

# ELEKTRONIKA DASAR

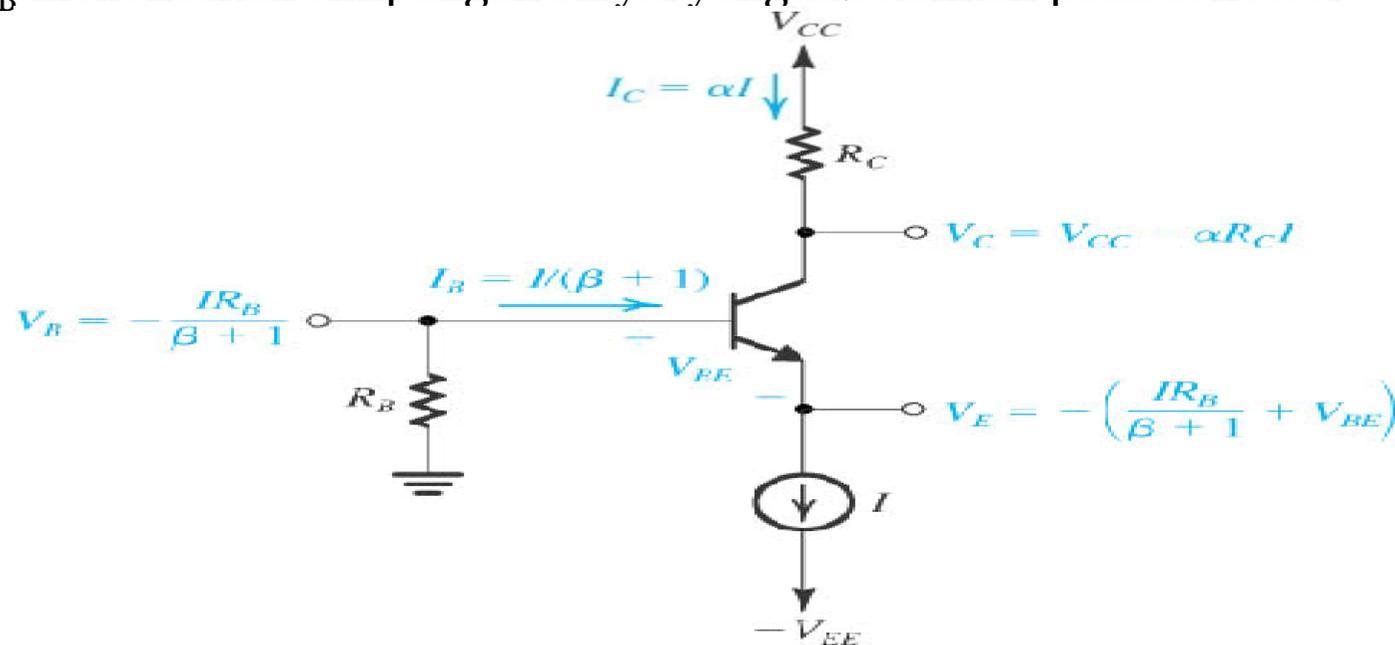
*Petemuan Ke-9*  
*Pemodelan BJT*

ALFITH, S.Pd,M.Pd

## Penguat BJT satu tingkat

### Struktur dasar

Gambar menunjukkan rangkaian dasar penguat BJT dengan pemberian bias dengan arus yang konstan. Yang perlu diperhatikan adalah memilih  $R_B$  yang besar untuk menjaga resistansi masukan pada base yang besar. Tetapi penurunan tegangan dan pengaruh  $\beta$  pada  $R_B$  harus dibatasi. Tegangan dc  $V_B$  menentukan simpangan sinyal yang dibolehkan pada collector.

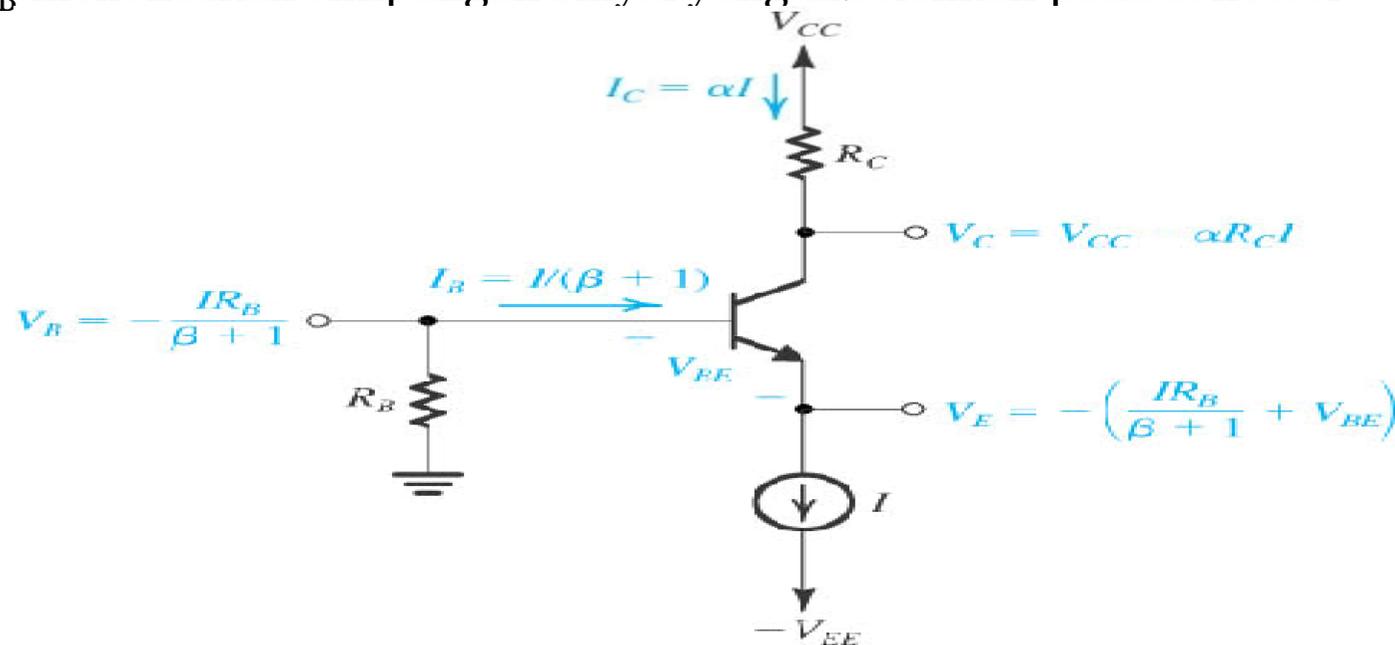


Gambar 59. Struktur dasar rangkaian yang dipakai untuk merealisasikan penguat BJT diskrit satu tingkat.

## Penguat BJT satu tingkat

### Struktur dasar

Gambar menunjukkan rangkaian dasar penguat BJT dengan pemberian bias dengan arus yang konstan. Yang perlu diperhatikan adalah memilih  $R_B$  yang besar untuk menjaga resistansi masukan pada base yang besar. Tetapi penurunan tegangan dan pengaruh  $\beta$  pada  $R_B$  harus dibatasi. Tegangan dc  $V_B$  menentukan simpangan sinyal yang dibolehkan pada collector.

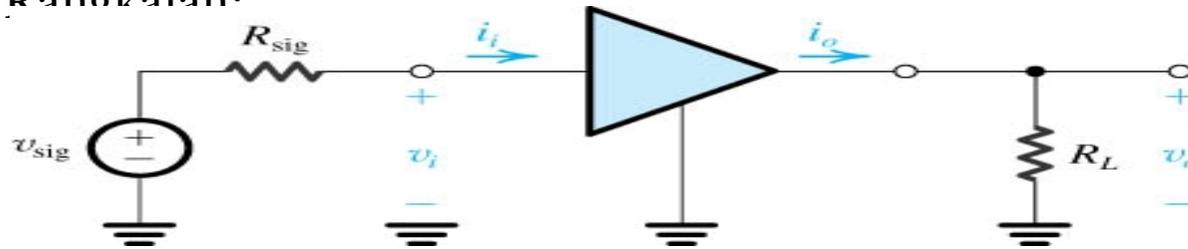


Gambar 59. Struktur dasar rangkaian yang dipakai untuk merealisasikan penguat BJT diskrit satu tingkat.

