ($V\gamma$) dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$V\gamma(T_1) - V\gamma(T_0) = k(T_1 - T_0) \dots\dots\dots (1-4)$$

dimana:

T_0 = temperatur ruang, atau 25°C

T_1 = temperatur dioda yang baru ($^\circ\text{C}$)

$V\gamma(T_1)$ = tegangan cut-in pada temperatur ruang (volt)

$V\gamma(T_0)$ = tegangan cut-in yang baru (volt)

k = koefisien temperatur dalam $\text{V}/^\circ\text{C}$

Harga k umumnya oleh para ahli dianggap tetap, yaitu:

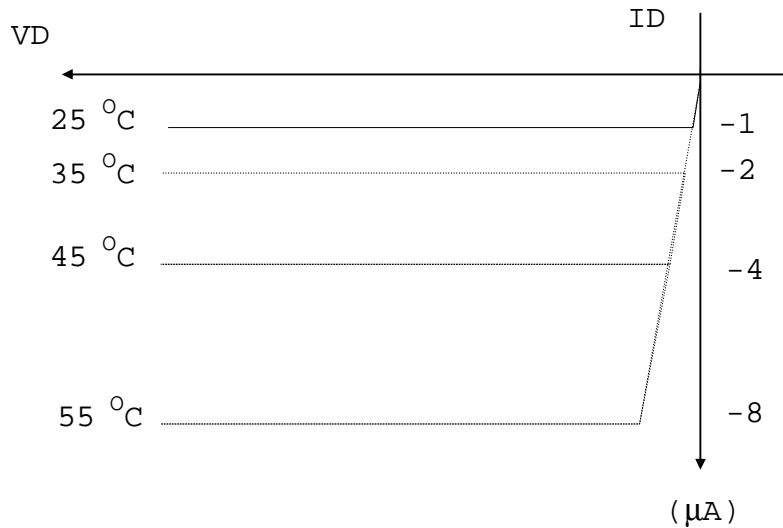
$k = -2.5 \text{ mV}/^\circ\text{C}$ untuk dioda germanium

$k = -2.0 \text{ mV}/^\circ\text{C}$ untuk dioda silicon

Selain mempengaruhi tegangan cut-in ($V\gamma$), temperatur dioda juga mempengaruhi arus jenuh mundur, I_s . Arus I_s kira-kira naik dua kali lipat apabila temperatur dioda naik 10°C . Gambar 1.16 menunjukkan perubahan kurva bias mundur untuk beberapa macam temperatur.

Secara matematis pengaruh temperatur terhadap arus I_S dapat dinyatakan:

$$I_S(T_2) = I_S(T_1) \cdot 2^{(T_2 - T_1)/10} \dots\dots\dots (1.5)$$



Gambar 1.16 Pengaruh temperatur terhadap kurva bias mundur

1.9 Resistansi Dioda

Karena kurva karakteristik dioda tidak linier, maka resistansi dioda berbeda-beda antara satu titik operasi ke titik operasi lainnya. Pemberian tegangan dc kepada suatu rangkaian yang ada dioda semikonduktornya akan menentukan titik kerja dioda tersebut pada kurva karakteristik. Apabila tegangan dc yang diberikan tidak berubah maka titik kerja dioda juga tidak berubah. Perbandingan antara tegangan pada titik kerja dengan arus yang mengalir pada dioda disebut dengan **Resistansi DC** atau **Resistansi Statis**.

