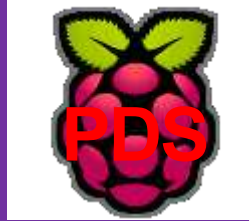




**Institut Teknologi
Del**

Jl. Sisingamangaraja
Sitoluama, Laguboti 22381
Toba Samosir – Sumatera Utara
<http://www.del.ac.id/>



Electronics Basic

7.2

Bipolar Junction Transistor (BJT)



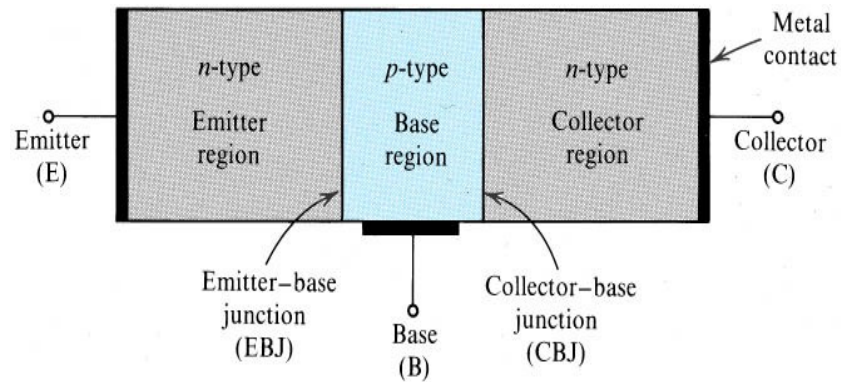
INSTITUT TEKNOLOGI DEL

Jl Sisingamangaraja, Tobasamosir (22381), Sumatera Utara, Indonesia
telp +62632331234, fax +626323311116, www.del.ac.id

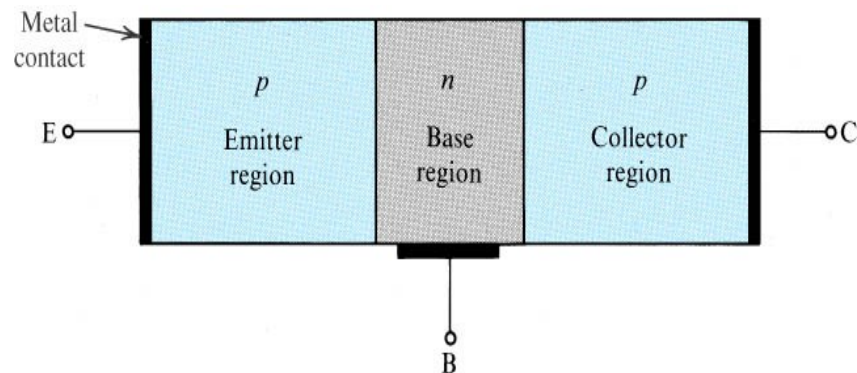


Struktur divais dan cara kerja fisik

Struktur yang Disederhanakan dan Mode Operasi



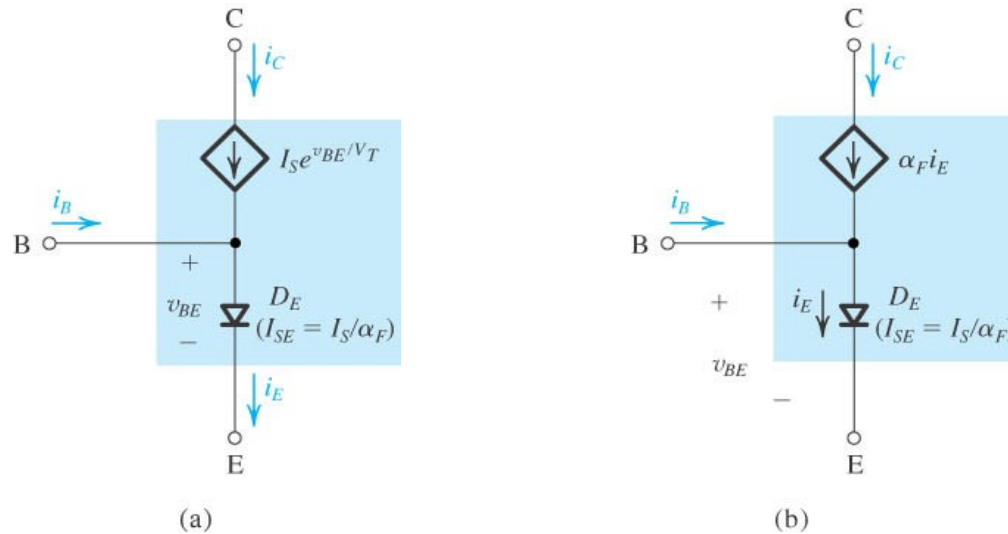
Gambar 1. Struktur sederhana transistor *npn*



Gambar 2. Struktur sederhana transistor *pnp*

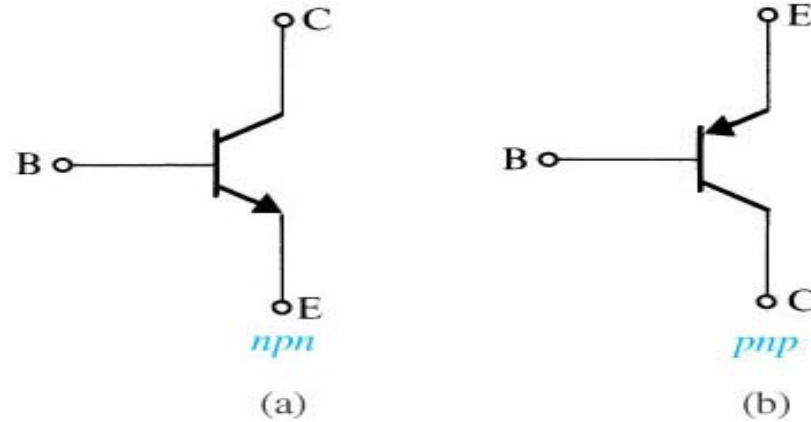
Mode kerja BJT

Mode	EBJ	CBJ
Cutoff	Reverse	Reverse
Active	Forward	Reverse
Reverse Active	Reverse	Forward
Saturation	Forward	Forward



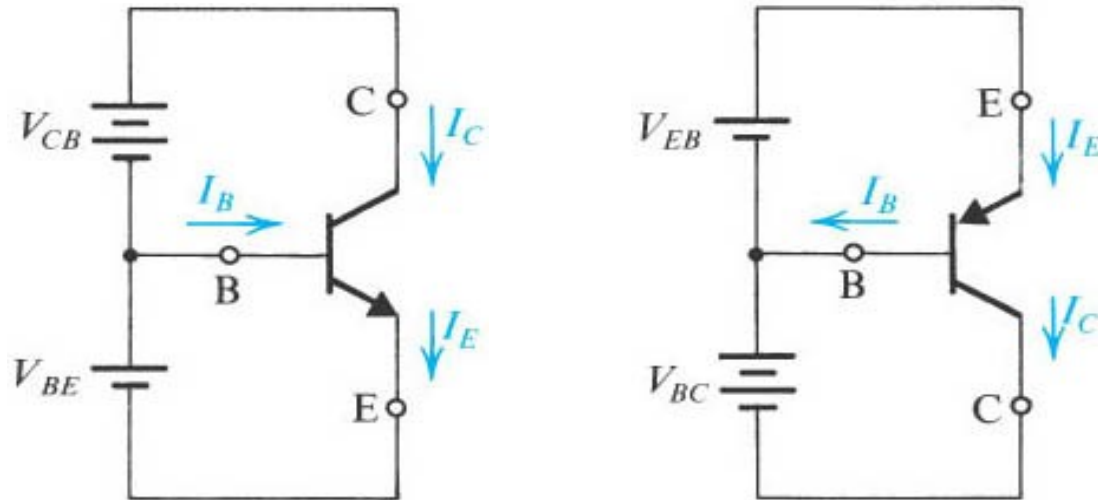
Gambar 3: Model rangkaian pengganti sinyal besar untuk BJT *npn* yang bekerja pada mode forward active.