## Karakterisasi Penguat BJT

Tabel 5. Parameter karakteristik penguat

Rangkaian:



Definisi:

Resistansi masukan tanpa beban:

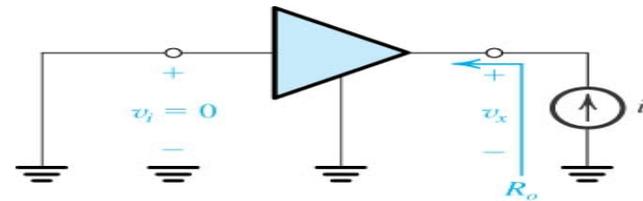
$$R_{i_0} \equiv \left. \frac{v_i}{i_i} \right|_{R_L = \infty}$$

Resistansi masukan:

$$R_{in} \equiv \frac{v_i}{i_i}$$

## Resistansi keluaran

$$R_{out} \equiv \left. \frac{V_x}{i_x} \right|_{V_{sig} = 0}$$



## Penguatan tegangan hubung terbuka

$$A_{vo} \equiv \left. \frac{V_o}{V_i} \right|_{R_L = \infty}$$

## Penguatan tegangan

$$A_v \equiv \frac{V_o}{V_i}$$

## Penguatan arus hubung singkat

$$A_{is} \equiv \left. \frac{i_o}{i_i} \right|_{R_L = 0}$$

## Penguatan arus

$$A_i \equiv \frac{i_o}{i_i}$$

Penguatan tegangan menyeluruh hubung terbuka

$$G_{v_o} \equiv \left. \frac{V_o}{V_{sig}} \right|_{R_L = \infty}$$

Penguatan tegangan menyeluruh

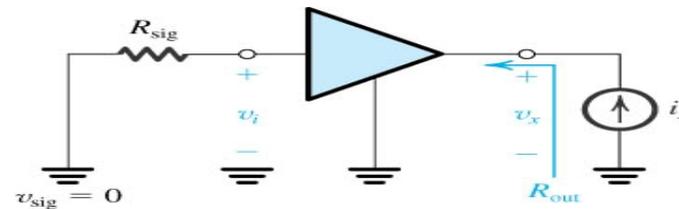
$$G_v \equiv \frac{V_o}{V_{sig}}$$

Transkonduktansi hubung singkat

$$G_m \equiv \left. \frac{i_o}{V_i} \right|_{R_L = 0}$$

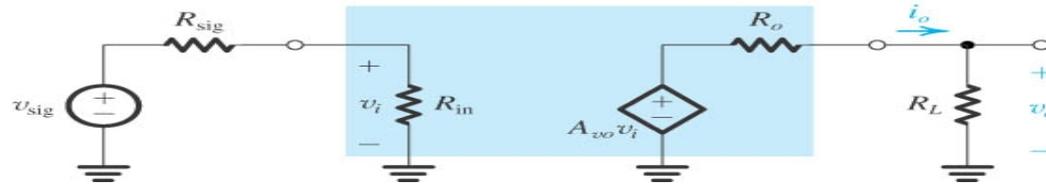
Resistansi keluaran penguat 'proper'

$$R_o \equiv \left. \frac{V_x}{i_x} \right|_{v_i = 0}$$

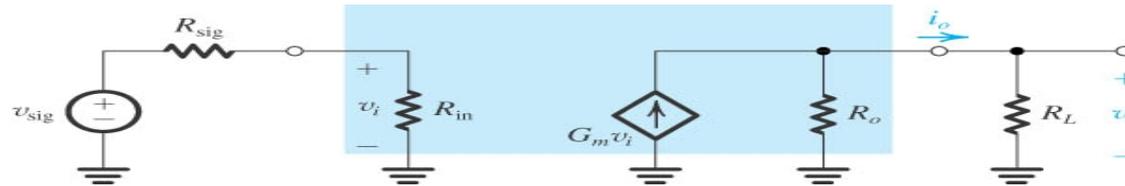


## Rangkaian ekivalen

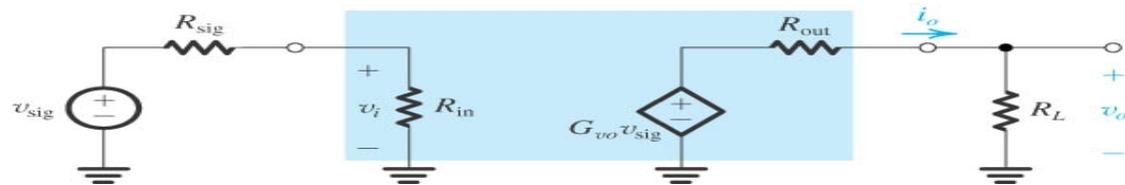
A.



B



C



Persamaan:

$$\frac{v_i}{v_{sig}} = \frac{R_{in}}{R_{in} + R_{sig}}$$

$$A_v = A_{vo} \frac{R_L}{R_L + R_o}$$

$$A_{vo} = G_m R_o$$

$$G_v = \frac{R_{in}}{R_{in} + R_{sig}} A_{vo} \frac{R_L}{R_L + R_o}$$

$$G_{vo} = \frac{R_{in}}{R_{in} + R_{sig}} A_{vo}$$

$$G_v = G_{vo} \frac{R_L}{R_L + R_o}$$

Contoh soal 17:

Sebuah penguat transistor dicatu oleh sebuah sumber sinyal yang mempunyai tegangan hubung terbuka  $v_{sig} = 10$  mV dan mempunyai resistansi dalam  $R_{sig} = 100$  k $\Omega$ . Tegangan  $v_i$  pada masukan penguat dan tegangan keluaran  $v_o$  diukur tanpa dan dengan resistansi beban  $R_L = 10$  k $\Omega$  yang dihubungkan pada keluaran penguat. Hasil pengukuran itu adalah sebagai berikut:

	$v_i$ (mV)	$v_o$ (mV)
Tanpa $R_L$	9	90
Dengan $R_L$ terhubung	8	70

Carilah parameter penguat.

Jawab:

Dengan data  $R_L = \infty$ , tentukan  $A_{vo}$  dan  $G_{vo}$

$$A_{vo} = \frac{90}{9} = 10 \text{ V/V}$$

$$G_{vo} = \frac{90}{10} = 9 \text{ V/V}$$

$$G_{vo} = \frac{R_i}{R_i + R_{sig}} A_{vo}$$

$$9 = \frac{R_i}{R_i + 10} \times 10$$

$$R_i = 900 \text{ k}\Omega$$

Dengan menggunakan data  $R_L = 10 \text{ k}\Omega$  tentukan  $A_v$  dan  $G_v$

$$A_v = \frac{70}{8} = 8,75 \text{ V/V}$$

$$G_v = \frac{70}{10} = 7 \text{ V/V}$$

Harga  $A_v$  dan  $A_{vo}$  dapat dipakai untuk menentukan  $R_o$

$$A_v = A_{vo} \frac{R_L}{R_L + R_o}$$

$$8,75 = 10 \frac{10}{10 + R_o}$$

$$R_o = 1,43 \text{ k}\Omega$$

Harga  $G_v$  dan  $G_{vo}$  dapat dipakai untuk menentukan  $R_{out}$

$$G_v = G_{vo} \frac{R_L}{R_L + R_{out}}$$

$$7 = 9 \frac{10}{10 + R_{out}}$$

$$R_{out} = 2,86 \text{ k}\Omega$$

Harga  $R_{in}$  dapat ditentukan dari

$$\frac{V_i}{V_{sig}} = \frac{R_{in}}{R_{in} + R_{sig}}$$

$$\frac{8}{10} = \frac{R_{in}}{R_{in} + 100}$$

$$R_{in} = 400 \quad \text{k} \Omega$$

Transkonduktansi hubung singkat  $G_m$  dapat dihitung seperti berikut

$$G_m = \frac{A_{vo}}{R_o} = \frac{10}{1,43} = 7 \quad \text{mA/V}$$

Penguatan arus  $A_i$  dapat ditentukan sebagai berikut:

