

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 3

Transistor Bipolar



3.1 Pendahuluan

Walter H. Brattain dan John Bardeen pada akhir Desember 1947 di Bell Telephone Laboratories berhasil menciptakan suatu komponen yang mempunyai sifat menguatkan yaitu yang disebut dengan Transistor. Keuntungan komponen transistor ini dibanding dengan pendahulunya, yakni tabung hampa, adalah ukuran fisiknya yang sangat kecil dan ringan. Bahkan dengan teknologi sekarang ini ratusan ribu transistor dapat dibuat dalam satu keping silikon. Disamping itu komponen semikonduktor ini membutuhkan sumber daya yang kecil serta serta efisiensi yang tinggi.

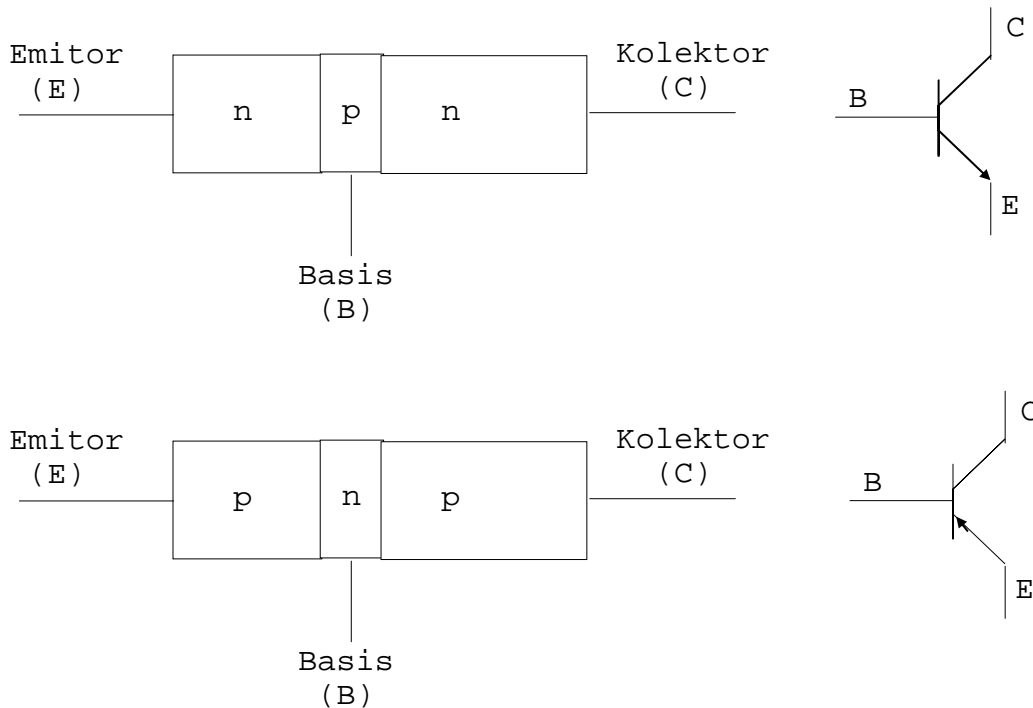
Pada bab ini akan dibahas struktur transistor bipolar dan karakteristiknya. Pemberian bias yang benar akan dapat menentukan daerah kerja transistor. Beberapa macam konfigurasi transistor juga dikenalkan, sebelum nanti pada bab berikutnya akan sampai pada analisis yang lebih mendetail.

3.2 Konstruksi Transistor Bipolar

Transistor adalah komponen semikonduktor yang terdiri atas sebuah bahan tipe p dan diapit oleh dua bahan tipe n (transistor NPN) atau terdiri atas sebuah bahan tipe n dan diapit oleh dua bahan tipe p (transistor PNP). Sehingga transistor mempunyai tiga terminal yang berasal dari masing-masing bahan tersebut. Struktur dan simbol transistor bipolar dapat dilihat pada gambar 3.1.

Ketiga terminal transistor tersebut dikenal dengan Emitor (E), Basis (B) dan Kolektor (C). Emitor merupakan bahan semikonduktor yang diberi tingkat doping sangat tinggi. Bahan kolektor diberi doping dengan tingkat yang sedang. Sedangkan basis adalah bahan dengan doping yang sangat rendah. Perlu diingat bahwa semakin rendah tingkat doping

suatu bahan, maka semakin kecil konduktivitasnya. Hal ini karena jumlah pembawa mayoritas (elektron untuk bahan n; dan hole untuk bahan p) adalah sedikit.



Gambar 3.1 Struktur dan simbol transistor bipolar

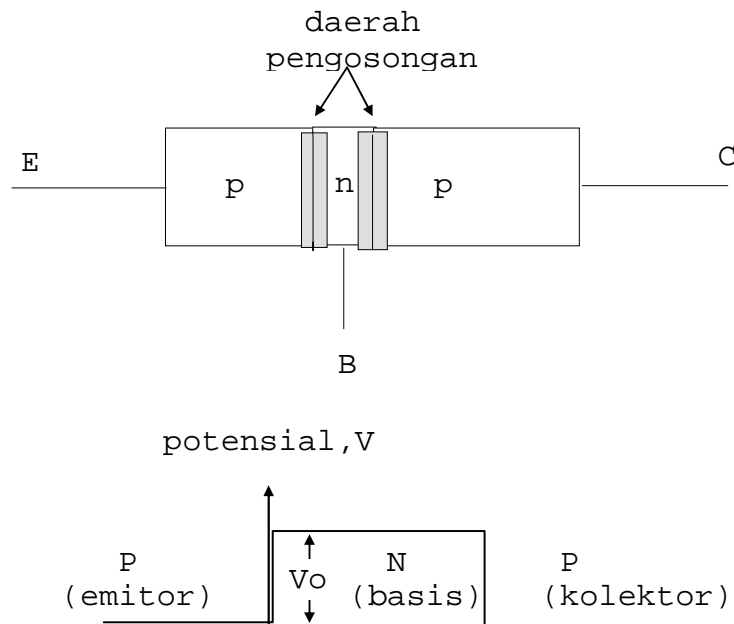
Disamping itu yang perlu diperhatikan adalah bahwa ukuran basis sangatlah tipis dibanding emitor dan kolektor. Perbandingan lebar basis ini dengan lebar emitor dan kolektor kurang lebih adalah 1 : 150. Sehingga ukuran basis yang sangat sempit ini nanti akan mempengaruhi kerja transistor.