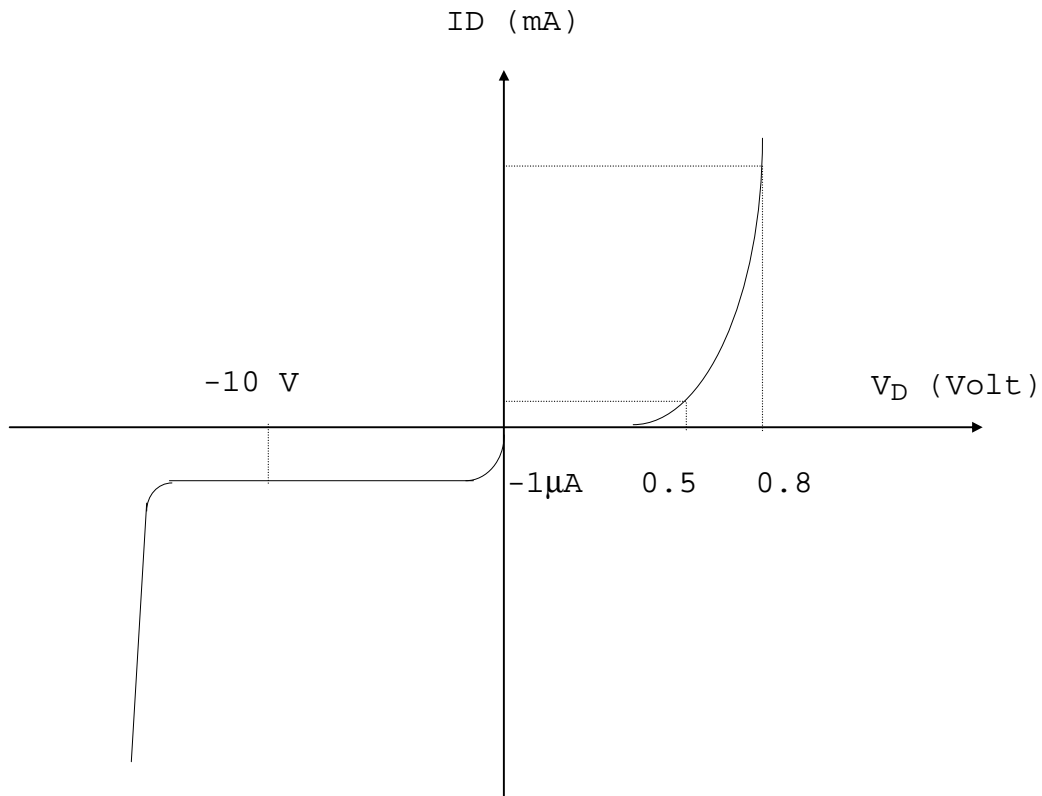
$$R_D = \frac{V_D}{I_D} \dots\dots\dots (1.6)$$

Resistansi dc pada daerah bias maju akan lebih kecil dibanding dengan resistansi pada daerah bias mundur. Untuk lebih jelasnya dapat diperhatikan contoh 1.1 di bawah ini.

Contoh 1.1:

Tentukan resistansi dc dioda dengan kurva karakteristik seperti gambar 1.17 pada:

- (a) $I_D = 2 \text{ mA}$
- (b) $I_D = 20 \text{ mA}$
- (a) $V_D = -10 \text{ V}$



Gambar 1.17 Contoh 1.1

Penyelesaian:

(a) Pada $I_D = 2 \text{ mA}$, $V_D = 0.5 \text{ V}$ (dari kurva), maka

$$R_D = \frac{V_D}{I_D} = \frac{0.5V}{2mA} = 250 \Omega$$

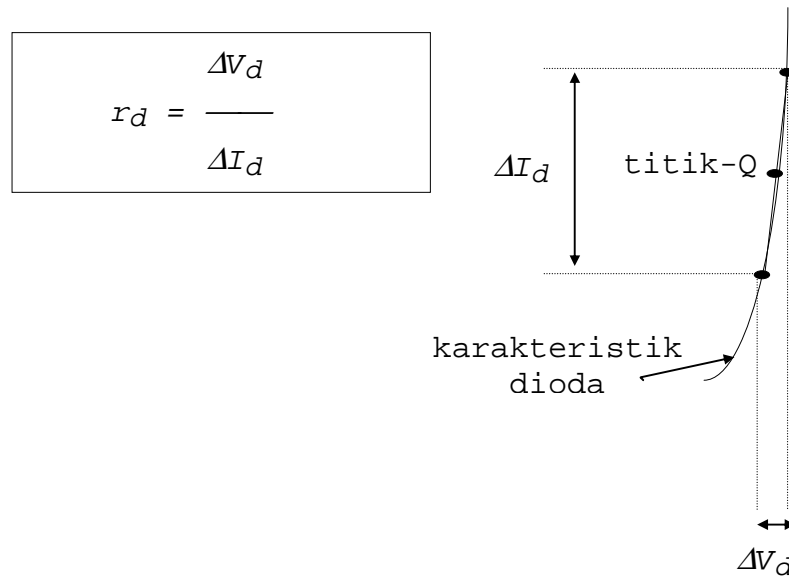
(b) Pada $I_D = 20 \text{ mA}$, $V_D = 0.8 \text{ V}$ (dari kurva), maka