$$A_i = \frac{V_o / R_L}{V_i / R_{in}} = \frac{V_o}{V_i} \frac{R_{in}}{R_L}$$

$$= A_v \frac{R_{in}}{R_L} = 8,75 \times \frac{400}{10} = 350 \quad \text{A/A}$$

Penguatan arus hubung singkat dapat ditentukan sebagai berikut. Dari rangkaian ekuivalen A, arus keluaran hubung singkat adalah

$$i_{osc} = A_{vo} v_i / R_o$$

Untuk menentukan  $v_i$  perlu diketahui harga  $R_{in}$  yang diperoleh dengan  $R_L = 0$ . Dari rangkaian pengganti C, arus keluaran hubung singkat adalah:

$$i_{osc} = G_{vo} v_{sig} / R_{out}$$

Dari kedua persamaan untuk  $i_{osc}$  dan ganti  $G_{ov}$  dengan:

$$G_{vo} = \frac{R_i}{R_i + R_{sig}} A_{vo}$$

Dan  $v_i$  dengan

$$v_i = v_{sig} \frac{R_{in} |_{R_L=0}}{R_{in} |_{R_L=0} + R_{sig}}$$

Maka:

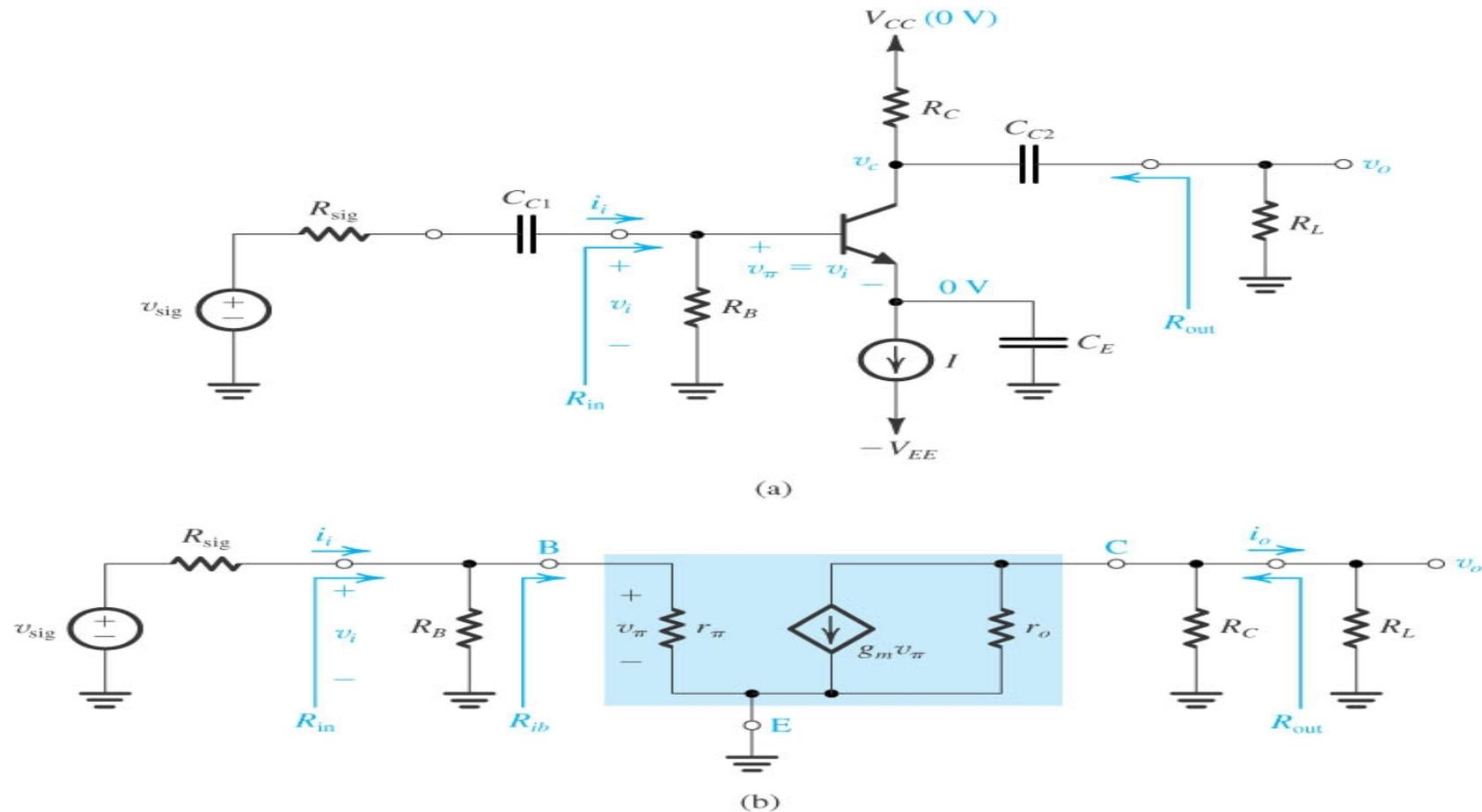
$$R_{in} \Big|_{R_L = 0} = R_{sig} \left/ \left[ \left( 1 + \frac{R_{sig}}{R_i} \right) \left( \frac{R_o}{R_{out}} \right) - 1 \right] \right.$$

$$= 81,8 \text{ k } \Omega$$

$$i_{osc} = A_{vo} i_i R_{in} \Big|_{R_L = 0} / R_o$$

$$A_{is} = \frac{i_{osc}}{i_i} = 10 \times 81,8 / 1,43 = 572 \text{ V/V}$$

## Penguat Common Emitter



Gambar 60 (a) Struktur Penguat Common Emitter  
(b) Model Rangkaian Pengganti Hybrid- $\pi$

$C_E$  adalah kapasitor bypass yang mempunyai harga cukup besar, yang fungsinya membuat ground untuk sinyal atau ac ground pada emitter. Artinya untuk sinyal ac, impedansi  $C_E$  kecil sekali (idealnya nol), jadi arus sinyal akan men-bypass resistansi keluaran dari sumber arus I.

$C_{C1}$  dan  $C_{C2}$  adalah kapasitor coupling yang fungsinya menghubungkan sumber sinyal dan resistansi beban dengan penguat tanpa mengganggu arus tegangan bias. Jadi kapasitor ini akan memblock dc dan menjadi hubung singkat untuk sinyal ac.

Untuk menentukan karakteristik terminal dari penguat CE, yaitu resistansi masukan, penguatan tegangan dan resistansi keluaran, gunakan model rangkaian pengganti sinyal kecil hybrid- $\pi$ . Penguat ini penguat unilateral, jadi  $R_{in} = R_i$  dan  $R_{out} = R_o$ . Analisa rangkaian ini akan di mulai dari sisi masukan.

$$R_{in} \equiv \frac{V_i}{I_i} = R_B \parallel R_{ib}$$

$R_{ib}$  adalah resistansi masukan melihat ke arah base.