Simbol transistor bipolar ditunjukkan pada gambar 3.1. Pada kaki emitor terdapat tanda panah yang nanti bisa diketahui bahwa itu merupakan arah arus konvensional. Pada transistor npn tanda panahnya menuju keluar sedangkan pada transistor pnp tanda panahnya menuju kedalam.

3.3 Kerja Transistor

Apabila pada terminal transistor tidak diberi tegangan bias dari luar, maka semua arus akan nol atau tidak ada arus yang mengalir. Sebagai mana terjadi pada persambungan dioda, maka pada persambungan emitor dan basis (JE) serta pada persambungan basis dan kolektor (JC) terdapat daerah pengosongan. Tegangan penghalang (barrier potensial) pada masing-

masing persambungan dapat dilihat pada gambar 3.2. Penjelasan kerja berikut ini didasarkan pada transistor jenis PNP (bila NPN maka semua polaritasnya adalah sebaliknya).



Gambar 3.2. Diagram potensial pada transistor tanpa bias

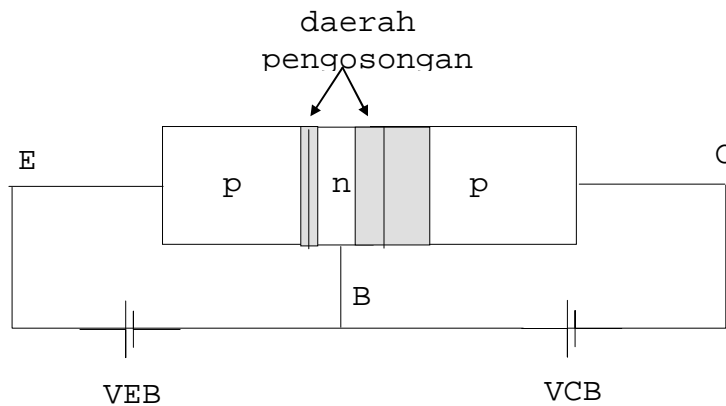
Pada diagram potensial terlihat bahwa terdapat perbedaan potensial antara kaki emitor dan basis sebesar V_0 , juga antara kaki basis dan kolektor. Oleh karena potensial ini berlawanan dengan muatan pembawa pada masing-masing bahan tipe P dan N, maka arus rekombinasi hole-elektron tidak akan mengalir. Sehingga pada saat transistor tidak diberi tegangan bias, maka arus tidak akan mengalir.

Selanjutnya apabila antara terminal emitor dan basis diberi tegangan bias maju (emitor positif dan basis negatif) serta antara terminal basis dan kolektor diberi bias mundur (basis positif dan kolektor negatif), maka transistor disebut mendapat bias aktif (lihat gambar 3.3). Pada bab selanjutnya juga akan dibahas pemberian tegangan bias selain bias aktif seperti misalnya bias mati (*cut-off*) dan saturasi (jenuh).

Setelah transistor diberi tegangan bias aktif, maka daerah pengosongan pada persambungan emitor-basis menjadi semakin sempit karena mendapatkan bias maju. Sedangkan daerah pengosongan pada persambungan basis-kolektor menjadi semakin melebar karena mendapat bias mundur.

Pemberian tegangan bias seperti ini menjadikan kerja transistor berbeda sama sekali bila dibanding dengan dua dioda yang disusun berbalikan, meskipun sebenarnya struktur

transistor adalah mirip seperti dua dioda yang disusun berbalikan, yakni dioda emitor-basis (P-N) dan dioda basis-kolektor (N-P).

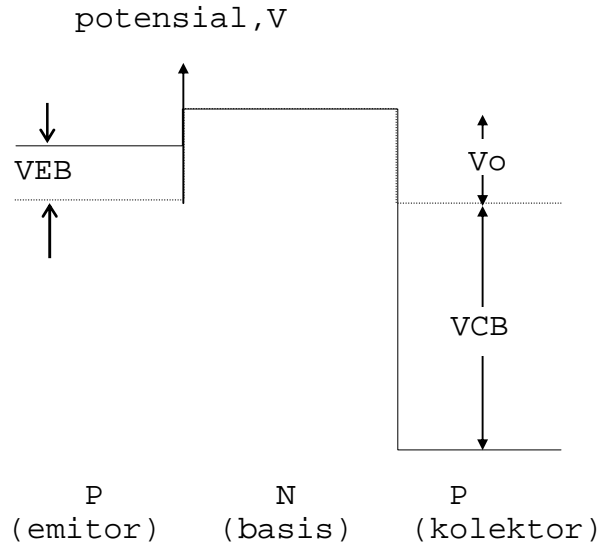


Gambar 3.3. Transistor dengan tegangan bias aktif

Bila mengikuti prinsip kerja dua dioda yang berbalikan, maka dioda emitor-basis yang mendapat bias maju akan mengalirkan arus dari emitor ke basis dengan cukup besar. Sedangkan dioda basis-kolektor yang mendapat bias mundur praktis tidak mengalirkan arus. Dengan demikian terminal emitor dan basis akan mengalir arus yang besar dan terminal kolektor tidak mengalirkan arus.

Namun yang terjadi pada transistor tidaklah demikian. Hal ini disebabkan karena dua hal, yaitu: ukuran fisik basis yang sangat sempit (kecil) dan tingkat doping basis yang sangat rendah. Oleh karena itu konduktivitas basis sangat rendah atau dengan kata lain jumlah pembawa mayoritasnya (dalam hal ini adalah elektron) sangatlah sedikit dibanding dengan pembawa mayoritas emitor (dalam hal ini adalah hole). Sehingga jumlah hole yang berdifusi ke basis sangat sedikit dan sebagian besar tertarik ke kolektor dimana pada kaki kolektor ini terdapat tegangan negatip yang relatif besar.

Prinsip kerja transistor ini akan lebih jelas lagi apabila dilihat diagram potensial pada gambar 3.4.



