

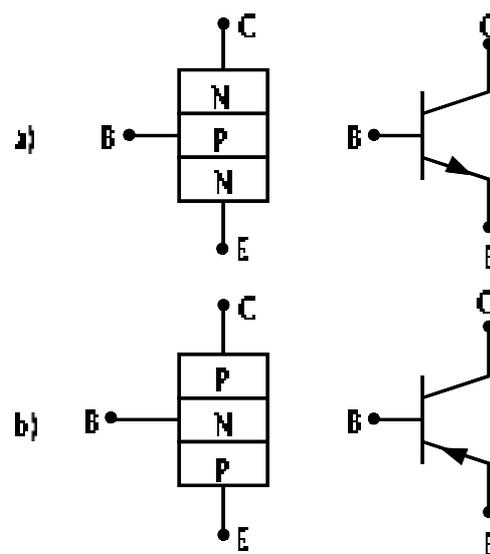
9

TRANSISTOR

9.1 Dasar-dasar Transistor

Pada bab sebelumnya telah dikenalkan karakteristik dasar diode, sebuah piranti dua terminal (karenanya disebut di-ode) beserta aplikasinya. Pada bagian ini akan kita pelajari karakteristik piranti tiga terminal atau lebih dikenal sebagai “transistor”. Pada bagian ini kita akan pertama-tama membahas transistor *bipolar* atau BJT (*bipolar junction transistor*). Berikutnya akan kita bahas transistor *unipolar* seperti misalnya FET (*field-effect transistor*).

Dibandingkan dengan FET, BJT dapat memberikan penguatan yang jauh lebih besar dan tanggapan frekuensi yang lebih baik. Pada BJT baik pembawa muatan mayoritas maupun pembawa muatan minoritas mempunyai peranan yang sama pentingnya.



Gambar 9.1 Diagram BJT : a) Jenis *n-p-n* dan b) Jenis *p-n-p*

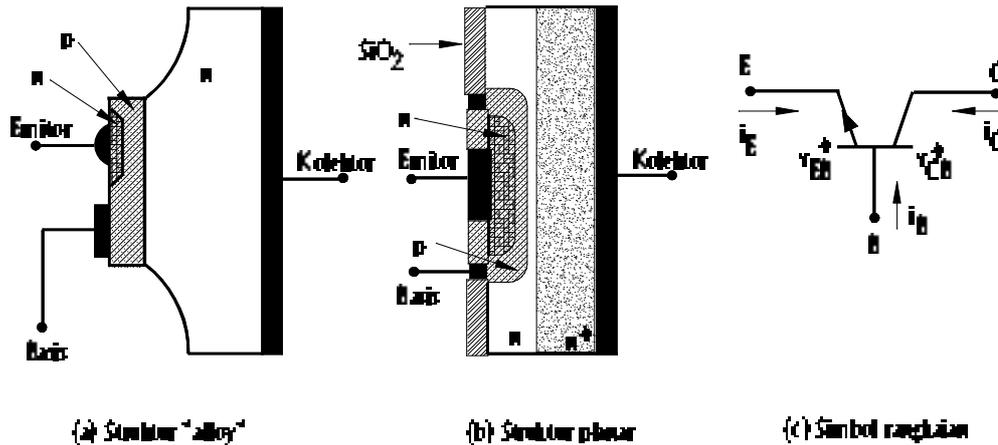
Terdapat dua jenis konstruksi dasar BJT, yaitu jenis $n-p-n$ dan jenis $p-n-p$. Untuk jenis $n-p-n$, BJT terbuat dari lapisan tipis semikonduktor tipe- p dengan tingkat doping yang relatif rendah, yang diapit oleh dua lapisan semikonduktor tipe- n . Karena alasan sejarah pembuatannya, bagian di tengah disebut “basis” (*base*), salah satu bagian tipe- n (biasanya mempunyai dimensi yang kecil) disebut “emitor” (*emitter*) dan yang lainnya sebagai “kolektor” (*collector*). Secara skematik kedua jenis transistor diperlihatkan pada gambar 9.1.