Karena emitter terhubung ke ground:

$$R_{ib} = r_{\pi}$$

Biasanya dipilih  $R_B \gg r_{\pi}$ , sehingga:

$$R_{in} \cong r_{\pi}$$

Jadi resitansi masukan dari penguat CE biasanya beberapa kilo-ohm.  
Tegangan pada masukan penguat:

$$\begin{aligned} V_i &= V_{sig} \frac{R_{in}}{R_{in} + R_{sig}} \\ &= V_{sig} \frac{(R_B \parallel r_{\pi})}{(R_B \parallel r_{\pi}) + R_{sig}} \end{aligned}$$

Untuk  $R_B \gg r_{\pi}$

$$V_i \cong V_{sig} \frac{r_{\pi}}{r_{\pi} + R_{sig}}$$

Catatan:

$$V_{\pi} = V_i$$

Pada sisi keluaran penguat:

$$v_o = -g_m v_\pi (r_o \parallel R_c \parallel R_L)$$

Ganti  $v_\pi$  dengan  $v_i$ , maka penguatan tegangan penguat, yaitu penguatan tegangan dari base ke collector:

$$A_v = -g_m (r_o \parallel R_c \parallel R_L)$$

Penguatan tegangan hubung terbuka diperoleh dengan men-set  $R_L = \infty$

$$A_{vo} = -g_m (r_o \parallel R_c)$$

Efek dari  $r_o$  adalah mengurangi penguatan tegangan sedikit saja karena  $r_o \gg R_C$ , jadi

$$A_{vo} = -g_m R_c$$

Resistansi keluaran diperoleh dengan melihat ke arah terminal keluaran dengan menghubungkan singkat sumber  $v_{sig}$ . Hal ini akan menghasilkan  $v_\pi = 0$

$$R_{out} = R_c \parallel r_o$$

Jadi  $r_o$  mengurangi resistansi keluaran penguat hanya sedikit saja karena biasanya  $r_o \gg R_C$

$$R_{out} \cong R_C$$

Untuk penguat unilateral ini  $R_o = R_{out}$ , kita bisa menggunakan  $A_{vo}$  dan  $R_o$  untuk mendapatkan penguatan tegangan  $A_v$

$$A_v = A_{vo} \frac{R_L}{R_L + R_o}$$

Penguatan tegangan menyeluruh dari sumber ke beban,  $G_v$ , dapat diperoleh dengan mengalikan  $(v_i/v_{sig})$  dengan  $A_v$

$$G_v = - \frac{(R_B \parallel r_\pi)}{(R_B \parallel r_\pi) + R_{sig}} g_m (r_o \parallel R_C \parallel R_L)$$

Untuk  $R_B \gg r_\pi$

$$G_v \cong - \frac{\beta (r_o \parallel R_C \parallel R_L)}{r_\pi + R_{sig}}$$

Dari persamaan ini didapatkan jika  $R_{sig} \gg r_{\pi}$ , penguatan menyeluruh sangat tergantung dari  $\beta$ . Hal ini tidak diinginkan karena  $\beta$  bervariasi.

Pada sisi lain, jika  $R_{sig} \ll r_{\pi}$ , penguatan menyeluruh akan menjadi:

$$G_v \cong -g_m (r_o \parallel R_c \parallel R_L)$$

Yang sama dengan penguatan  $A_v$ , yang tidak tergantung dari  $\beta$ . Biasanya penguat CE dapat memberikan penguatan pada orde ratusan. Hanya saja respon pada frekuensi tingginya agak terbatas.

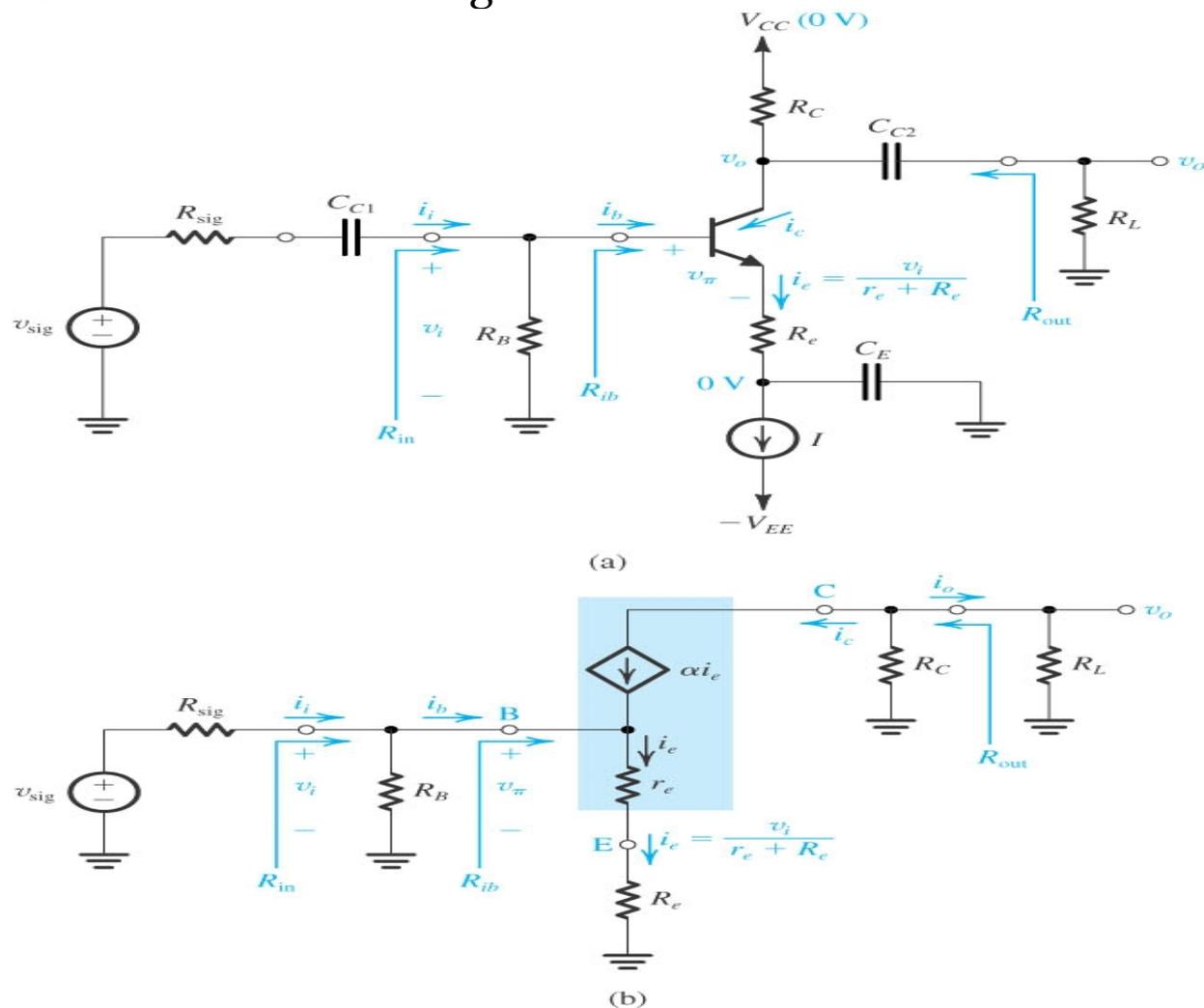
Untuk menghitung penguatan arus hubung singkat,  $A_{is}$

$$\begin{aligned} i_{os} &= -g_m v_{\pi} \\ v_{\pi} &= v_i = i_i R_{in} \\ A_{is} &\equiv \frac{i_{os}}{i_i} = -g_m R_{in} \end{aligned}$$

Gantilah  $R_{in} = R_B \parallel r_{\pi}$ . Jika  $R_B \gg r_{\pi}$ ,  $|A_{is}| = \beta$

Kesimpulan: CE mempunyai penguatan tegangan dan arus yang besar dengan  $R_{in}$  rendah dan  $R_{out}$  tinggi.

## Penguat Common Emitter dengan Resistansi Emmitter



Gambar 61(a) Penguat CE dengan resistansi emmitter  
(b) Model rangkaian pengganti T

Model rangkaian pengganti yang dipakai adalah model T karena adanya resistansi emitter  $R_E$  yang dapat diserikan dengan  $r_e$ .

Pada model rangkaian ini tidak disertakan resistansi keluaran  $r_o$  karena akan membuat analisa lebih rumit dan pada rangkaian penguat diskrit pengaruh  $r_o$  kecil.