Gambar 3.4 Diagram potensial pada transistor dengan bias aktif

Tegangan bias maju yang diberikan pada dioda emitor-basis (VEB) akan mengurangi potensial penghalang V_0 , sehingga pembawa muatan mayoritas pada emitor akan mudah untuk berekombinasi ke basis. Namun karena konduktivitas basis yang rendah dan tipisnya basis, maka sebagian besar pembawa muatan akan tertarik ke kolektor. Disamping itu juga dikuatkan oleh adanya beda potensial pada basis-kolektor yang semakin tinggi sebagai akibat penerapan bias mundur VCB.

Dengan demikian arus dari emitor (I_E) sebagian kecil dilewatkan ke basis (I_B) dan sebagian besar lainnya diteruskan kolektor (I_C). Sesuai dengan hukum Kirchhoff maka diperoleh persamaan yang sangat penting yaitu:

$$I_E = I_C + I_B \dots\dots\dots (3.1)$$

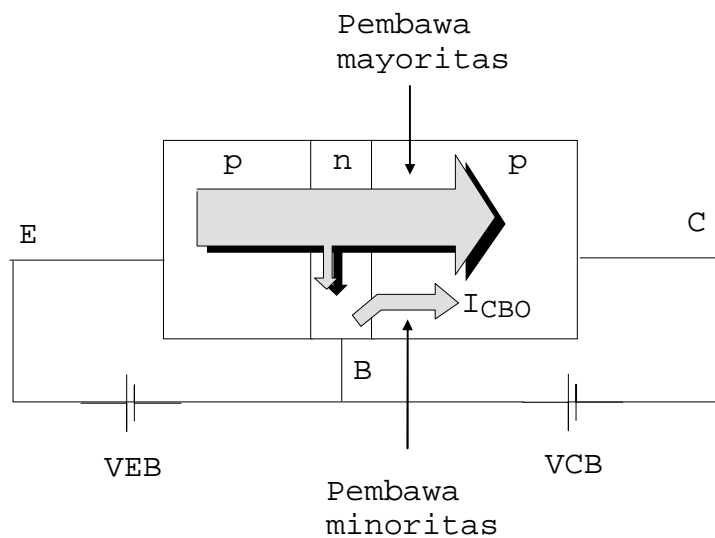
Karena besarnya arus I_C kira-kira 0,90 sampai 0,998 dari arus I_E , maka dalam praktek umumnya dibuat $I_E \cong I_C$.

Disamping ketiga macam arus tersebut yang pada dasarnya adalah disebabkan karena aliran pembawa mayoritas, di dalam transistor sebenarnya masih terdapat aliran arus lagi yang relatif sangat kecil yakni yang disebabkan oleh pembawa minoritas. Arus ini sering disebut

dengan arus bocor atau I_{CBO} (arus kolektor-basis dengan emitor terbuka). Namun dalam berbagai analisa praktis arus ini sering diabaikan.

Seperti halnya pada dioda, bahwa dalam persambungan PN yang diberi bias mundur mengalir arus bocor I_s karena pembawa minoritas. Demikian juga dalam transistor dimana persambungan kolektor-basis yang diberi bias mundur VCB akan mengalir arus bocor (I_{CBO}). Arus bocor ini sangat peka terhadap temperatur, yakni akan naik dua kali untuk setiap kenaikan temperatur $10^{\circ}C$.

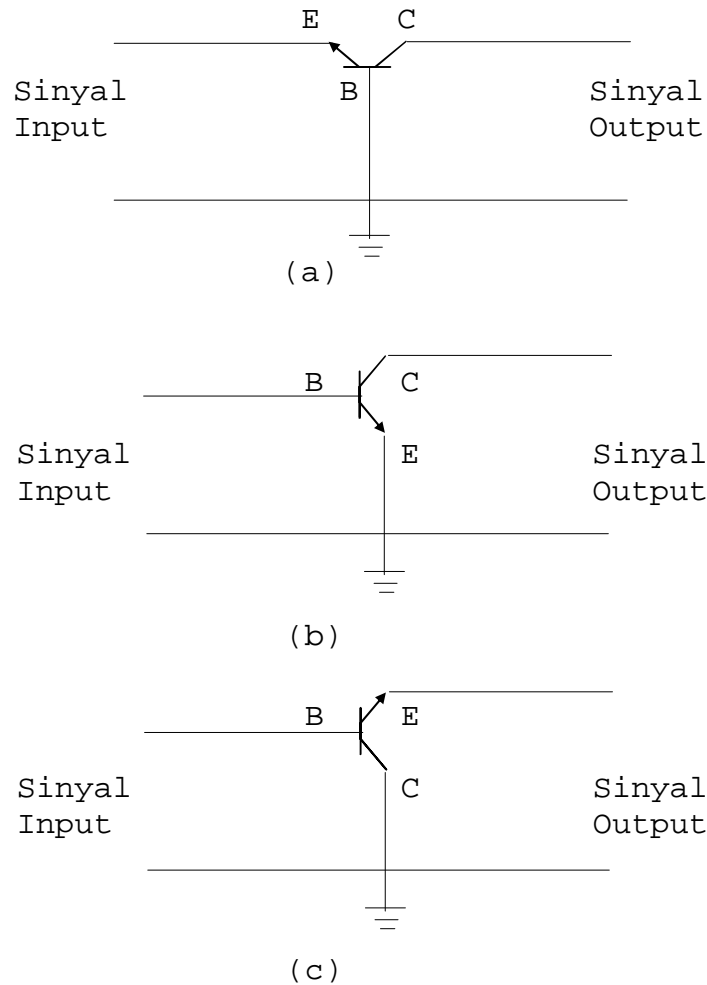
Diagram aliran arus I_E , I_B , I_C dan I_{CBO} dalam transistor dapat dilihat pada gambar 3.5. Dari gambar tersebut terlihat bahwa arus kolektor merupakan penjumlahan dari arus pembawa mayoritas dan arus pembawa minoritas, yaitu $I_C = I_{C_{mayoritas}} + I_{CBO_{minoritas}}$.



Gambar 3.5. Diagram aliran arus dalam transistor

3.4 Konfigurasi Transistor

Secara umum terdapat tiga macam variasi rangkaian transistor yang dikenal dengan istilah konfigurasi, yaitu konfigurasi basis bersama (*common-base configuration*), konfigurasi emitor bersama (*common-emitter configuration*), dan konfigurasi kolektor bersama (*common-collector configuration*). Istilah bersama dalam masing-masing konfigurasi menunjuk pada terminal yang dipakai bersama untuk input (masukan) dan output (keluaran). Gambar 3.6 menunjukkan tiga macam konfigurasi tersebut.