$$R_D = \frac{V_D}{I_D} = \frac{0.8V}{20mA} = 40 \Omega$$

(a) Pada $V_D = -10 \text{ V}$, $I_D = I_S = -1\mu\text{A}$ (dari kurva), maka

$$R_D = \frac{V_D}{I_D} = \frac{10\text{V}}{1\mu\text{A}} = 10 \text{ M}\Omega$$

Apabila sinyal sinus diberikan di sekitar titik kerja, maka titik kerja akan berayun ke atas dan ke bawah. Perbandingan antara perubahan tegangan dengan perubahan arus disekitar titik kerja disebut dengan **Resistansi AC** atau **Resistansi Dinamik**. Perubahan tegangan maupun arus harus dibuat sekecil mungkin serta titik-Q merupakan titik tengahnya perubahan tersebut.



Gambar 1.18 Menentukan Resistansi ac atau resistansi dinamik

Menentukan resistansi dinamik secara grafis seperti diuraikan di atas diperlukan adanya kurva karakteristik dengan skala pengukuran yang benar. Cara lain untuk menentukan resistansi dinamik adalah melalui persamaan matematis. Yaitu dengan mendiferensialkan persamaan 1.2, maka diperoleh:

$$\frac{d}{dV_D}(i_D) = \frac{d}{dV_D}\{I_S[e^{(V_D/n \cdot V_T)} - 1]\}$$

$$\frac{di_D}{dV_D} = \frac{(i_D + I_S)}{n \cdot V_T}$$

Resistansi dinamik adalah kebalikan dari persamaan tersebut, yaitu:

$$r_d = \frac{n \cdot V_T}{(i_D + I_S)}$$

Karena $i_D \gg I_S$, dan dianggap $n = 1$ dan $V_T = 26\text{mV}$, maka:

$$r_d = \frac{26 \text{ mV}}{i_D}$$

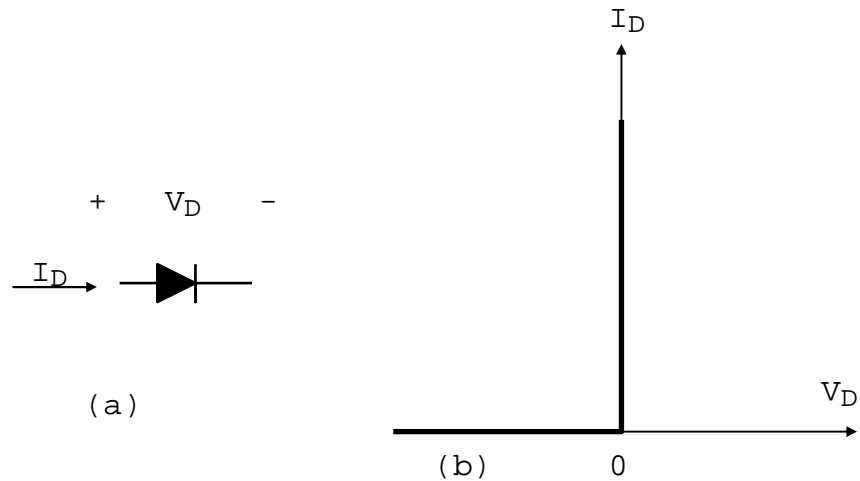
$r_d = \frac{26 \text{ mV}}{i_D}$	$\dots\dots\dots (1.7)$
-----------------------------------	-------------------------

Persamaan (1.7) ini akan valid (tepat) hanya untuk bagian kurva yang mendekati vertikal. Apabila harga I_D cukup kecil dan harga $n = 2$, maka hasilnya perlu dikalikan 2. Resistansi total dari komponen dioda adalah r_d ditambah dengan resistansi bahan semikonduktor (bulk resistansi) serta resistansi karena hubungan konektor dengan bahan (contact resistansi).