Tanda panah pada gambar 9.1 menunjukkan kaki emitor dan titik dari material tipe- p ke material tipe- n . Perhatikan bahwa untuk jenis $n-p-n$, transistor terdiri dari dua sambungan $p-n$ yang berperilaku seperti diode. Setiap diode dapat diberi panjar maju atau berpanjar mundur, sehingga transistor dapat memiliki empat modus pengoperasian. Salah satu modus yang banyak digunakan disebut “modus normal”, yaitu sambungan emitor-basis berpanjar maju dan sambungan kolektor-basis berpanjar mundur. Modus ini juga sering disebut sebagai pengoperasian transistor pada “daerah aktif”.

2.2 Pabrikasi BJT

Pabrikasi BJT dapat dilakukan dengan dua teknik, yaitu struktur transistor-alloy melalui difusi dan struktur transistor planar. Gambar 9.2-a menunjukkan struktur transistor-alloy $n-p-n$. Kolektor terbuat dari chip semikonduktor tipe- n dengan ketebalan kurang dari 1 mm^2 . Daerah basis dibuat dengan proses difusi kemudian dibuat kontak logam untuk dihubungkan dengan kaki basis. Daerah emitor dibuat dengan teknik alloy pada daerah basis. Sebagai hasilnya berupa sebuah pasangan sambungan $p-n$ yang dipisahkan oleh daerah basis kira-kira setebal kertas.

Untuk struktur planar (gambar 9.2-b), suatu lapisan tipe- n dengan tingkat doping rendah ditumbuhkan di atas substrat n^+ (tanda + menunjukkan tingkat doping sangat tinggi). Setelah melalui proses oksidasi pada permukaan, sebuah jendela (*window*) dibuka dengan proses penggerusan (*etching*) dan suatu pengotor (p) dimasukkan ke kristal dengan proses difusi untuk membentuk sambungan (*junction*). Sekali lagi setelah melalui reoksidasi, sebuah jendela kecil dibuka untuk proses difusi pembentukan daerah emitor (n).



Gambar 9.2 Transistor sambungan bipolar (BJT) jenis *n-p-n*.

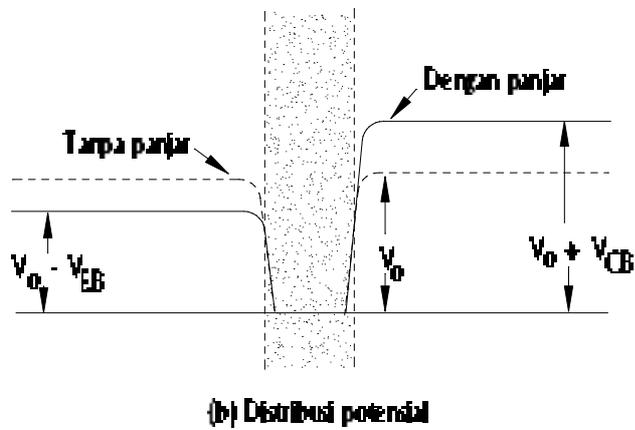
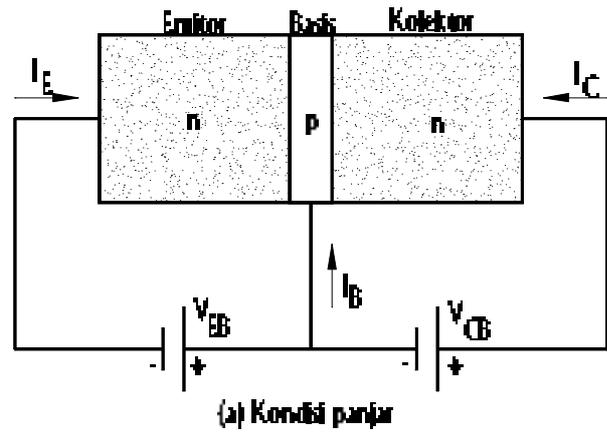
Secara konvensional simbol transistor *n-p-n* diperlihatkan pada gambar 9.2-c dilengkapi dengan tanda panah pada emitor yang menunjukkan aliran muatan positif. Walaupun sebuah transistor *n-p-n* akan bekerja dengan kedua daerah *n* dapat berfungsi sebagai emitor, namun karena kedua daerah mempunyai tingkat doping dan geometri yang berbeda, maka daerah *n* yang dimaksud harus diberi label.