Gambar 3.6. Konfigurasi transistor; (a) basis bersama; (b) emitor bersama; (c) kolektor bersama

Pada konfigurasi basis bersama (common base = CB) sinyal input dimasukkan ke emitor dan sinyal output diambil pada kolektor dengan basis sebagai *ground*-nya. Faktor penguatan arus pada basis bersama disebut dengan ALPHA (α). α_{dc} (alpha dc) adalah perbandingan arus IC dengan arus IE pada titik kerja. Sedangkan α_{ac} (alpha ac) atau sering juga disebut alpha (α) saja merupakan perbandingan perubahan IC dengan IE pada tegangan VCB tetap.

$\alpha = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_E} \quad \Bigg \quad V_{CB} = \text{konstan} \quad \dots\dots\dots (3.2)$

Dari diagram aliran arus pada gambar 3.5 dapat diketahui bahwa harga α adalah kurang dari satu, karena arus IE sebagian dilewatkan menjadi IB dan lainnya menuju kolektor menjadi IC. Harga tipikal dari α adalah 0,90 hingga 0,998. Umumnya harga α untuk setiap transistor dicantumkan dalam buku data.

Dengan memasukkan arus bocor I_{CBO} kedalam perhitungan, maka besarnya arus IC menjadi:

$$I_C = \alpha I_E + I_{CBO} \dots\dots\dots (3.3)$$

Pada konfigurasi emitor bersama (common emitter = CE) sinyal input diumpankan pada basis dan output diperoleh dari kolektor dengan emitor sebagai groundnya. Faktor penguatan arus pada emitor bersama disebut dengan BETA (β). Seperti halnya pada α , istilah β juga terdapat β_{dc} (beta dc) maupun β_{ac} (beta ac). Definisi β_{ac} (atau β saja) adalah:

$$\beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} \quad \Bigg| \quad V_{CE} = \text{konstan} \dots\dots\dots (3.4)$$

Istilah β sering dikenal juga dengan hfe yang berasal dari parameter hibrid untuk faktor penguatan arus pada emitor bersama. Data untuk harga hfe maupun β ini lebih banyak dijumpai dalam berbagai buku data dibanding dengan α . Umumnya transistor mempunyai harga β dari 50 hingga lebih dari 600 tergantung dari jenis transistornya.

Dalam perencanaan rangkaian transistor perlu diperhatikan bahwa harga β dipengaruhi oleh arus kolektor. Demikian pula variasi harga β juga terjadi pada pembuatan di pabrik. Untuk dua tipe dan jenis transistor yang sama serta dibuat dalam satu pabrik pada waktu yang sama, belum tentu mempunyai β yang sama.

Hubungan antara α dan β dapat dikembangkan melalui beberapa persamaan berikut:

$$\begin{aligned} \beta &= I_C / I_B && \longrightarrow && I_B &= I_C / \beta \\ \alpha &= I_C / I_E && \longrightarrow && I_E &= I_C / \alpha \end{aligned}$$

Apabila dimasukkan kedalam persamaan:

$$I_E = I_C + I_B$$

maka diperoleh:

$\beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha}$ (3.5)
-------------------------------------	-------------

$\alpha = \frac{\beta}{\beta + 1}$ (3.6)
------------------------------------	-------------

Dengan memasukkan arus bocor I_{CBO} kedalam perhitungan, maka besarnya arus IC dalam kaitannya dengan α adalah seperti dalam persamaan 3.3, yaitu: $I_C = \alpha I_E + I_{CBO}$. Sedangkan arus IC dalam hubungannya dengan β dapat dijelaskan sebagai berikut.

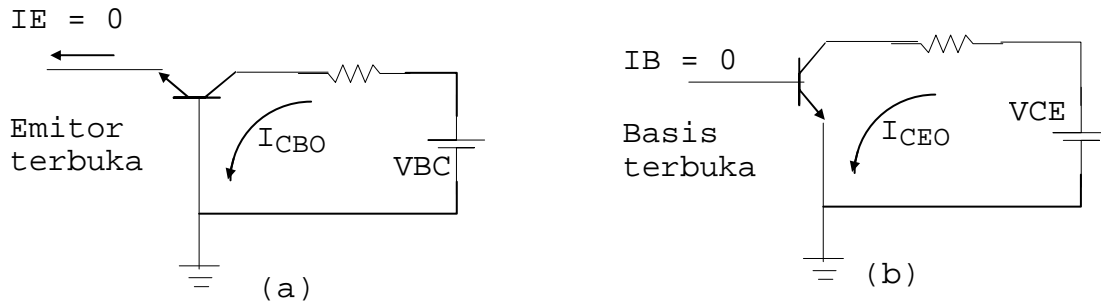
Dengan memasukkan persamaan 3.1: $I_E = I_C + I_B$ ke dalam persamaan 3.3 tersebut diperoleh:

$$\begin{aligned} I_C &= \alpha(I_C + I_B) + I_{CBO} \\ &= \alpha I_C + \alpha I_B + I_{CBO} \\ &= \frac{\alpha}{1 - \alpha} I_B + \frac{I_{CBO}}{1 - \alpha} \end{aligned}$$

Bila persamaan 3.5 dan 3.6 dimasukkan, maka diperoleh harga IC sebesar:

$I_C = \beta I_B + (\beta + 1) I_{CBO}$ (3.7)
---	-------------

Dalam persamaan 3.7 di atas terdapat arus bocor sebesar $(\beta + 1)I_{CBO}$ atau sering disebut dengan istilah I_{CEO} . Arus bocor I_{CEO} ini adalah arus kolektor ke emitor dengan basis terbuka. Arus bocor I_{CBO} dan I_{CEO} dapat dilukiskan seperti pada gambar 3.7.