Karakteristik Arus – Tegangan



Gambar 4: Simbol rangkaian BJT

Karakteristik Arus – Tegangan



Gambar 5: Polaritas tegangan dan aliran arus dalam transistor yang di bias dalam mode aktif

Ringkasan hubungan arus – tegangan dari BJT pada mode aktif

$$i_C = I_S e^{v_{BE}/V_T}$$

$$i_B = \frac{i_C}{\beta} = \left(\frac{I_S}{\beta} \right) e^{v_{BE}/V_T}$$

$$i_E = \frac{i_C}{\alpha} = \left(\frac{I_S}{\alpha} \right) e^{v_{BE}/V_T}$$

Catatan: untuk transistor *pnp*, gantilah v_{BE} dengan v_{EB}

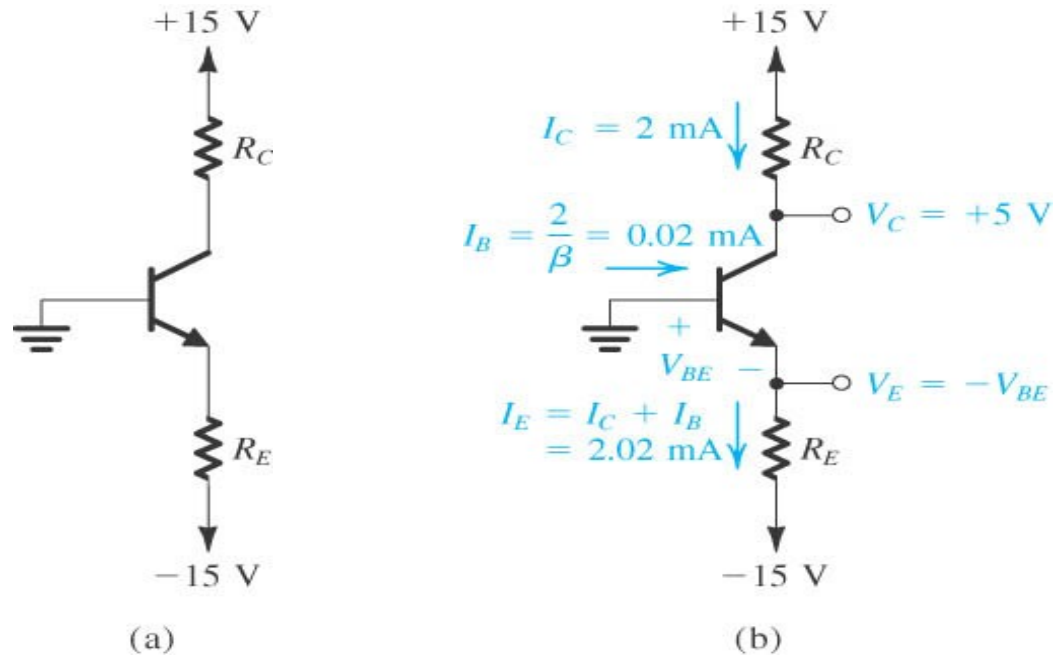
$$i_C = \alpha i_E \qquad i_B = (1 - \alpha) i_E = \frac{i_E}{\beta + 1}$$

$$i_C = \beta i_B \qquad i_E = (\beta + 1) i_B$$

$$\beta = \frac{\alpha}{\alpha - 1} \qquad \alpha = \frac{\beta}{\beta + 1}$$

V_T = tegangan termal = $kT/q \approx 25$ mV pada suhu kamar

Contoh soal 1:



Gambar 6: Rangkaian untuk contoh soal 1

Transistor pada gambar (6.a) mempunyai $\beta = 100$ dan $v_{BE} = 0,7\text{ V}$ pada $i_C = 1\text{ mA}$.

Rancanglah rangkaian sehingga arus 2 mA mengalir melalui collector dan tegangan pada collector = $+5\text{ V}$

Jawab:

$V_C = 5 \text{ V} \rightarrow$ CBJ reverse bias \rightarrow BJT pada mode aktif

$$V_C = 5 \text{ V} \rightarrow V_{RC} = 15 - 5 = 10 \text{ V}$$

$$I_C = 2 \text{ mA} \rightarrow R_C = 5 \text{ k}\Omega$$

$v_{BE} = 0,7 \text{ V}$ pada $i_C = 1 \text{ mA} \rightarrow$ harga v_{BE} pada $i_C = 2 \text{ mA}$:

$$V_{BE} = 0,7 + \ln\left(\frac{2}{1}\right) = 0,717 \text{ V}$$

$$V_B = 0 \text{ V} \rightarrow V_E = -0,717 \text{ V}$$

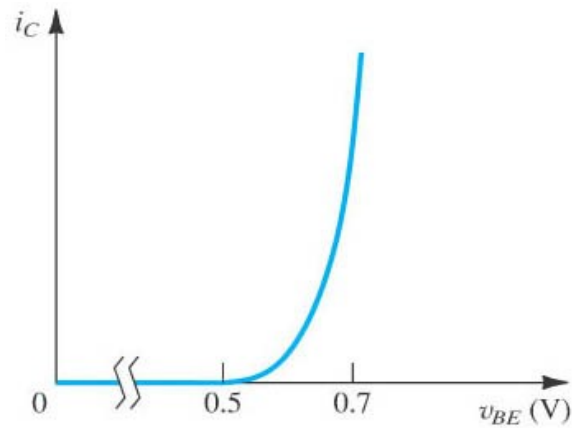
$$\beta = 100 \rightarrow \alpha = 100/101 = 0,99$$

$$I_E = \frac{I_C}{\alpha} = \frac{2}{0,99} = 2,02 \text{ mA}$$

Harga R_E diperoleh dari:

$$\begin{aligned} R_E &= \frac{V_E - (-15)}{I_E} \\ &= \frac{-0,717 + 15}{2,02} = 7,07 \text{ k}\Omega \end{aligned}$$