1.10 Rangkaian Ekuivalen Dioda

Rangkaian ekuivalen adalah gabungan dari beberapa elemen yang dianggap paling mewakili karakteristik suatu komponen atau sistem yang sesungguhnya. Oleh karena itu suatu komponen dapat diganti dengan rangkaian ekivalennya tanpa mempengaruhi keseluruhan sistem dimana komponen tersebut berada. Dalam banyak hal, penggantian komponen dengan ekivalennya akan memudahkan dalam analisis rangkain. Istilah rangkaian ekuivalen dioda ini sering juga disebut dengan model dioda.

Secara umum terdapat tiga macam pendekatan yang digunakan untuk membuat rangkaian ekuivalen suatu dioda semikonduktor. Pendekatan yang paling sederhana adalah model dioda ideal. Gambar 1.19 menunjukkan model dioda ideal dan karakteristiknya.

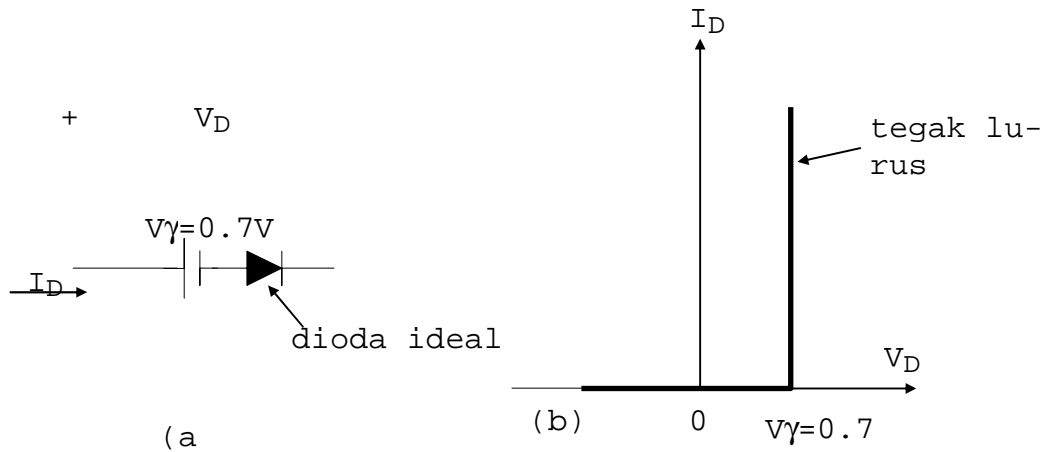


Gambar 1.19 Model dioda ideal (a) dan karakteristiknya (b)

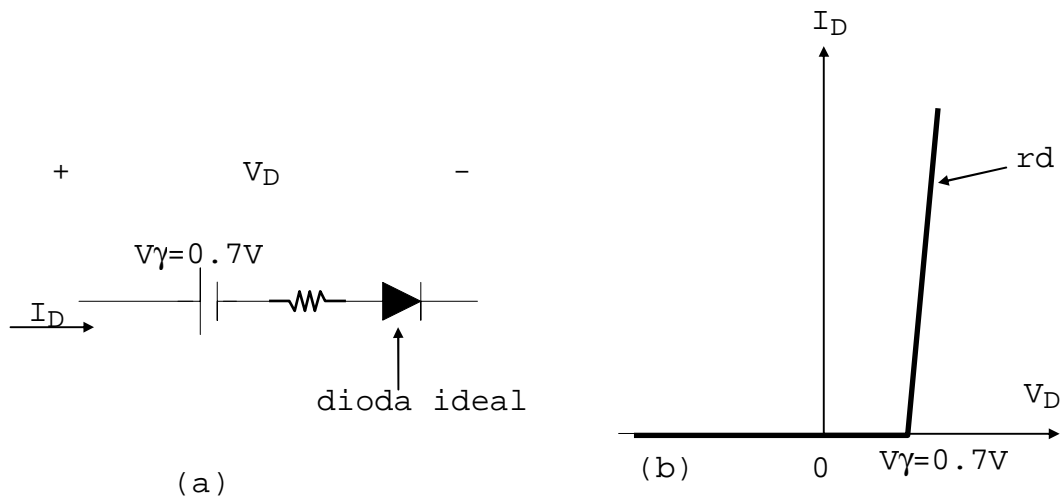
Dioda ideal menyerupai suatu saklar, bila V_D positif saklar akan menutup (dioda ON) sehingga arus I_D besar dan bila V_D negatif saklar akan membuka (dioda OFF) sehingga arus $I_D = 0$. Model dioda ideal dipakai terutama dalam kondisi apabila tegangan dan resistansi jaringan sangat besar, misalnya dalam power supply.