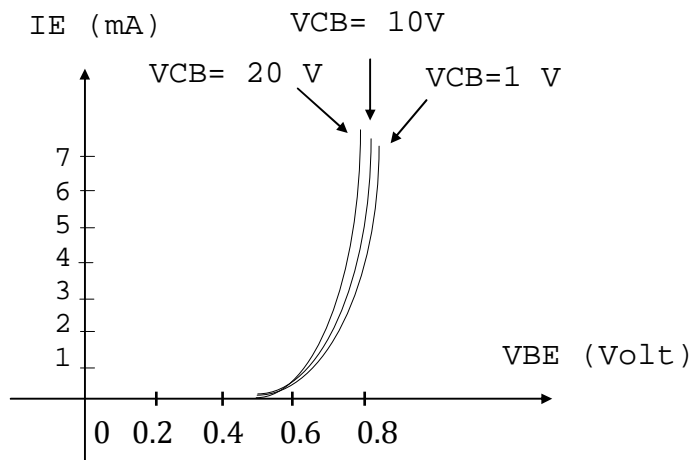
Gambar 3.7 Diagram arus bocor (a) I_{CBO} dan (b) I_{CEO}

3.5 Kurva Karakteristik Transistor

Seperti halnya dioda semikonduktor, sebagai komponen non-linier transistor bipolar mempunyai karakteristik yang bisa dilukiskan melalui beberapa kurva. Namun karena transistor mempunyai tiga terminal, maka karakteristik transistor tersebut biasanya dilukiskan dalam bentuk kurva parametrik. Kurva karakteristik transistor yang paling penting adalah karakteristik input dan karakteristik output.

Kurva karakteristik input untuk transistor dengan konfigurasi basis bersama (CB) untuk transistor npn bahan silikon dapat dilihat pada gambar 3.8. Kurva ini menggambarkan hubungan antara arus input I_E dengan tegangan input V_{BE} untuk berbagai variasi tegangan output V_{CB} . Dalam hal ini tegangan V_{CB} sebagai parameter.

Apabila kurva karakteristik input CB ini diperhatikan, maka bentuknya hampir menyerupai kurva dioda pada saat mendapat bias maju. Hal yang terjadi pada transistor juga demikian, karena persambungan emitor-basis mendapat bias maju. Pada saat tegangan V_{BE} sekitar 0,7 Volt (tegangan cut-in) arus I_E akan naik dengan cepat.

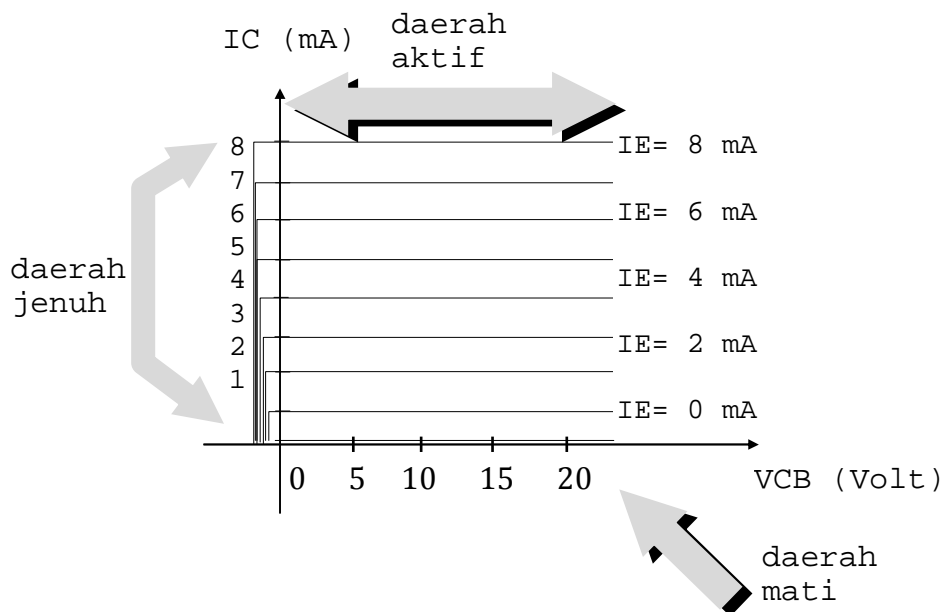


Gambar 3.8 Kurva karakteristik input untuk CB

Perubahan tegangan VCB dari 1 Volt ke 20 Volt mempunyai pengaruh yang sangat sedikit terhadap kurva. Sehingga secara pendekatan dapat dikatakan bahwa arus emitor hanya dipengaruhi oleh tegangan VBE. Disamping itu karena bentuk kurvanya hampir tegak lurus, maka pada saat transistor aktif tegangan VBE bisa dianggap sebesar 0,7 Volt.

Masih dalam konfigurasi basis bersama (CB), gambar 3.9 menunjukkan kurva karakteristik output. Kurva ini menggambarkan hubungan antara arus output I_C dengan tegangan output VCB untuk berbagai variasi arus input I_E . Dalam hal ini arus I_E disebut sebagai parameter.

Dalam kurva output ditunjukkan adanya tiga daerah kerja transistor, yaitu daerah aktif, daerah jenuh (saturasi) dan daerah mati (cut-off). Daerah kerja transistor ini ditentukan berdasarkan pemberian tegangan bias pada masing-masing persambungannya. Tabel 3.1 menunjukkan kaitan daerah kerja dan tegangan bias tersebut. Agar dapat digunakan sebagai penguat linier transistor perlu diberi tegangan bias sedemikian rupa sehingga bekerja pada daerah aktif.



Gambar 3.9 Kurva karakteristik output untuk CB

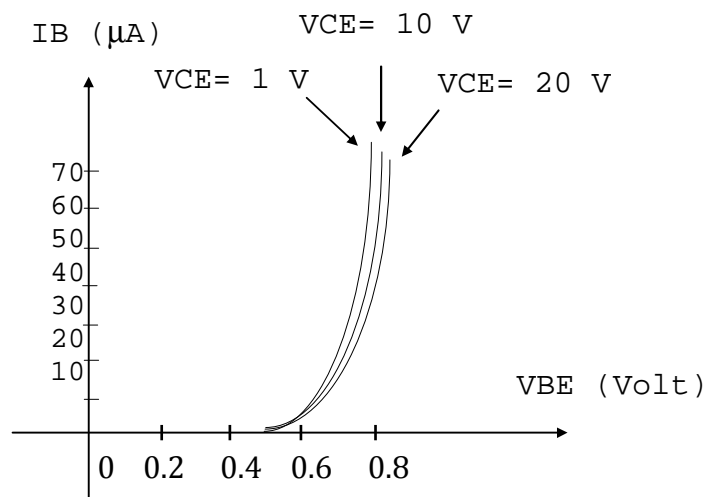
Tabel 3.1 Daerah kerja transistor berdasarkan tegangan bias

Daerah kerja	Bias emitor basis	Bias kolektor basis
Aktif	Maju	Mundur
Mati (cut-off)	Mundur	Mundur
Jenuh (saturasi)	Maju	Maju

Pada daerah aktif, kurva terlihat mendatar dan lurus. Hal ini sesuai dengan kurva input bahwa kenaikan tegangan VCB akan berpengaruh sedikit sekali terhadap arus IE. Padahal arus IE adalah hampir sama dengan arus IC yaitu $IC/IE = \alpha$, dimana α bernilai hampir satu. Dengan demikian pada masing-masing kurva dengan harga IE tertentu besarnya arus IC terlihat sama dengan IE tersebut.