Tampilan Grafis dari Karakteristik Transistor



Gambar 7: Karakteristik $i_C - v_{BE}$ dari sebuah transistor *npn*

$$i_C = I_S e^{v_{BE}/V_T}$$

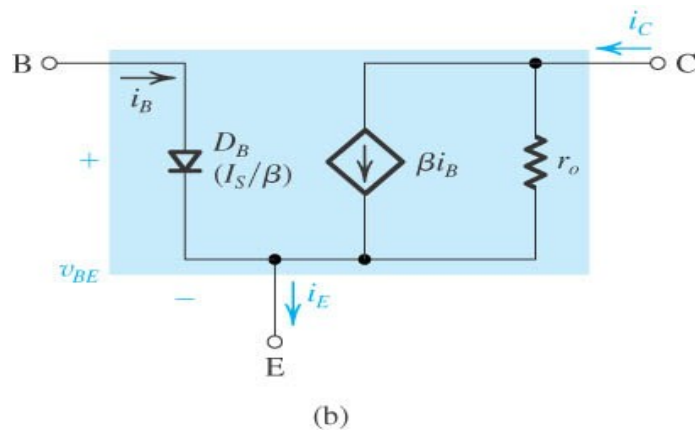
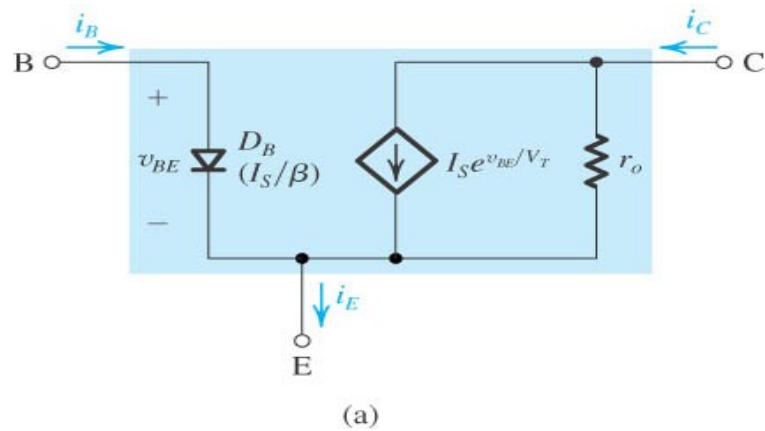
Karakteristik $i_C - v_{BE}$ identik dengan karakteristik $i - v$ pada dioda.

Karakteristik $i_E - v_{BE}$ dan $i_B - v_{BE}$ juga eksponensial dengan I_S yang berbeda: I_S/α untuk i_E dan I_S/β untuk i_B .

Karena konstanta dari karakteristik eksponensial, $1/V_T$, cukup tinggi (≈ 40), kurva meningkat sangat tajam.

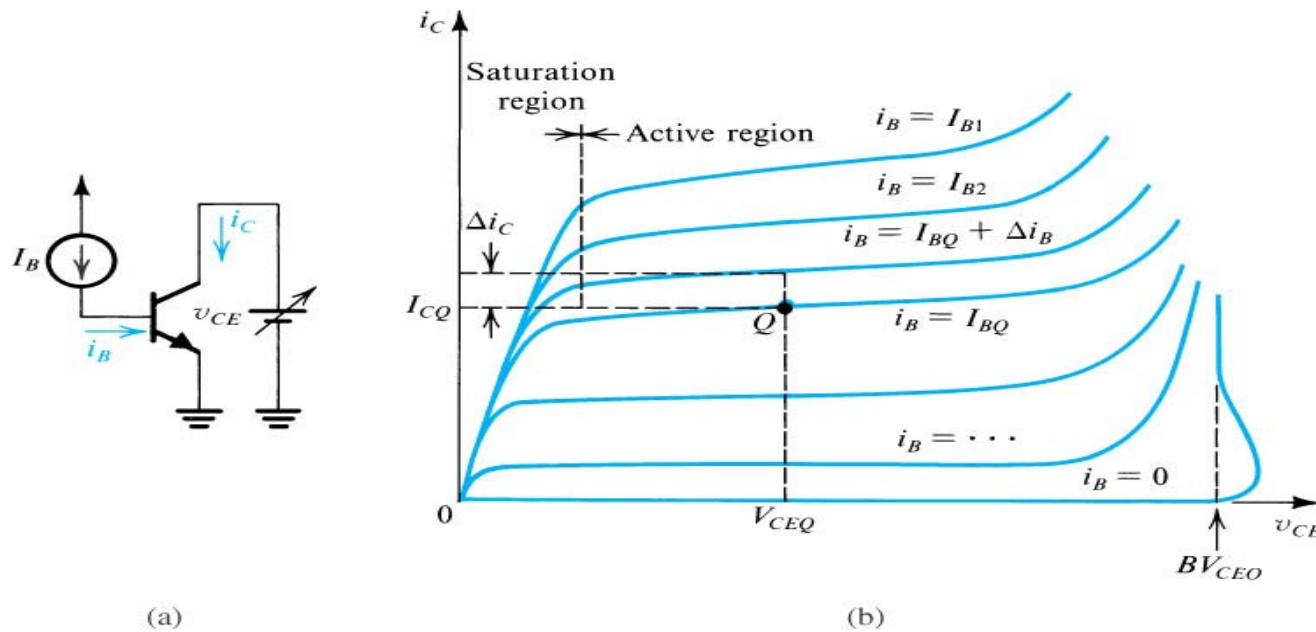
Untuk $v_{BE} < 0,5$ V, arus sangat kecil dan dapat diabaikan. Untuk harga arus normal, v_{BE} berkisar antara 0,6 V – 0,8 V. Untuk perhitungan awal, $v_{BE} = 0,7$ V.

Untuk transistor *pnp*, karakteristik $i_C - v_{BE}$ tampak identik, hanya v_{BE} diganti dengan v_{EB} .



Gambar 8: Model rangkaian pengganti sinyal besar dari BJT *npn* yang bekerja di daerah aktif dalam konfigurasi common-emitter.

Karakteristik Common-Emitter



Gambar 9: Karakteristik common-emitter

Penguatan arus common-emitter β .

β didefinisikan sebagai perbandingan antara total arus pada collector dan total arus pada base.

β mempunyai harga yang konstan untuk sebuah transistor, tidak tergantung dari kondisi kerja.

Pada gambar 9, sebuah transistor bekerja pada daerah aktif di titik Q yang mempunyai arus collector I_{CQ} , arus base I_{BQ} dan tegangan collector – emitter V_{CEQ} . Perbandingan arus collector dan arus base adalah β sinyal besar atau dc.

$$\beta_{dc} \equiv \frac{I_{CQ}}{I_{BQ}}$$

β_{dc} juga dikenal sebagai h_{FE} .

Pada gambar 9 terlihat, dengan tegangan v_{CE} tetap perubahan i_B dari I_{BQ} menjadi $(I_{BQ} + \Delta i_B)$ menghasilkan kenaikan pada i_C dari I_{CQ} menjadi $(I_{CQ} + \Delta i_C)$

$$\beta_{ac} \equiv \left. \frac{\Delta i_C}{\Delta i_B} \right|_{v_{CE} = \text{konstan}}$$

β_{ac} disebut β 'incremental'.