9.3 Pengoperasian Transistor

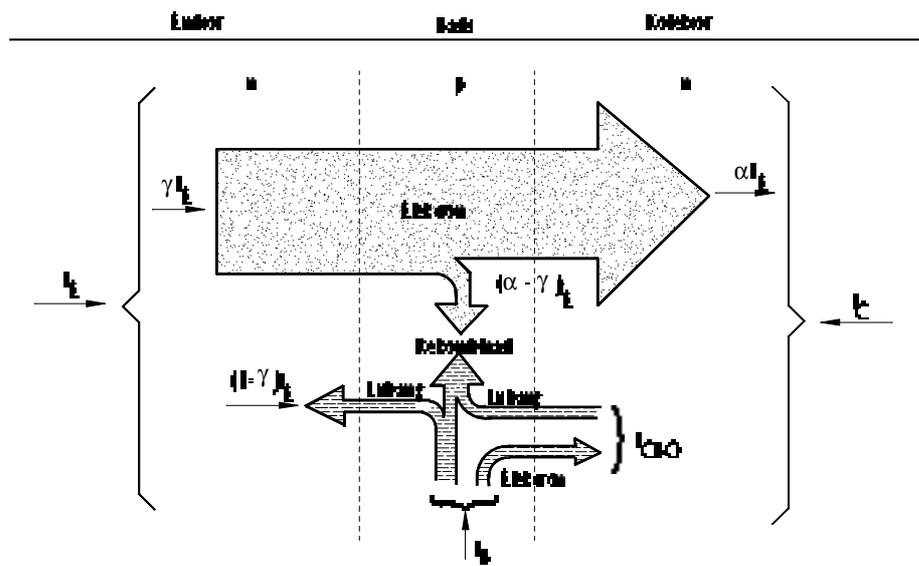
Pada gambar 9.3-a diperlihatkan keping horizontal transistor jenis *n-p-n*. Pengoperasian transistor dapat diterangkan secara kualitatif dalam hal distribusi potensial pada sambungan (gambar 9.3-b). Sambungan emitor berpanjar maju, dengan efek dari tegangan panjar V_{EB} terjadi penurunan tegangan penghalang pada sambungan emitor dan memberi kesempatan pada elektron melakukan injeksi ke basis dimana pada daerah ini miskin elektron (minoritas).

Sambungan kolektor berpanjar mundur; sebagai efek dari pemasangan tegangan panjar V_{CB} akan menaikkan potensial penghalang pada sambungan kolektor. Karena daerah basis sangat tipis, hampir semua elektron yang terinjeksi pada basis tersapu ke kolektor dimana mereka melakukan rekombinasi dengan lubang yang “disediakan” dengan pemasangan baterai luar. (Sebenarnya terjadi pengambilan elektron oleh baterai eksternal, meninggalkan lubang untuk proses rekombinasi).

Sebagai hasilnya terjadi transfer arus dari rangkaian emitor ke rangkaian kolektor yang besarnya hampir tidak tergantung pada tegangan kolektor-basis. Seperti akan kita lihat, transfer tersebut memungkinkan pemasangan hambatan beban yang besar untuk mendapatkan penguatan tegangan.



Gambar 9.3 Pengoperasian transistor jenis *n-p-n*



Gambar 9.4 Skema pergerakan pembawa muatan pada pengoperasian transistor *n-p-n*.