$R_{in}$  adalah resistansi paralel antara  $R_B$  dan  $R_{ib}$

$R_{ib}$  adalah resistansi pada base

$$R_{ib} \equiv \frac{V_i}{i_b}$$

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

$$i_e = \frac{V_i}{r_e + R_e}$$

$$R_{ib} = (\beta + 1)(r_e + R_e)$$

Jadi, resistansi masukan melihat ke arah base sama dengan  $(\beta+1)$  kali resistansi total pada emitter. Faktor  $(\beta+1)$  disebut 'resistance-reflection rule'.

Pada persamaan tersebut terlihat bahwa dengan penambahan resistansi pada emitter akan menambah  $R_{ib}$ . Rasio penambahan pada  $R_{ib}$  adalah

$$\begin{aligned} \frac{R_{ib} \text{ (dengan } R_e)}{R_{ib} \text{ (tanpa } R_e)} &= \frac{(\beta + 1)(r_e + R_e)}{(\beta + 1)r_e} \\ &= 1 + \frac{R_e}{r_e} \cong 1 + g_m R_e \end{aligned}$$

Jadi,  $R_e$  dapat dipakai untuk mengendalikan harga  $R_{ib}$  yang juga merupakan harga  $R_{in}$ . Agar pengendalian ini menjadi efektif,  $R_B$  harus jauh lebih besar dari  $R_{ib}$ , artinya  $R_{ib}$  adalah resistansi masukan yang dominan.

Untuk menentukan penguatan tegangan:

$$\begin{aligned} V_o &= -i_c (R_c \parallel R_L) \\ &= -\alpha i_e (R_c \parallel R_L) \\ A_v &= \frac{V_o}{V_i} = -\frac{\alpha (R_c \parallel R_L)}{r_e + R_e} \\ \alpha &\cong 1 \Rightarrow A_v = -\frac{R_c \parallel R_L}{r_e + R_e} \end{aligned}$$

Jadi, *penguatan tegangan dari base ke collector sama dengan perbandingan resistansi total pada collector dengan resistansi total pada emitter.*

Penguatan tegangan hubung terbuka:  $R_L = \infty$

$$A_{vo} = - \frac{\alpha R_c}{r_e + R_e}$$

$$A_{vo} = - \frac{\alpha R_c}{r_e (1 + R_e / r_e)}$$

$$A_{vo} = - \frac{g_m R_c}{1 + R_e / r_e} = - \frac{g_m R_c}{1 + g_m R_e}$$

Jadi, penambahan  $R_e$  akan mengurangi penguatan tegangan dengan faktor  $(1+g_m R_e)$  yang sama dengan faktor penambahan resistansi masukan  $R_{ib}$ .

Resistansi keluaran:

$$R_{out} = R_c$$

Untuk penguat ini  $R_{in} = R_i$  dan  $R_{out} = R_o$

Penguatan arus hubung singkat:

$$i_i = v_i / R_{in}$$

$$A_{is} = - \frac{\alpha R_{in} i_e}{v_i}$$

$$A_{is} = - \frac{\alpha (R_{ib} \parallel R_B)}{r_e + R_e}$$

Untuk  $R_B \gg R_{ib}$

$$A_{is} = \frac{-\alpha(\beta + 1)(r_e + R_e)}{r_e + R_e} = -\beta$$

Penguatan tegangan menyeluruh dari sumber ke beban:

$$G_v = \frac{V_i}{V_{sig}} \cdot A_v = -\frac{R_{in}}{R_{sig} + R_{in}} \frac{\alpha(R_c \parallel R_L)}{r_e + R_e}$$

Ganti  $R_{in} = R_B \parallel R_{ib}$  dan asumsikan  $R_B \gg R_{ib}$

$$R_{ib} = (\beta + 1)(r_e + R_e)$$

$$G_v \cong -\frac{\beta(R_c \parallel R_L)}{R_{sig} + (\beta + 1)(r_e + R_e)}$$

Catatan: penguatan lebih kecil dari penguatan penguat CE. Tetapi penguatan ini lebih tidak sensitif terhadap  $\beta$ .

Dengan penambahan  $R_e$ , penguat dapat menangani sinyal masukan yang lebih besar tanpa menimbulkan distorsi non linier, karena hanya sebagian kecil dari sinyal masukan yang ada pada base,  $v_i$ , yang nampak antara base dan emitter

$$\frac{v_\pi}{v_i} = \frac{r_e}{r_e + R_e} \cong \frac{1}{1 + g_m R_e}$$

Jadi untuk  $v_{\pi}$  yang sama, sinyal pada terminal masukan penguat,  $v_i$ , dapat lebih besar dengan faktor  $(1+g_m R_e)$  jika dibandingkan dengan sinyal pada penguat CE.

Kesimpulan:

Dengan penambahan resistansi  $R_e$  pada emitter, penguat CE mempunyai karakteristik sebagai berikut:

1. Resistansi masukan  $R_{ib}$  meningkat dengan faktor  $(1+g_m R_e)$
2. Penguatan tegangan dari base ke collector,  $A_v$ , berkurang dengan faktor  $(1+g_m R_e)$ .
3. Untuk distorsi non linier yang sama, sinyal masukan  $v_i$  dapat meningkat dengan faktor  $(1+g_m R_e)$
4. Penguatan tegangan menyeluruh tidak terlalu tergantung dengan  $\beta$ .
5. Respons terhadap frekuensi tinggi menjadi lebih baik.

$R_e$  juga merupakan umpan balik negatif pada rangkaian penguat.

$R_e$  juga disebut *emitter degeneration resistance*

## Penguat Common Base

Base dihubungkan ke ground. Sinyal masukan dipasang pada emitter dan sinyal keluaran diambil dari collector. Base merupakan terminal bersama.

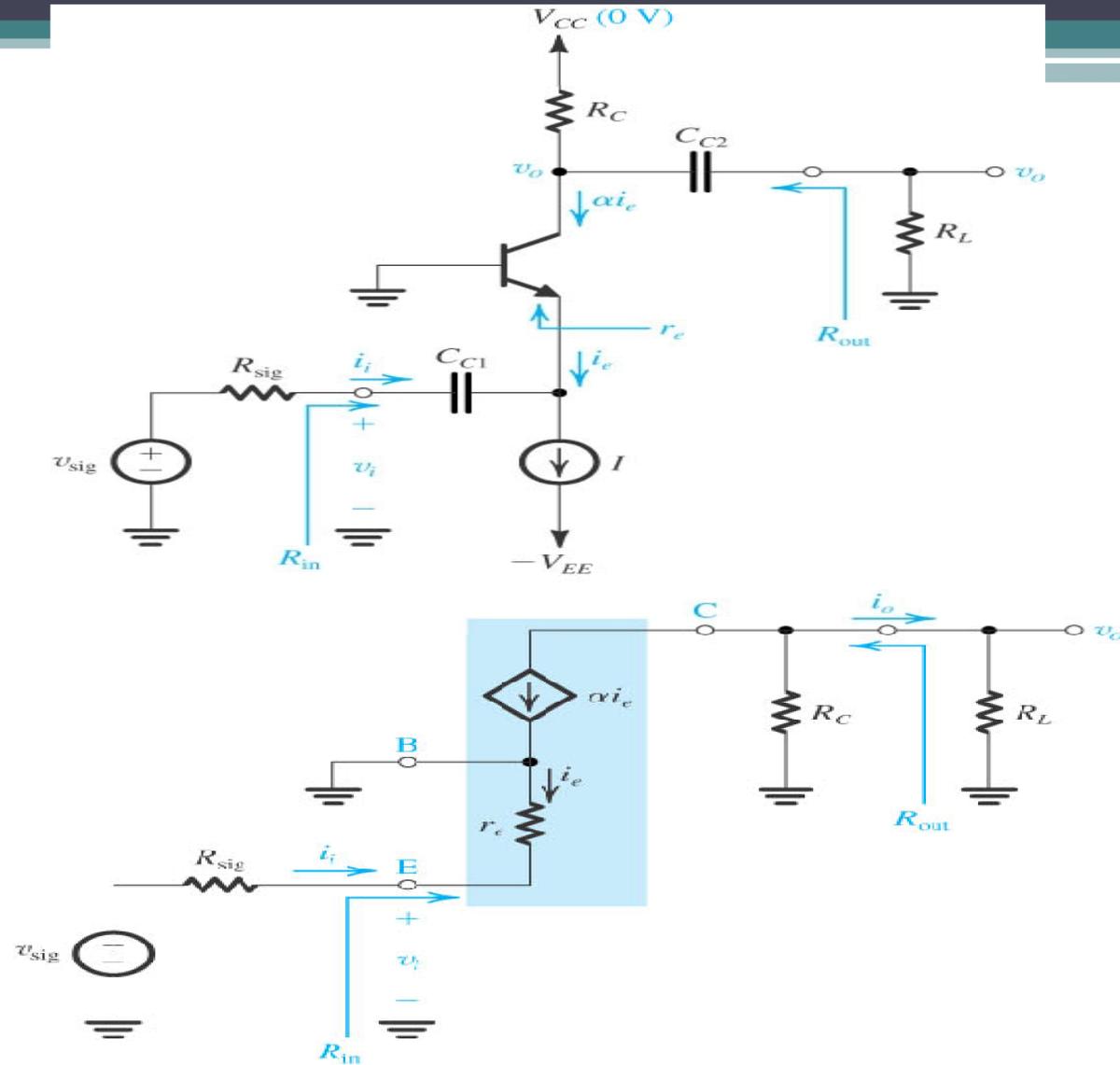
Dengan terhubungnya base ke ground, tegangan ac dan dc pada base sama dengan nol, maka  $R_B$  tidak ada. Kapasitor  $C_{C1}$  dan  $C_{C2}$  berfungsi sebagai kapasitor coupling.