β_{ac} dan β_{dc} biasanya berbeda kira-kira 10% – 20%.

β_{ac} disebut juga β sinyal kecil yang dikenal juga dengan h_{fe} .

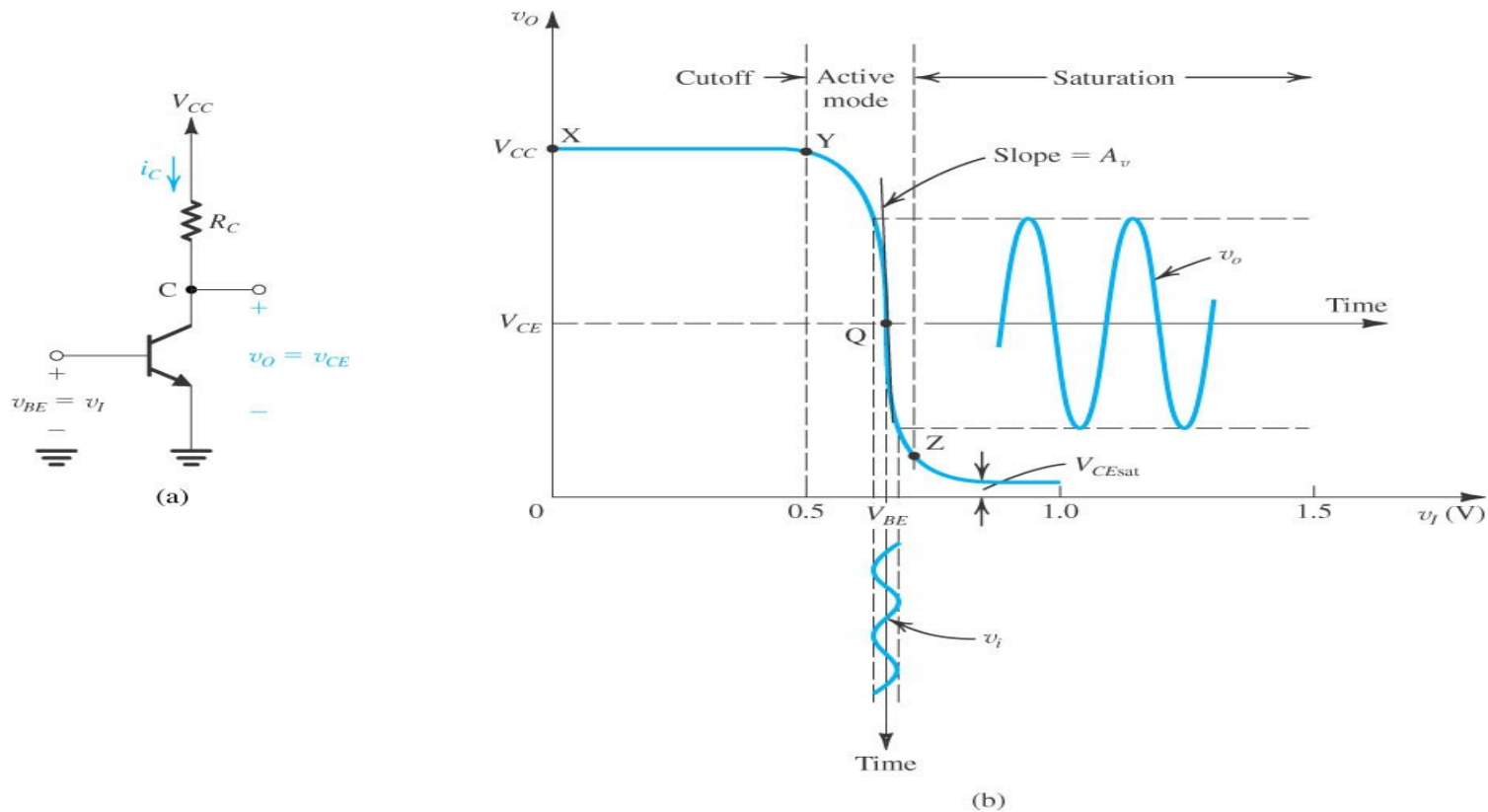
β sinyal kecil didefinisikan dan diukur pada v_{CE} konstan, artinya tidak ada komponen sinyal antara collector dan emitter, sehingga dikenal juga sebagai penguatan arus hubung singkat common-emitter

BJT sebagai Penguat dan sebagai Saklar

Pemakaian BJT:

- sebagai penguat:
 - BJT bekerja pada mode aktif.
 - BJT berperan sebagai sebuah sumber arus yang dikendalikan oleh tegangan (VCCS).
 - Perubahan pada tegangan base-emitter, v_{BE} , akan menyebabkan perubahan pada arus collector, i_C .
 - BJT dipakai untuk membuat sebuah penguatan transkonduktansi.
 - Penguatan tegangan dapat diperoleh dengan melakukan arus collector ke sebuah resistansi, R_C .
 - Agar penguat menjadi penguat linier, transistor harus diberi bias, dan sinyal akan ditumpangkan pada tegangan bias dan sinyal yang akan diperkuat harus dijaga tetap kecil
- sebagai saklar
 - BJT bekerja pada mode cutoff dan mode jenuh

Cara kerja sinyal besar – Karakteristik Transfer



Gambar 10. (a) Rangkaian dasar penguat common – emitter
(b) Karakteristik transfer dari rangkaian (a)

Rangkaian dasar penguat common-emitter terlihat pada gambar 10.

- Tegangan masukan total v_i (bias + sinyal) dipasang di antara base dan emitter (ground)
- Tegangan keluaran total v_o (bias + sinyal) diambil di antara collector dan emitter (ground)
- Resistor R_C mempunyai 2 fungsi:
 - Untuk menentukan bias yang diinginkan pada collector
 - Mengubah arus collector, i_C , menjadi tegangan keluaran v_{OC} atau v_o
- Tegangan catu V_{CC} diperlukan untuk memberi bias pada BJT dan untuk mencatu daya yang diperlukan untuk kerja penguat.

Karakteristik transfer tegangan dari rangkaian CE terlihat pada gambar 10(b).

$$v_o = v_{CE} = V_{CC} - R_C i_C$$

$v_I = v_{BE} < 0,5 \text{ V} \rightarrow$ transistor cutoff.

$0 < v_I < 0,5 \text{ V}$, i_C kecil sekali, dan v_O akan sama dengan tegangan catu V_{CC} (segmen XY pada kurva)

- $v_I > 0,5 \text{ V} \rightarrow$ transistor mulai aktif, i_C naik, v_O turun.
- Nilai awal v_O tinggi, BJT bekerja pada mode aktif yang menyebabkan penurunan yang tajam pada kurva karakteristik transfer tegangan (segmen YZ), Pada segmen ini:

$$i_C \cong I_S e^{v_{EB}/V_T}$$

$$= I_S e^{v_I/V_T}$$

$$v_O = V_{CC} - R_C I_S e^{v_I/V_T}$$

Mode aktif berakhir ketika $v_O = v_{CE}$ turun sampai 0,4 V di bawah tegangan base (v_{BE} atau v_I) \rightarrow CBJ 'on' dan transistor memasuki mode jenuh (lihat titik Z pada kurva).