9.4 Karakteristik DC

Karakteristik DC dari BJT dapat diprediksi dengan melihat aliran pembawa muatan melewati sambungan dan ke basis. Dengan sambungan emitor berpanjar maju dan sambungan kolektor berpanjar mundur (biasa disebut operasi normal, pengoperasian di daerah aktif), gerakan pembawa muatan pada transistor *n-p-n* seperti diskemakan pada gambar 9.4.

Komponen terbesar dari arus emitor i_E terdiri atas elektron yang mengalir melewati penurunan tegangan potensial ($V_o - V_{EB}$) ke sambungan emitor-basis. Efisiensi emitor (γ) berharga mendekati satu sehingga arus hampir terdiri atas semua elektron yang terinjeksi dari emitor. Komponen lain adalah aliran lubang dari basis yang juga difasilitasi oleh penurunan tegangan penghalang tersebut. Daerah basis memiliki tingkat doping yang lebih rendah dibandingkan daerah emitor, sehingga arus lubang relatif lebih rendah. Kedua jenis muatan mengalir melalui proses difusi.

Elektron yang “terinjeksi” dari emitor ke basis dapat mengalir melalui sambungan emitor-basis secara bebas karena beberapa sebab

- i) tidak ada tegangan yang melawannya,
- ii) hanya terdapat jarak yang pendek pada daerah basis (tipis) dan
- iii) hanya terdapat jumlah lubang yang relatif rendah sehingga tidak banyak elektron yang tertangkap lubang dan hilang, yaitu dengan proses rekombinasi.

Dengan proses pabrikasi transistor yang benar, kurang lebih 99 - 99,9% elektron yang terinjeksi berhasil mencapai sambungan basis-kolektor (faktor α biasanya berharga sekitar 0,98). Elektron tersebut tidak mengalami kesulitan akibat penurunan tegangan penghalang.

Arus elektron αi_E mendominasi besarnya arus kolektor. Komponen lain dari arus kolektor berupa arus *drift* melewati sambungan kolektor-basis dari pembawa muatan minoritas hasil generasi termal. Jika kita memasang tegangan v_{EB} pada sambungan emitor-basis, kita menginjeksi arus yang diberikan oleh persamaan arus diode

$$-i_E = I_{CBO} \left(e^{-v_{EB}/V_T} - 1 \right) \quad (9.1)$$

dimana $V_T = 25 \text{ mV}$ pada temperatur ruang. I_{CBO} adalah penulisan yang benar namun biasanya lebih sering ditulis sebagai I_o . *Fuge factor* (η) untuk transistor biasanya tidak diperlukan. Tanda negatif hanya untuk memenuhi perjanjian konvensional, tidak perlu terlalu dirisaukan. Harga arus i_E sangat tergantung pada tegangan v_{EB} .

Sebagian besar elektron mencapai kolektor atau

$$i_C \approx -\alpha i_E \quad (9.2)$$

dimana $\alpha \approx 1$. Arus lain sebesar

$$i_E - (\alpha i_E) = i_E(1 - \alpha)$$

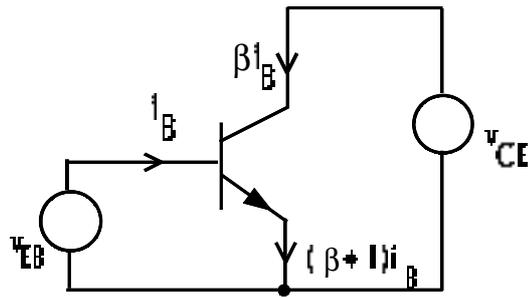
terlihat sebagai arus basis

$$\begin{aligned} i_B &= -i_E(1 - \alpha) \\ &= \frac{i_C}{\alpha} \\ &= \frac{i_C}{\beta} \end{aligned}$$

yaitu

$$i_C = \beta i_B \quad (9.3)$$

β disebut penguatan arus (*current gain*), dimana harganya akan sangat bervariasi dari satu transistor ke yang lain walaupun mempunyai seri dan tipe yang sama. β dapat berharga serendah 20 dan dapat berharga setinggi 2000, namun biasanya berharga sekitar 100-200.