Model rangkaian pengganti T terlihat pada gambar 62(b). Di sini  $r_o$  tidak disertakan karena pengaruhnya tidak terlalu besar pada kinerja penguat CB diskrit.

Dari gambar 62(b) dapat ditentukan resistansi masukan:

$$R_{in} = r_e$$

$r_e$  mempunyai harga antara beberapa ohm sampai beberapa kilo ohm. Jadi CB mempunyai resistansi masukan yang kecil



(b)

Gambar 62(a) Rangkaian penguat Common Base  
 (b) Model rangkaian pengganti T

Untuk menentukan penguatan tegangan:

$$v_o = -\alpha i_e (R_c \parallel R_L)$$

$$i_e = -\frac{v_i}{r_e}$$

$$A_v \equiv \frac{v_o}{v_i} = \frac{\alpha}{r_e} (R_c \parallel R_L)$$

Penguatannya sama dengan penguatan pada penguat CE. Hanya tidak ada pembalikan fasa.

Penguatan tegangan hubung terbuka,  $R_L = \infty$

$$A_{vo} = g_m R_c$$

$A_{vo}$  sama dengan  $A_{vo}$  pada penguat CE. Hanya tidak ada pembalikan fasa.

Resistansi keluaran:

$$R_{out} = R_c$$

Jika  $r_o$  diabaikan, penguat CB adalah penguat unilateral, maka  $R_{in} = R_i$  dan  $R_{out} = R_o$

Penguatan arus hubung singkat  $A_{is}$ :

$$A_{is} = \frac{\alpha i_e}{i_i} = \frac{\alpha i_e}{-i_e} = -\alpha$$

Walaupun penguatan dari penguat 'proper' CB sama dengan penguatan pada CE, penguatan menyeluruhnya tidak demikian halnya. Dengan resistansi masukan yang kecil, maka sinyal masukan akan teredam cukup besar.

$$\frac{v_i}{v_{sig}} = \frac{R_i}{R_i + R_{sig}} = \frac{r_e}{r_e + R_{sig}}$$

Kecuali pada kondisi  $R_{sig}$  pada orde yang sama dengan  $r_e$ , faktor transmisi sinyal  $v_i/v_{sig}$  akan kecil sekali.

Salah satu pemakaian rangkaian CB adalah untuk memperkuat sinyal frekuensi tinggi yang muncul pada kabel coaxial. Untuk menghindari refleksi sinyal pada kabel, penguat CB harus mempunyai resistansi masukan sama dengan resistansi karakteristik kabel yang biasanya berkisar antara  $50 \Omega - 75 \Omega$ .

Penguatan menyeluruh,  $G_v$

$$G_v = \frac{r_e}{r_e + R_{sig}} g_m (R_c \parallel R_L)$$

$$= \frac{\alpha (R_c \parallel R_L)}{r_e + R_{sig}}$$

Karena  $\alpha \approx 1$ , penguatan menyeluruh merupakan perbandingan antara resistansi total pada rangkaian collector dengan resistansi total pada rangkaian emitter. Penguatan menyeluruh tidak tergantung dari harga  $\beta$ .

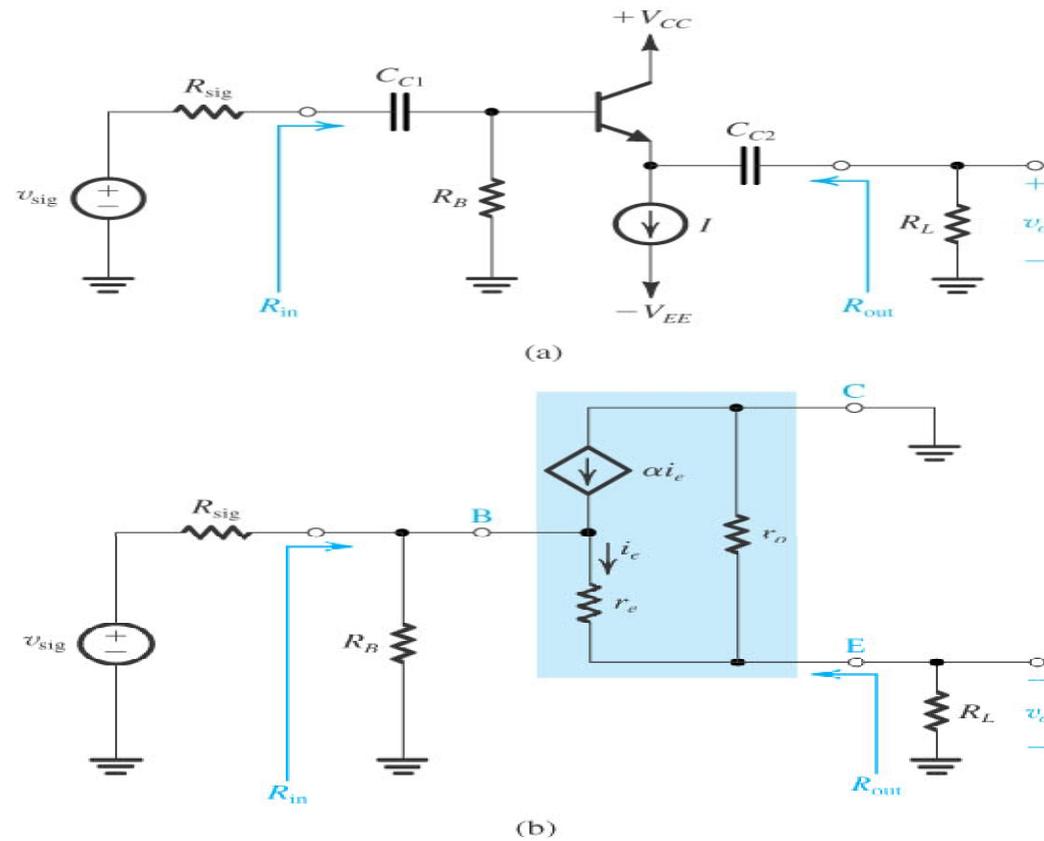
Kesimpulan:

Penguat CB mempunyai resistansi masukan yang rendah, penguatan arus hubung singkat yang hampir sama dengan satu, penguatan tegangan hubung terbuka yang positif (non inverting) dan resistansi keluaran yang tinggi.