Pada daerah jenuh kenaikan v_{BE} menyebabkan v_{CE} turun sedikit saja. $v_{CE} = V_{CEsat}$ berkisar antara 0,1 – 0,2 V. I_{Csat} juga konstan pada harga:

$$I_{Csat} = \frac{V_{CC} - V_{CEsat}}{R_C}$$

Pada daerah jenuh, BJT menunjukkan resistansi yang rendah, R_{CEsat} antara collector dan emitter. Jadi ada jalur yang mempunyai resistansi rendah antara collector dan ground, sehingga dapat dianggap sebagai saklar tertutup.

Sedangkan ketika BJT dalam keadaan cut off, arus sangat kecil (idealnya nol), jadi beraksi seperti saklar terbuka, memutus hubungan antara collector dan ground.

Jadi keadaan saklar ditentukan oleh harga tegangan kendali v_{BE} .

Penguatan Penguat.

Agar BJT bekerja sebagai penguat, maka harus diberi bias pada daerah aktif yang ditentukan oleh tegangan dc base – emitter V_{BE} dan tegangan dc collector – emitter V_{CE} . Arus collector I_C pada keadaan ini:

$$I_C = I_S e^{V_{BE}/V_T}$$

$$V_{CE} = V_{CC} - R_C I_C$$

Jika sinyal v_i akan diperkuat, sinyal ini ditumpangankan pada V_{BE} dan harus dijaga kecil (lihat gambar 10(b)) agar tetap pada segmen yang linier dari kurva transfer di sekitar titik bias Q.

Koefiesin arah dari segmen linier ini sama dengan penguatan tegangan dari penguat untuk sinyal kecil di sekitar titik Q.

Penguatan sinyal kecil A_v :

$$v_o = V_{CC} - R_C I_S e^{v_i/V_T}$$

$$A_v \equiv \left. \frac{dv_o}{dv_i} \right|_{v_i = V_{BE}}$$

$$A_v = -\frac{1}{V_T} I_S e^{V_{BE}/V_T} R_C$$

$$A_v = -\frac{I_C R_C}{V_T} = -\frac{V_{RC}}{V_T}$$

$$V_{RC} = V_{CC} - V_{CE}$$

Perhatikan:

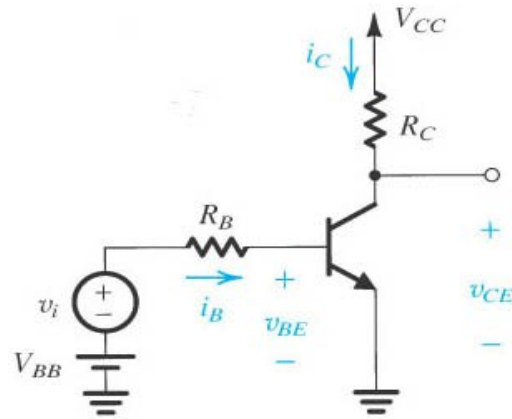
- penguat CE: inverting, artinya sinyal keluaran berbeda 180° dengan sinyal masukan.
- penguatan tegangan dari penguat CE adalah perbandingan antara penurunan tegangan pada R_C dengan tegangan termal V_T .
- untuk memaksimalkan penguatan tegangan, penurunan tegangan pada R_C harus sebesar mungkin, artinya untuk harga V_{CC} tertentu penguatan harus bekerja pada V_{CE} yang lebih rendah.

Contoh soal 2

Sebuah rangkaian CE menggunakan sebuah BJT yang mempunyai $I_S = 10^{-15}$ A, sebuah resistansi collector $R_C = 6,8$ k Ω dan catu daya $V_{CC} = 10$ V.

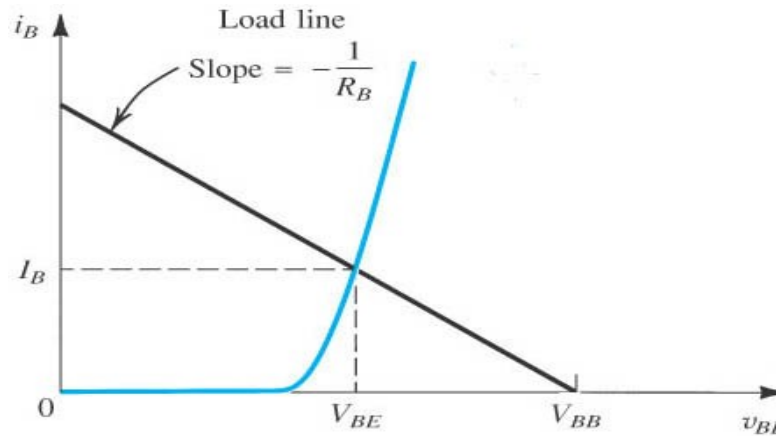
- Tentukan harga tegangan bias V_{BE} yang diperlukan untuk mengoperasikan transistor pada $V_{CE} = 3,2$ V. Berapakah harga I_C nya?
- Carilah penguatan tegangan A_v pada titik bias. Jika sebuah sinyal masukan sinusoida dengan amplitudo 5 mV ditumpangkan pada V_{BE} , carilah amplitudo sinyal keluaran sinusoida.
- Carilah kenaikan positif v_{BE} (di atas V_{BE}) yang mendorong transistor ke daerah jenuh, dimana $v_{CE} = 0,3$ V.
- Carilah kenaikan negatif v_{BE} yang mendorong transistor ke daerah 1% cut off ($v_O = 0,99 V_{CC}$)

Analisis Grafis



Gambar 11 Rangkaian yang akan dianalisa secara grafis

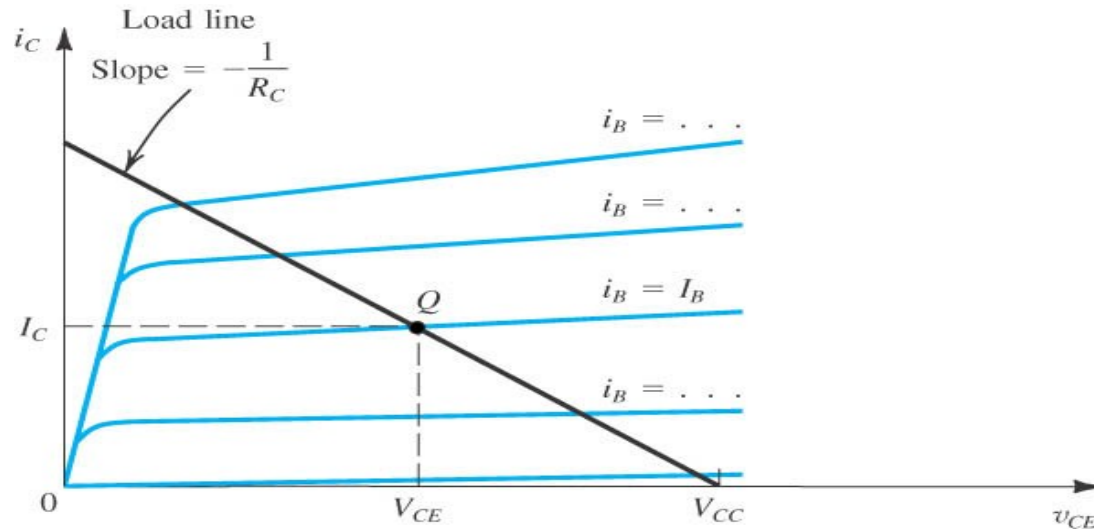
Perhatikan gambar 11 yang mirip dengan rangkaian terdahulu hanya ada tambahan resistansi pada base, R_B .