Gambar 9.5 Konfigurasi emitor bersama

Untuk rangkaian transistor seperti terlihat pada gambar 9.5, kita melihat bahwa v_{EB} mengontrol arus emitor $(\beta + 1)i_B$, tetapi hanya mencatu arus basis i_B yang relatif rendah. Karena terminal emitor dipakai bersama oleh v_{EB} dan v_{CE} , maka rangkaian tersebut disebut konfigurasi emitor-bersama (*common-emitter configuration*).

Besarnya arus kolektor sepenuhnya tergantung pada tegangan kolektor, sepanjang sambungan kolektor-basis berpaanjang mundur. Karenanya arus i_C dapat ditempatkan pada resistor R_L menghasilkan tegangan $i_C R_L$ yang dapat berharga beberapa volt. Transistor dapat difungsikan untuk penguat arus, tegangan dan daya. Ini akan kita lihat lebih lanjut pada bagian selanjutnya.

Hubungan antara i_C dan v_{EB} dapat diukur dengan mudah sama seperti halnya hubungan antara i_E dan v_{EB} . Gambar 9.6 menunjukkan plot i_C dan v_{EB} untuk dua tipe transistor yang relatif murah dalam skala semilogaritmik (linier-logaritma). Nampak bahwa kedua transistor menunjukkan karakteristik eksponensial.

Perlu diperhatikan bahwa v_{EB} adalah tegangan dari emitor ke basis, yaitu

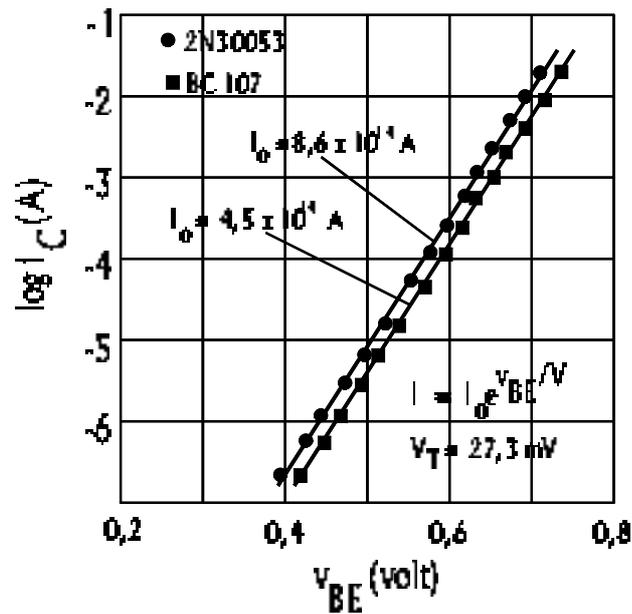
$$v_{EB} = v_E - v_B$$

hal yang sama untuk v_{BE} adalah tegangan dari basis ke emitor

$$v_{BE} = v_B - v_E$$

dan juga

$$v_{CE} = v_C - v_E$$



Gambar 9.6 Hubungan antara i_C dan v_{BE} untuk transistor jenis 2N3053 dan BC 107 dalam skala semilogaritmik.

Pada bab ini telah kita pelajari karakteristik dasar transistor, setidaknya beberapa hal penting berikut ini perlu untuk diingat:

- i) Arus emitor ditentukan oleh tegangan emitor-basis dan keduanya memiliki hubungan eksponensial.
- ii) Arus kolektor berharga hampir sama dengan arus emitor dan hampir tidak dipengaruhi oleh tegangan kolektor (jika $v_{CB} \geq 0$).
- iii) Arus basis merupakan fraksi kecil dari arus kolektor dengan faktor $\beta = i_C / i_B$, dimana β adalah merupakan konstanta untuk suatu transistor tertentu.