Apabila arus bocor ikut diperhitungkan, maka menurut persamaan 3.3 besarnya arus IC adalah sama dengan $IC = \alpha IE + IC_{BO}$. Sehingga pada saat $IE = 0$, yaitu pada daerah mati, maka sebenarnya pada kolektor mengalir arus bocor sebesar IC_{BO} . Lihat gambar 3.7 (a)

Selanjutnya untuk kurva karakteristik input pada konfigurasi emitor bersama (CE) untuk transistor npn bahan silikon dapat dilihat pada gambar 3.10. Kurva ini menunjukkan hubungan antara arus input I_B dengan tegangan input V_{BE} untuk berbagai variasi tegangan output VCE. Dalam hal ini VCE disebut sebagai parameter.



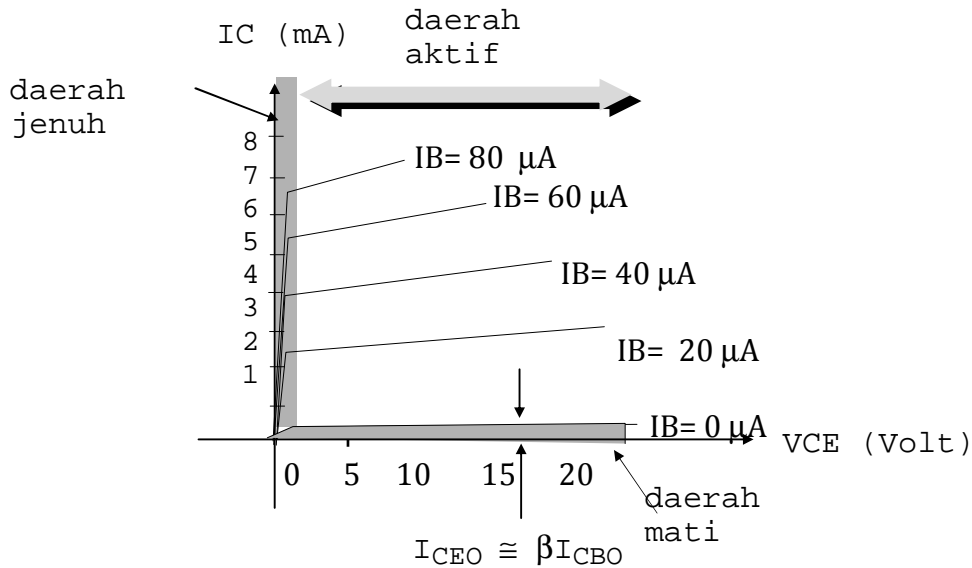
Gambar 3.10 Kurva karakteristik input untuk CE

Bentuk kurva input CE ini hampir sama dengan kurva input pada CB. Pada tegangan V_{BE} sekitar 0,7 Volt transistor dianggap bekerja pada daerah aktif. Hal ini terlihat bahwa arus

I_B bergerak naik dengan cepat. Dan perubahan tegangan V_{CE} juga tidak begitu mempengaruhi kurva ini.

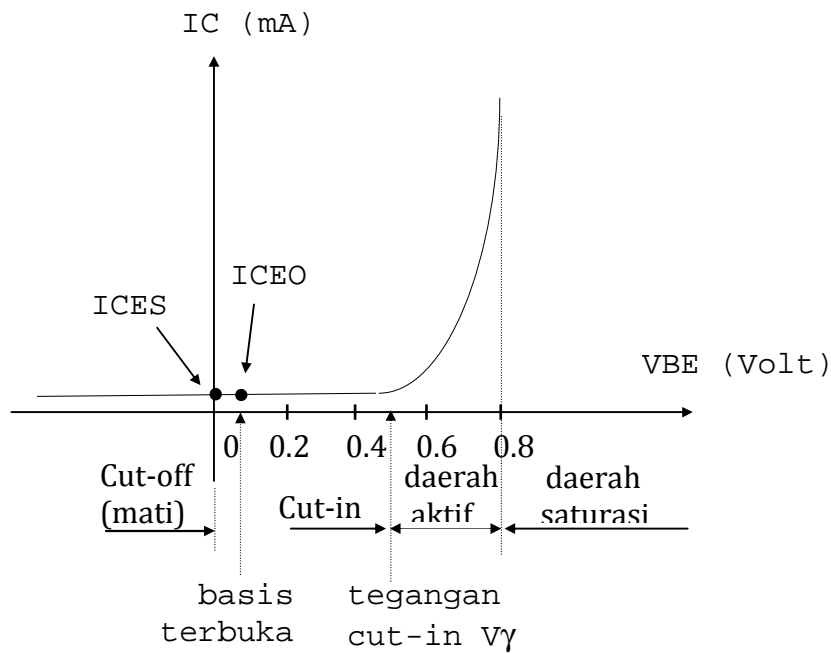
Kurva karakteristik output untuk konfigurasi emitor bersama adalah pada gambar 3.11. Kurva ini menunjukkan hubungan antara arus output I_C dengan tegangan output V_{CE} untuk berbagai variasi harga arus I_B . Dalam kurva ini juga terlihat adanya tiga daerah kerja transistor, yaitu: aktif, jenuh dan mati.

Dari kurva terlihat bahwa meskipun arus basis $I_B = 0$ yakni pada saat transistor mati, pada kolektor masih mengalir arus bocor I_{CEO} sebesar $(\beta + 1)I_{CBO}$ (lihat persamaan 3.7). Hal ini juga sesuai dengan diagram arus bocor pada gambar 3.7 (b). Namun dalam analisis praktek, nilai arus bocor ini cukup kecil sehingga bisa diabaikan.