Gambar 12. Konstruksi grafis untuk menentukan arus dc base pada rangkaian di gambar 11

Analisis grafis dilakukan sebagai berikut:

1. Tentukan titik bias dc; set $v_i = 0$ dan gunakan cara seperti pada gambar 12 untuk menentukan arus dc pada base I_B .
2. Gunakan karakteristik $i_C - v_{CE}$ seperti yang terlihat pada gambar 13. Titik kerja akan terletak pada kurva $i_C - v_{CE}$ yang mempunyai arus base yang diperoleh ($i_B = I_B$)

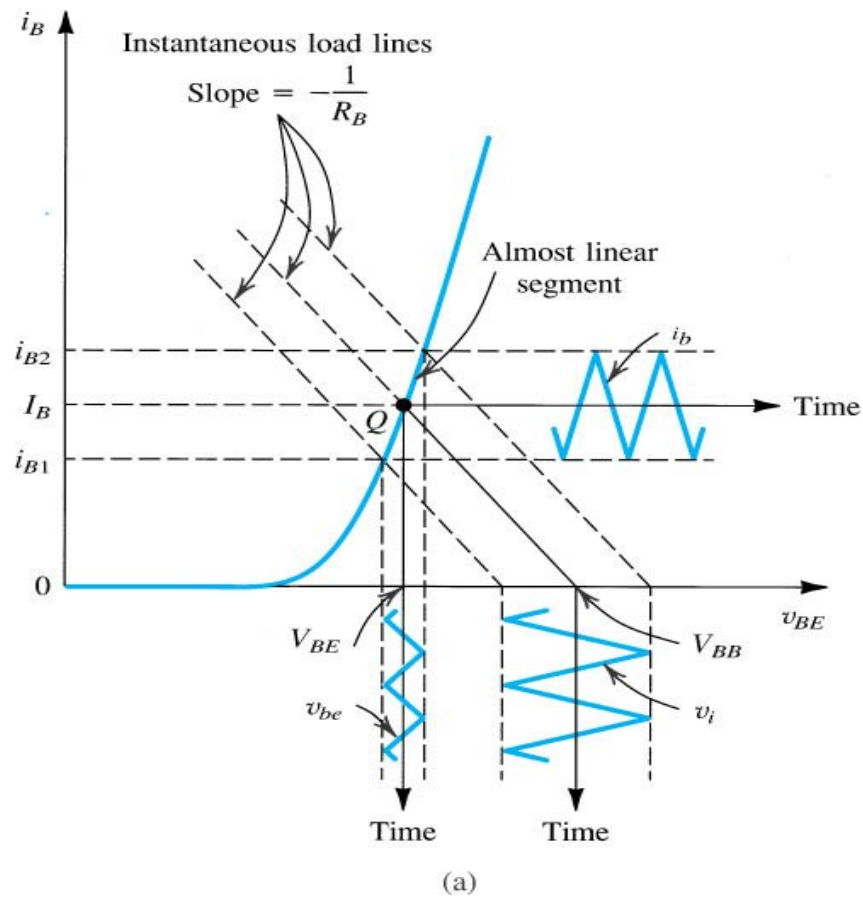


Gambar 13. Konstruksi grafis untuk menentukan arus dc collector I_C dan tegangan collector–emitter V_{CE} pada rangkaian pada gambar 11

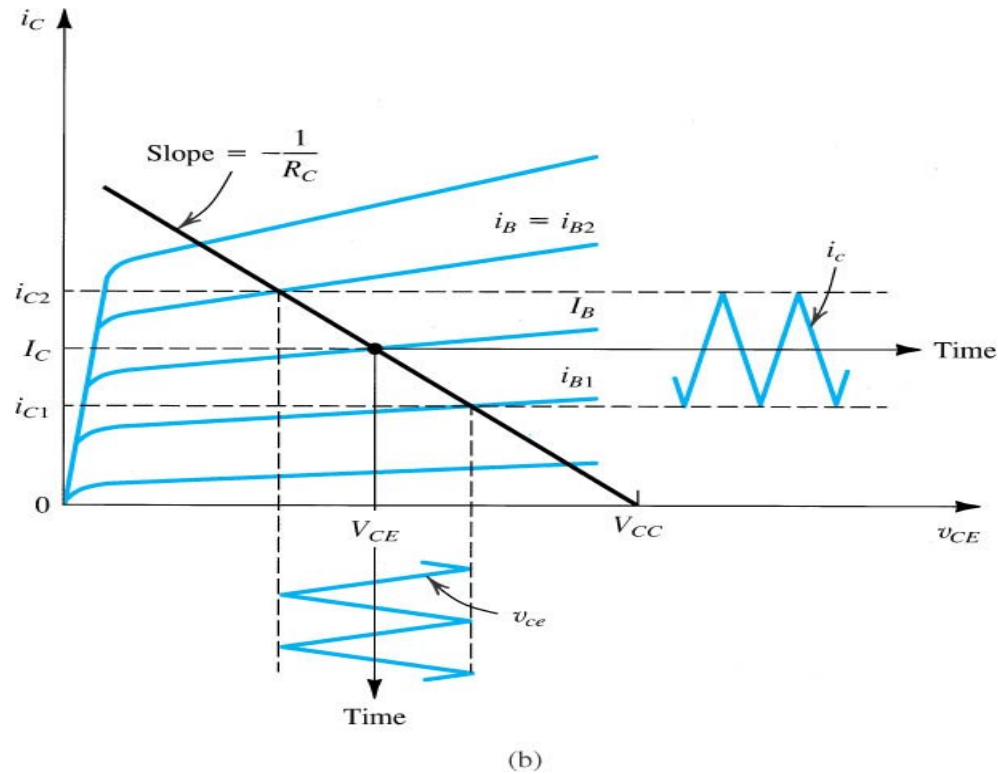
$$v_{CE} = V_{CC} - i_C R_C$$

$$i_C = \frac{V_{CC}}{R_C} - \frac{1}{R_C} v_{CE}$$

Hubungan di atas adalah hubungan linier yang digambarkan dengan sebuah garis lurus seperti pada gambar 12. Garis ini dikenal dengan garis beban.