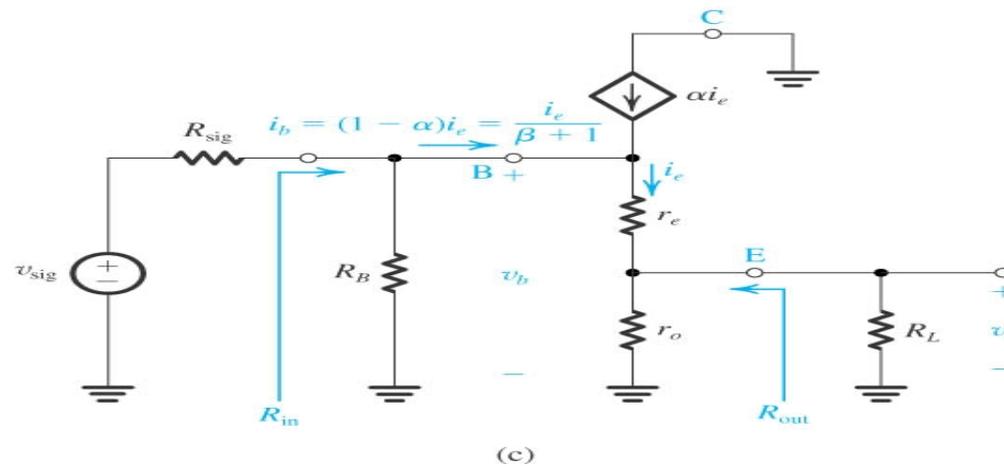
Penguat CB mempunyai respon yang baik pada frekuensi tinggi.

Penggunaan penguat CB yang paling menonjol adalah sebagai penguat arus dengan penguatan satu atau disebut current-buffer. Artinya menerima arus sinyal masukan dari resistansi masukan yang rendah dan mengirimkan arus yang sama ke resistansi keluaran yang tinggi pada collector.

## Penguat Common Collector atau Emitter Follower



Gambar 63(a) Rangkaian penguat Emitter Follower  
 (b) Model rangkaian pengganti T dengan penambahan  $r_o$



Gambar 63(c) Rangkaian pengganti seperti pada gambar 63(b) dengan  $r_o$  paralel dengan  $R_L$ .

Pada penguat ini collector dihubungkan dengan ground, jadi  $R_C$  dihilangkan. Sinyal masukan dipasang pada base, dan sinyal keluaran diambil dari emitter yang dihubungkan melalui kapasitor coupling ke resistansi beban.

Pada analisa sinyal resistansi beban  $R_L$  diserikan dengan emitter sehingga model rangkaian pengganti yang digunakan adalah model T. Pada rangkaian ini resistansi  $r_o$  nampak paralel dengan resistansi beban  $R_L$ .(lihat gambar 63(c)).

Rangkaian emitter follower tidak unilateral, artinya resistansi masukan tergantung dari  $R_L$  dan resistansi keluaran tergantung dari  $R_{sig}$ .

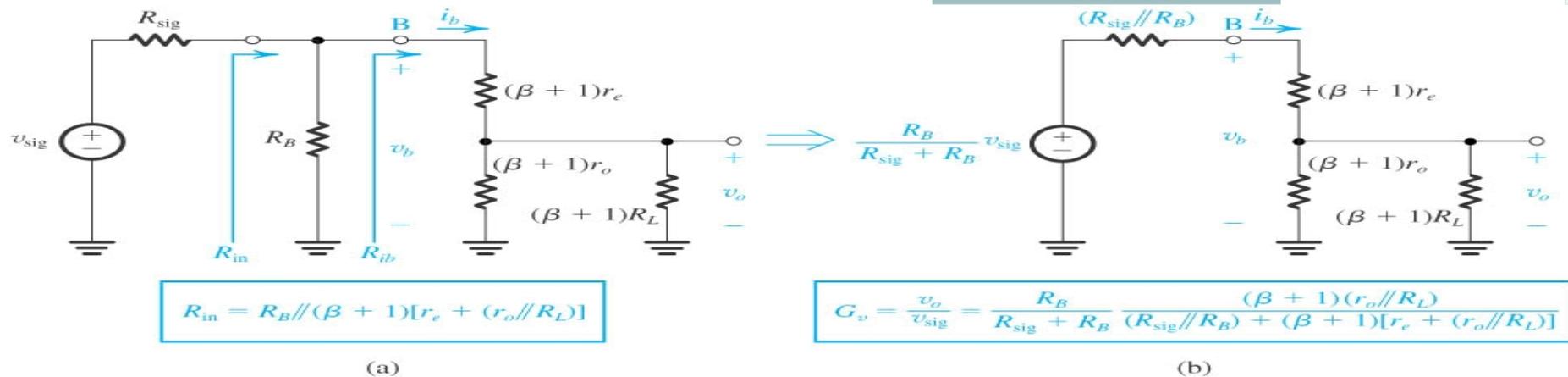
Dari gambar 63(c) terlihat bahwa BJT mempunyai sebuah resistansi ( $r_o \parallel R_L$ ) yang diserikan dengan resistansi emitter  $r_e$ . Dengan menggunakan 'resistance-reflection rule' menghasilkan rangkaian seperti pada gambar 64(a). (resistansi pada sisi base sama dengan  $(\beta+1)$  resistansi pada sisi emitter)

Resistansi masukan pada base,  $R_{ib}$ :  $(r_o \parallel R_L)$

Resistansi masukan total:

$$R_{in} = R_B \parallel R_{ib}$$

Untuk mendapatkan efek penuh dari kenaikan  $R_{ib}$ , dapat dipilih  $R_B$  sebesar mungkin (dengan memperhatikan titik kerja). Dan jika memungkinkan  $C_{C1}$  dapat juga dihilangkan, jadi sumber sinyal dihubungkan langsung dengan base.



Gambar 64(a) Rangkaian ekivalen emitter follower dengan merefleksikan semua resistansi pada emitter ke sisi base.

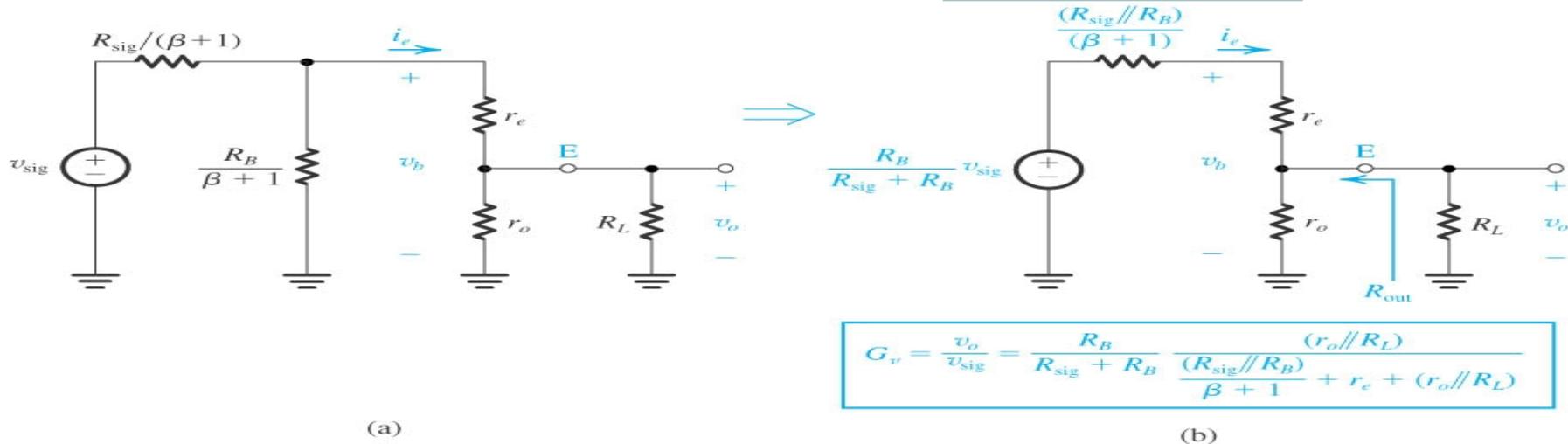
(b) Penggunaan teori Thévenin pada rangkaian masukan.