Gambar 3.9 Kurva karakteristik output untuk CE

Satu lagi kurva untuk emitor bersama yang juga penting untuk diperhatikan adalah kurva transfer yang melukiskan hubungan antara arus output I_C dengan tegangan input V_{BE} . Gambar 3.10 menunjukkan kurva karakteristik tersebut untuk transistor npn bahan silikon.



Gambar 3.10 Kurva transfer untuk CE transistor silikon

Transistor silikon akan mati (cut-off) apabila tegangan $V_{BE} = 0$ Volt atau basis dalam keadaan hubung singkat (dengan emitor). Pada saat ini pada kolektor mengalir arus bocor sebesar I_{CES} . Apabila basis terbuka (tergantung) yang berarti $I_B = 0$ dimana sebenarnya $V_{BE} = 0.06$ Volt, maka pada kolektor mengalir arus bocor sebesar I_{CEO} . Dalam gambar terlihat bahwa I_{CES} dan I_{CEO} hampir sama. Dan bahkan karena kecilnya nilai arus bocor ini, biasanya dalam perhitungan praktis sering diabaikan.

Tegangan cut-in V_{γ} adalah tegangan V_{BE} yang menyebabkan arus kolektor kira-kira mengalir sebesar 1 persent dari arus maksimum. Besarnya V_{γ} ini untuk silikon adalah 0.5 Volt dan untuk germanium adalah 0.1 Volt. Besarnya arus kolektor pada saat V_{BE} belum mencapai tegangan cut-in adalah sangat kecil, yakni dalam orde nanoamper untuk silikon dan mikroamper untuk germanium.

Setelah V_{BE} mencapai tegangan cut-in ini transistor masuk ke daerah aktif dimana arus I_C mulai naik dengan cepat. Untuk silikon daerah aktif ini antara 0.5 - 0.8 Volt, dan pada umumnya tegangan V_{BE} aktif dianggap sebesar 0.7 Volt. Tegangan V_{BE} lebih besar dari 0,8 Volt (atau 0,3 Volt untuk germanium) menyebabkan transistor masuk daerah jenuh (saturasi).

Tabel 3.2 memberikan beberapa tegangan pada persambungan transistor baik untuk germanium maupun silikon.

Tabel 3.2 Berbagai tegangan persambungan transistor npn pada suhu 25 °C

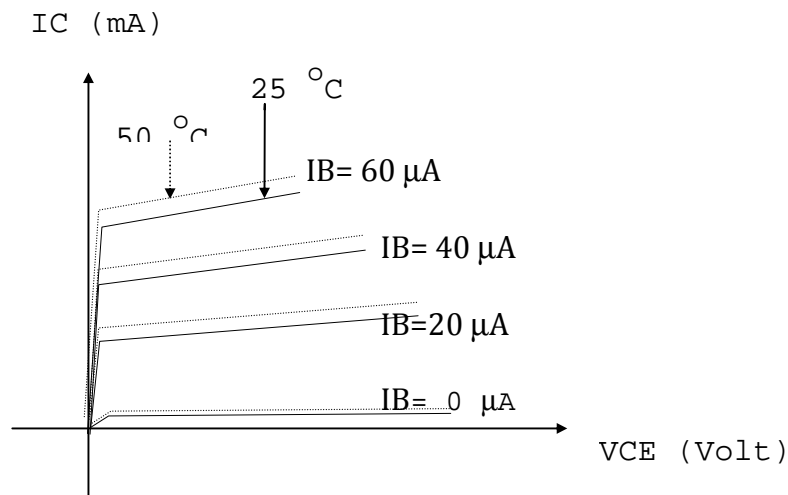
	VCE saturasi	VBE saturasi	VBE aktif	VBE cut-in	VBE cut-off
Silikon	0.2	0.8	0.7	0.5	0.0
Germanium	0.1	0.3	0.2	0.1	-0.1

3.6 Pengaruh Temperatur

Mengingat bahwa sifat-sifat kelistrikan bahan semikonduktor sangat peka terhadap temperatur, maka demikian juga transistor yang terbuat dari bahan semikonduktor. Semua karakteristik transistor yang dibicarakan di depan sangat dipengaruhi oleh perubahan temperatur.

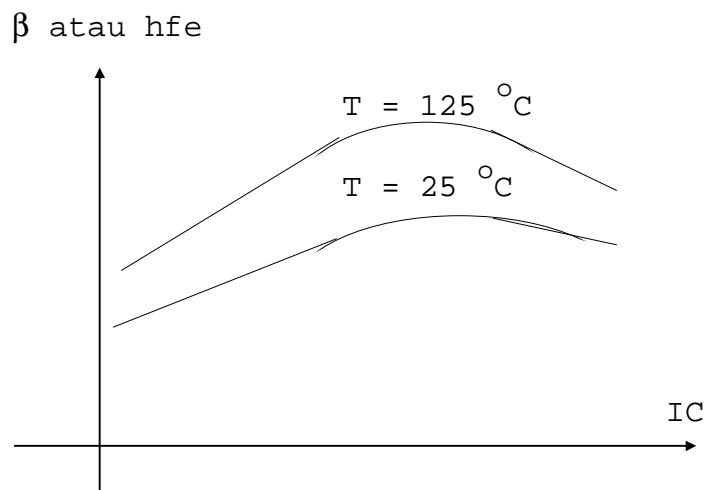
Apabila temperatur naik, maka arus bocor ICBO, ICEO, dan ICES akan cenderung untuk naik. Arus-arus bocor ini akan naik dua kali lipat untuk setiap kenaikan temperatur 10 °C. Pada transistor silikon dimana harga arus bocornya dalam orde nanoampere umumnya mampu untuk dipakai sampai temperatur 200 °C. Sedangkan transistor germanium yang arus bocornya dalam orde mikroamper mampu untuk dipakai hingga suhu 100 °C.

Akibat kenaikan arus bocor ini, maka arus kolektor juga cenderung untuk naik apabila temperatur naik. Pengaruh perubahan temperatur terhadap arus kolektor IC dapat dilihat pada gambar 3.11. Demikian juga faktor penguatan arus α dan β akan cenderung untuk naik terhadap perubahan temperatur. Pengaruh temperatur terhadap β atau hfe dapat dilihat pada gambar 3.12.



Gambar 3.11 Pengaruh perubahan temperatur terhadap arus kolektor I_C .