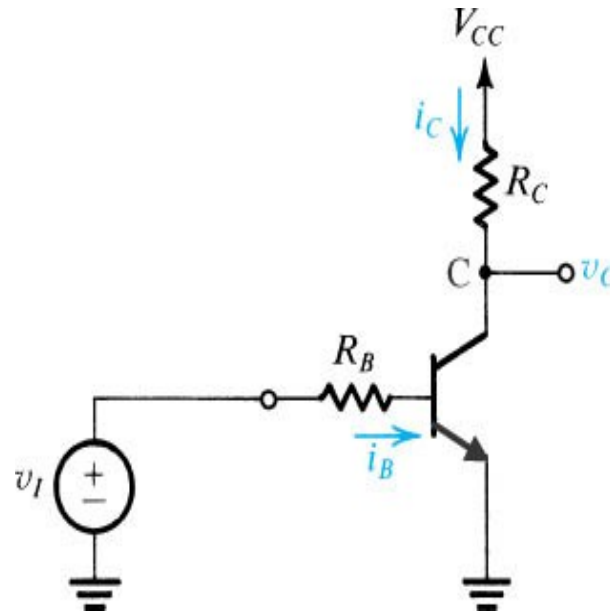
Gambar 14 (a). Penentuan grafis komponen sinyal v_{be} dan i_b ketika komponen sinyal v_i ditumpangkan pada tegangan dc V_{BB} .



Gambar 14 (b). Penentuan grafis komponen sinyal v_{ce} dan i_c ketika komponen sinyal v_i ditumpangkan pada tegangan dc V_{BB} .

Cara kerja sebagai saklar.

BJT bekerja sebagai saklar: gunakan mode cut off dan mode jenuh.



Gambar 16: Rangkaian sederhana yang digunakan untuk menunjukkan mode operasi yang berbeda dari BJT.

Harga masukan v_I bervariasi.

$v_I < 0,5 \text{ V} \rightarrow i_B = 0, i_C = 0$ dan $v_C = V_{CC} \rightarrow$ simpul C terputus dari ground \rightarrow saklar dalam keadaan terbuka.

$v_I > 0,5 \text{ V} \rightarrow$ transistor 'on'. Pada kenyataannya agar arus mengalir, v_{BE} harus sama dengan $0,7 \text{ V}$, dan v_I harus lebih tinggi

Arus base akan menjadi:

$$i_B = \frac{v_I - V_{BE}}{R_B}$$

Dan arus collector menjadi:

$$i_C = \beta i_B$$

Persamaan ini hanya berlaku untuk daerah aktif artinya CBJ tidak forward bias atau $v_C > v_B - 0,4 \text{ V}$.

$$v_C = V_{CC} - R_C i_C$$

Jika v_I naik, i_B akan naik, dan i_C akan naik juga, Akibatnya v_{CE} akan turun. Jika v_{CE} turun sampai $v_B - 0,4\text{V}$, transistor akan meninggalkan daerah aktif dan memasuki daerah jenuh. Titik 'edge-of-saturation' (EOS) ini didefinisikan:

$$I_{C(EOS)} = \frac{V_{CC} - 0,3}{R_C}$$

Dengan asumsi $V_{BE} \approx 0,7 \text{ V}$ dan

$$I_{B(EOS)} = \frac{I_{C(EOS)}}{\beta}$$

Harga v_i yang diperlukan untuk mendorong transistor ke EOS dapat ditentukan dengan persamaan:

$$V_{I(EOS)} = I_{B(EOS)} R_B + V_{BE}$$

Menaikkan $v_i > V_{I(EOS)} \rightarrow$ menaikkan arus base yang akan mendorong transistor ke daerah jenuh yang semakin dalam. V_{CE} akan sedikit menurun.

Asumsikan untuk transistor dalam keadaan jenuh, $V_{CEsat} \approx 0,2 \text{ V}$. Arus collector akan tetap konstan pada I_{Csat}

$$I_{Csat} = \frac{V_{CC} - V_{CEsat}}{R_C}$$

Memaksakan lebih banyak arus pada base mempunyai pengaruh yang kecil pada I_{CEsat} dan V_{CEsat} . Pada keadaan ini saklar tertutup dengan resistansi R_{CEsat} yang rendah dan tegangan offset V_{CEsat} yang rendah.

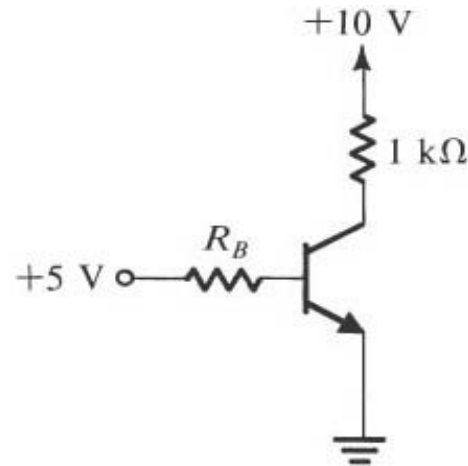
Pada keadaan jenuh, transistor dapat dipaksa bekerja pada harga β yang diinginkan yang lebih rendah harga normal.

$$\beta_{forced} \cong \frac{I_{CEsat}}{I_B}$$

Perbandingan antara I_B dan $I_{B(EOS)}$ disebut faktor 'overdrive'

Contoh soal 3:

Transistor pada gambar 17 mempunyai β berkisar antara 50 – 150. Carilah harga R_B yang menyebabkan transistor pada keadaan jenuh dengan faktor 'overdrive' lebih besar dari 10.



Gambar 17

Jawab:

Transistor dalam keadaan jenuh, tegangan collector:

$$V_C = V_{CEsat} \approx 0,2 \text{ V}$$

Arus collector:

$$I_{Csat} = \frac{+10 - 0,2}{1} = 9,8 \text{ mA}$$

Untuk membuat transistor jenuh dengan β yang paling rendah, diperlukan arus base paling sedikit:

$$I_{B(EOS)} = \frac{I_{Csat}}{\beta_{min}} = \frac{9,8}{50} = 0,196 \text{ mA}$$

Untuk faktor 'overdrive' = 10, arus base harus:

$$I_B = 10 \times 0,196 = 1,96 \text{ mA}$$

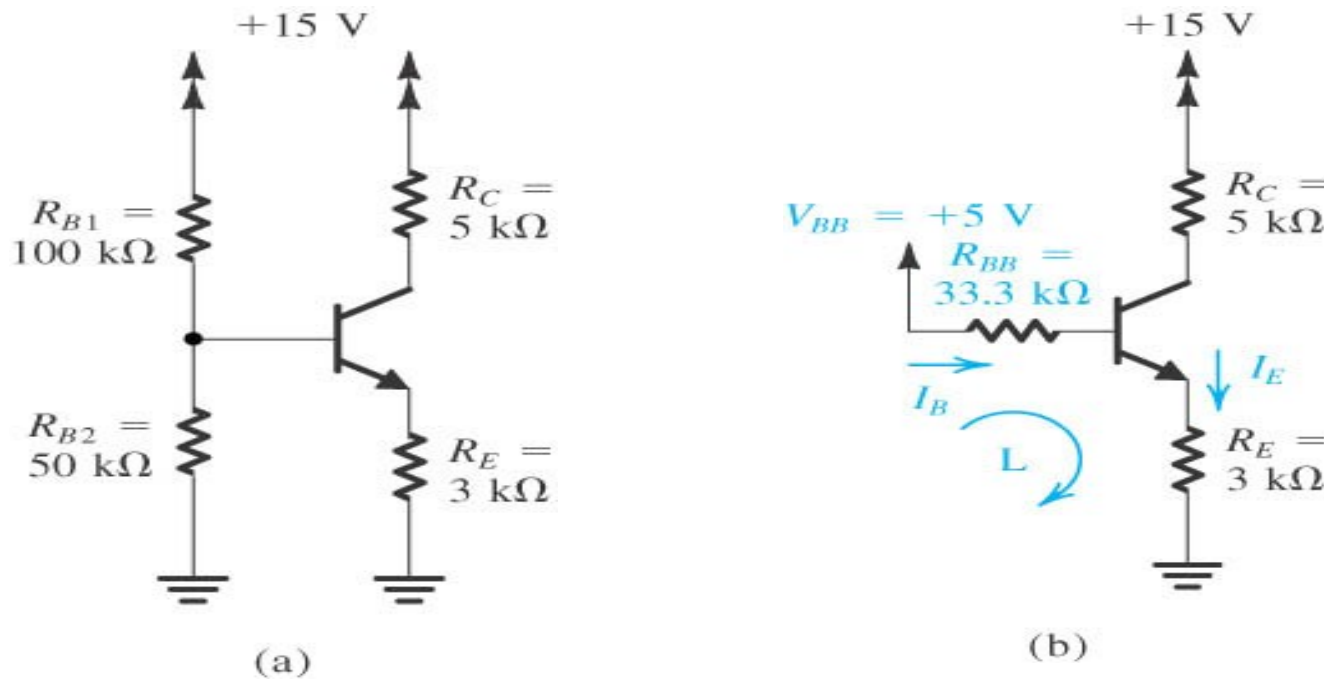
Jadi R_B yang diperlukan:

$$\frac{+5 - 0,7}{R_B} = 1,96$$

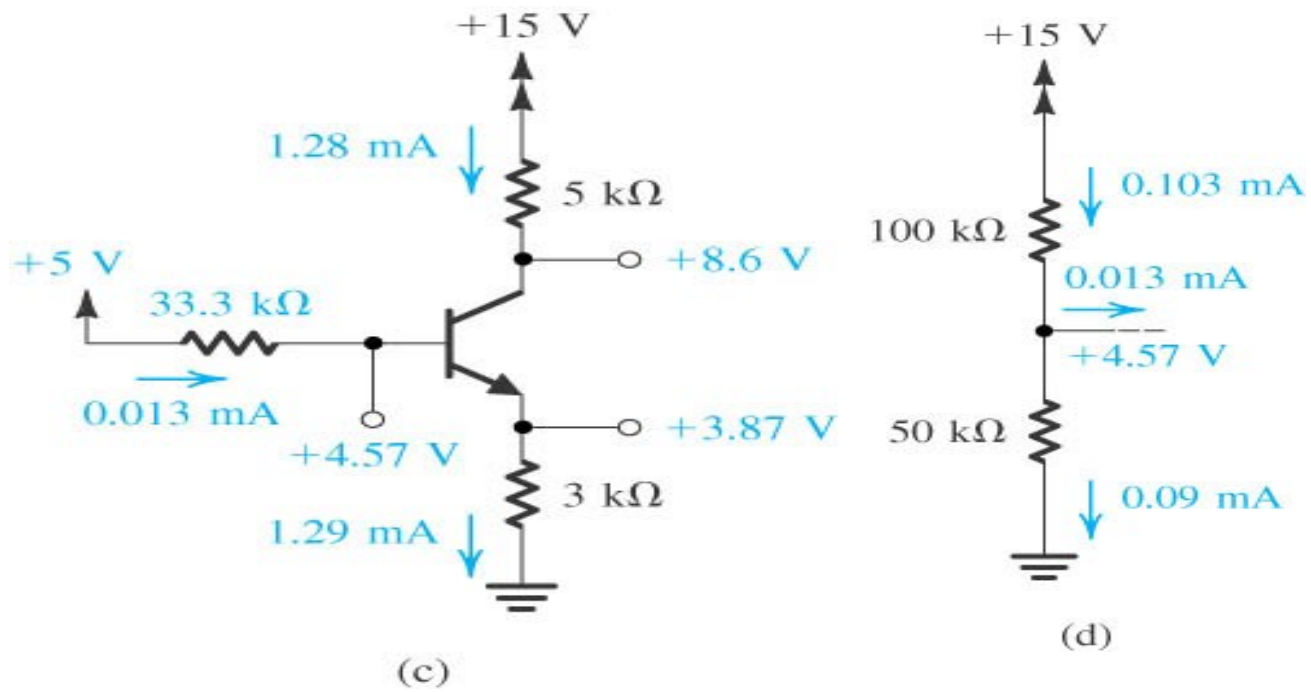
$$R_B = \frac{4,3}{1,94} = 2,2 \text{ k}\Omega$$

Contoh soal 4:

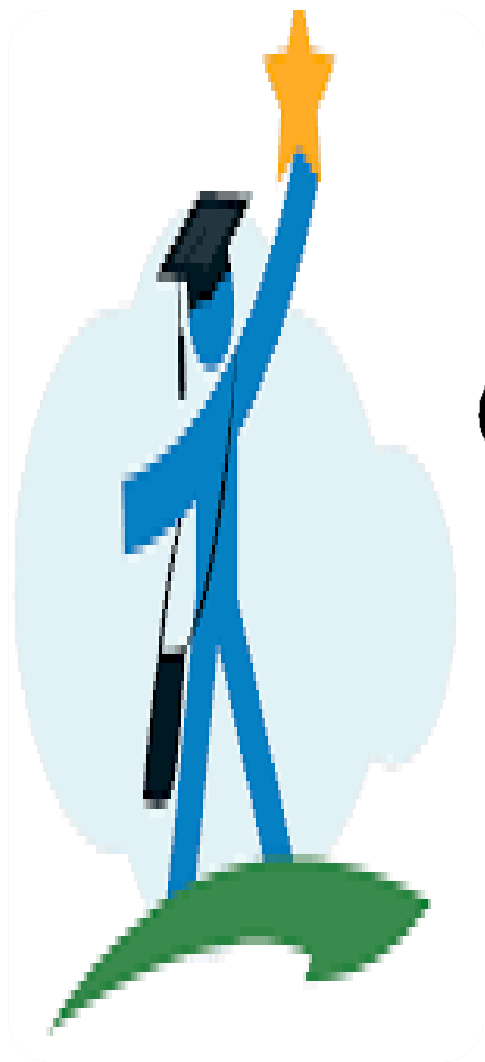
Tentukan harga tegangan pada semua simpul dan arus pada semua cabang. Asumsikan $\beta = 100$



Gambar 18



Gambar 18



Thanks!

A small, simple cartoon character with a round face, a wide smile, and two raised hands, appearing to be jumping or cheering. It is positioned below the word "Thanks!".