Pendekatan kedua adalah lebih lengkap dari model ideal yaitu model dioda sederhana. Gambar 1.20 menunjukkan model dioda sederhana dan karakteristiknya. Rangkaian ekivalennya terdiri atas dioda ideal yang diseri dengan tegangan baterai sebesar 0.7 V (untuk dioda silikon). Tegangan baterai ini sebesar tegangan cut-in dari dioda yang bersangkutan.

Pendekatan ketiga adalah yang paling kompleks yaitu rangkaian ekivalen *piecewise-linier*. Meskipun rangkaian ekivalen ini dianggap paling akurat, namun bagian nonlinier dari kurva bias maju tetap dianggap sebagai linier. Sehingga diperoleh seperti gambar 1.21.



Gambar 1.20 Model dioda sederhana (a) dan karakteristik-



Gambar 1.21 Model dioda sederhana (a) dan karakteristiknya (b)

1.11 Ringkasan

Dioda semikonduktor dibentuk dengan menyambungkan dua buah bahan semikonduktor tipe P dan tipe N. Bahan semikonduktor tipe P mempunyai pembawa muatan mayoritas hole, sedangkan pada tipe N pembawa muatan mayoritasnya adalah elektron. Dengan demikian pada persambungan dua bahan tersebut timbul daerah pengosongan.

Apabila dioda semikonduktor diberi bias maju, maka arus akan mengalir. Namun apabila dioda diberi bias mundur, maka dioda tidak mengalirkan arus, hanya terdapat arus yang sangat kecil yang disebut dengan arus bocor.

1.12 Soal Latihan

1. Jelaskan karakteristik bahan konduktor, semikonduktor, dan isolator!
2. Mengapa atom silikon dan atom germanium disebut dengan atom tetra-valen?
3. Jelaskan bahan semikonduktor intrinsik dan ekstrinsik!
4. Berapa joule energi yang dibutuhkan untuk memindahkan muatan sebesar 6 Coulomb melalui beda potensial sebesar 3V?
5. Jelaskan bagaimana cara memperoleh bahan semikonduktor tipe N dan jelaskan karakteristiknya!
6. Jelaskan bagaimana cara memperoleh bahan semikonduktor tipe P dan jelaskan karakteristiknya!
7. Apa yang dimaksud dengan ikatan kovalen?
8. Jelaskan struktur dan karakteristik dioda semikonduktor!
9. Parameter dioda apa saja yang dipengaruhi oleh perubahan temperatur? Jelaskan!
10. Jelaskan definisi resistansi dinamik dioda!

Sumber Pustaka

Boylestad and Nashelsky. (1992). *Electronic Devices and Circuit Theory*, 5th ed. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, Inc.

Floyd, T. (1991). *Electric Circuits Fundamentals*. New York: Merrill Publishing Co.

Malvino, A.P. (1993). *Electronic Principles 5th Edition*. Singapore: McGraw-Hill, Inc.

Milman & Halkias. (1972). *Integrated Electronics: Analog and Digital Circuits and Systems*. Tokyo: McGraw-Hill, Inc.

Savant, Roden, and Carpenter. (1987). *Electronic Circuit Design: An Engineering Approach*. Menlo Park, CA: The Benjamin/Cummings Publishing Company, Inc.

Stephen, F. (1990). *Integrated devices: discrete and integrated*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, Inc.