Disamping itu perubahan temperatur juga mempengaruhi besarnya tegangan V_{BE} . Apabila temperatur naik, maka tegangan bias maju V_{BE} untuk menghasilkan arus kolektor I_C tertentu akan menurun. Koefisien perubahan temperatur terhadap tegangan V_{BE} ini adalah sebesar $-2.5 \text{ mV}/^\circ C$. Artinya bahwa untuk menghasilkan arus kolektor I_C tertentu tegangan V_{BE} yang diperlukan akan turun sebesar $2,5 \text{ mV}$ setiap kenaikan suhu $1^\circ C$.

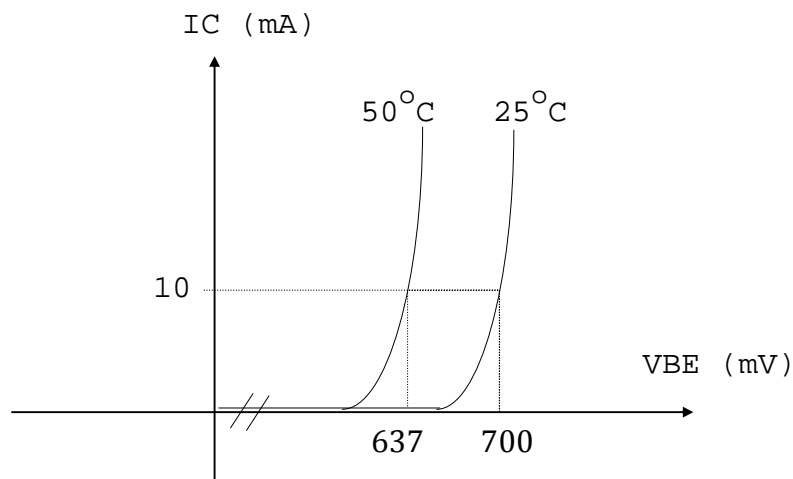


Gambar 3.12: Variasi β (h_{fe}) terhadap I_C dan temperatur

Apabila pada temperatur $T_1 = 25^\circ\text{C}$ tegangan VBE suatu transistor 0,7 Volt dapat menghasilkan I_C sebesar 10 mA, maka untuk mencapai arus I_C yang sama pada temperatur $T_2 = 50^\circ\text{C}$ diperlukan tegangan VBE sebagai berikut.

$$\begin{aligned} V_{BE}(T_2) &= V_{BE}(T_1) - (T_2 - T_1)(2.5\text{mV}/^\circ\text{C}) \\ V_{BE}(50^\circ\text{C}) &= 0.7\text{ V} - (50 - 25)(2.5\text{mV}/^\circ\text{C}) \\ &= 0.7\text{ V} - 0.0625\text{ V} \\ &= 0.637\text{ V} = 637\text{ mV} \end{aligned}$$

Jadi pada suhu 50°C dibutuhkan tegangan $V_{BE} = 0.637\text{ V}$ untuk menghasilkan arus $I_C = 10\text{ mA}$. Lihat gambar 3.13.



Gambar 3.13 Pengaruh temperatur terhadap VBE

Masalah pengaruh temperatur terhadap berbagai karakteristik transistor sungguh tidak dapat diabaikan begitu saja. Perubahan temperatur akan bisa merubah titik kerja yang sudah ditetapkan pada suhu ruang. Hal ini bisa jadi akan juga mempengaruhi faktor penguatan tegangan dari suatu rangkaian penguat. Disamping itu sinyal output akan bisa menjadi cacat atau distorsi karena perubahan temperatur yang meyakinkan. Olehkarena itu dalam rangkaian penguat transistor perlu adanya berbagai kompensasi, yang nanti akan dijelaskan dalam bab berikutnya.

3.7 Ringkasan

Struktur transistor terdiri atas sebuah bahan tipe p yang diapit oleh dua bahan tipe n (transistor NPN) atau terdiri atas sebuah bahan tipe n yang diapit oleh dua bahan tipe p (transistor PNP). Meskipun strukturnya mirip seperti dua buah dioda yang disambung berbalikan, namun prinsip kerjanya sama sekali berbeda. Hal ini disebabkan karena ukuran fisik basis yang sangat sempit (kecil) dan tingkat doping basis yang sangat rendah.

Terdapat tiga macam variasi rangkaian transistor yang dikenal dengan istilah konfigurasi, yaitu konfigurasi basis bersama (CB), konfigurasi emitor bersama (CE), dan konfigurasi kolektor bersama (CC). Pada konfigurasi CE sinyal input diumpankan pada basis dan output diperoleh dari kolektor dengan emitor sebagai groundnya. Faktor penguatan arus pada emitor bersama disebut dengan BETA (β). Kurva karakteristik transistor yang paling penting adalah karakteristik input dan karakteristik output.

Apabila temperatur naik, maka arus bocor ICBO, ICEO, dan ICES akan cenderung untuk naik. Arus-arus bocor ini akan naik dua kali lipat untuk setiap kenaikan temperatur 10°C . Akibatnya maka arus kolektor juga cenderung untuk naik apabila temperatur naik. Disamping itu perubahan temperatur juga mempengaruhi besarnya tegangan VBE. Apabila temperatur naik, maka tegangan bias maju VBE untuk menghasilkan arus kolektor IC tertentu akan menurun.

3.8 Soal Latihan

1. Jelaskan struktur dan prinsip kerja transistor bipolar!
2. Bagaimana memberikan bias kepada transistor agar dapat bekerja pada daerah aktif?
3. Jelaskan macam-macam konfigurasi rangkaian transistor serta gambarkan masing-masing!
4. Jelaskan istilah arus bocor I_{CBO} dan I_{CEO} secara diagram dan jelaskan pula hubungan keduanya!
5. Gambarkan kurva karakteristik output transistor untuk konfigurasi CE!
6. Dalam kurva karakteristik output CE, jelaskan transistor dalam kondisi: aktif, jenuh, dan mati.
7. Bagaimana perubahan temperatur bisa mempengaruhi titik kerja transistor?
8. Jelaskan istilah β (beta) dalam transistor!
9. Jelaskan istilah tegangan Cut-in dan tegangan Cut-off dalam transistor!
10. Apa perbedaan transistor dengan bahandari germanium dan silikon?

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.