Penguatan menyeluruh  $G_v$ :

$$G_v = \frac{R_B}{R_{sig} + R_B} \frac{(\beta + 1)(r_o // R_L)}{(R_{sig} // R_B) + (\beta + 1)[r_e + (r_o // R_L)]}$$

Perhatikan: penguatan tegangan lebih kecil dari satu.

Untuk  $R_B \gg R_{sig}$  dan  $(\beta + 1)[r_e + (r_o // R_L)] \gg (R_{sig} // R_B)$ , penguatan menjadi mendekati satu. Jadi tegangan pada emitter mengikuti tegangan pada masukan. Itulah sebabnya disebut emitter follower



Gambar 65(a) Rangkaian ekivalen emitter follower dengan merefleksikan semua resistansi pada base ke sisi emitter.

(b) Penggunaan teori Thévenin pada rangkaian masukan

Alternatif lainnya, kita dapat merefleksikan resistansi base ke sisi emitter. Agar tegangan tidak berubah, semua resistansi di sisi base dibagi dengan  $(\beta+1)$ . Hasilnya dapat dilihat pada gambar 65(a). Dengan menggunakan teori Thévenin pada sisi masukan, diperoleh rangkaian seperti pada gambar 65(b)

Penguatan tegangan menyeluruh,  $G_v$ :

$$G_v = \frac{R_B}{R_{sig} + R_B} \frac{(r_o \parallel R_L)}{\frac{R_{sig} \parallel R_B}{\beta + 1} + r_e + (r_o \parallel R_L)}$$

Untuk  $R_B \gg R_{sig}$  dan  $r_o \gg R_L$ :

$$\frac{v_o}{v_{sig}} \cong \frac{R_L}{\frac{R_{sig}}{\beta + 1} + r_e + R_L}$$

Penguatan mendekati satu jika  $R_{sig}/(\beta+1) \ll R_L$  atau  $(\beta+1)R_L \gg R_{sig}$ . Hal ini adalah peran penyangga (buffering action) dari emitter follower, yang akan menghasilkan penguatan arus hubung singkat hampir sama dengan  $(\beta+1)$ .

Tegangan keluaran hubung terbuka menjadi  $G_{vo}v_{sig}$ , di mana  $G_{vo}$  diperoleh dengan  $R_L = \infty$

$$G_v = \frac{R_B}{R_{sig} + R_B} \frac{r_o}{\frac{R_{sig} \parallel R_B}{\beta + 1} + r_e + r_o}$$

Catatan: biasanya  $r_o$  besar dan suku kedua menjadi hampir sama dengan satu. Suku pertama mendekati satu jika  $R_B \gg R_{sig}$ . Resistansi Thévenin adalah resistansi keluaran  $R_{out}$ . Kurangi  $v_{sig}$  menuju nol, lihat resistansi dari terminal emitter ke arah rangkaian

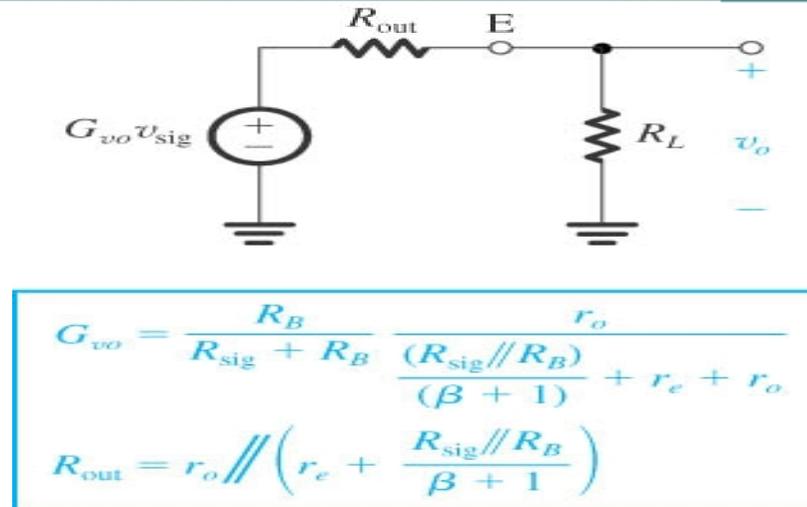
$$R_{out} = r_o \parallel \left( r_o + \frac{R_{sig} \parallel R_B}{\beta + 1} \right)$$

Biasanya  $r_o \gg$  komponen yang diparalelkan dalam tanda kurung dan dapat diabaikan, jadi

$$R_{out} \cong r_o + \frac{R_{sig} \parallel R_B}{\beta + 1}$$

Jadi resistansi keluaran emitter follower rendah. Rangkaian ekivalen Thévenin dari rangkaian keluaran emitter follower dapat digunakan untuk mencari  $v_o$  dan  $G_v$  untuk harga  $R_L$  sembarang. (lihat gambar 66).

Kesimpulan: emitter foilower mempunyai resistansi masukan yang tinggi, resistansi keluaran yang rendah, penguatan tegangan yang lebih kecil dari satu dan penguatan arus yang cukup besar.



Gambar 66. Rangkaian ekivalen Thévenin dari rangkaian keluaran emitter follower

Jadi pemakaian ideal dari emitter follower adalah untuk menghubungkan sumber yang mempunyai resistansi yang tinggi ke beban yang mempunyai resistansi yang rendah, biasanya sebagai tingkat terakhir dari penguat bertingkat (multistage amplifier) yang tujuannya bukan untuk memperkuat tegangan tetapi untuk memberikan penguat bertingkat ini resistansi keluaran yang rendah.

Pada emitter follower hanya sebagian kecil dari sinyal yang akan tampak antara base dan emitter. Jadi emitter follower dapat bekerja secara linier untuk variasi amplitudo sinyal yang cukup besar. Tetapi harga absolut batas atas amplitudo tegangan keluaran ditentukan oleh kondisi cut off dari transistor.

Perhatikan gambar 63(a) jika sinyal masukan adalah gelombang sinusoida. Jika masukan negatif, keluaran  $v_o$  akan negatif dan arus pada  $R_L$  akan mengalir dari ground ke terminal emitter. Transistor akan cut off bila arus ini menjadi sama dengan arus bias  $I$ . Jadi harga amplitudo dari  $v_o$  adalah:

$$\frac{V_o}{R_L} = I$$

$$V_o = IR_L$$

Maka harga  $v_{sig}$  menjadi:

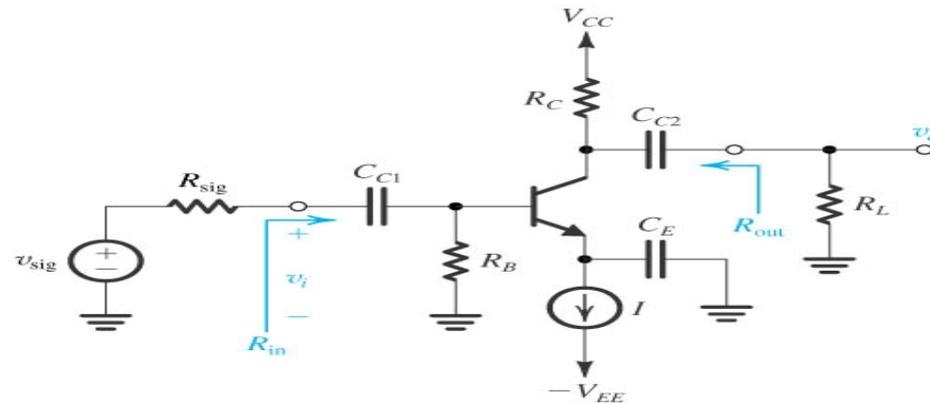
$$V_{sig} = \frac{IR_L}{G_v}$$

Jika amplitudo  $v_{sig}$  lebih besar dari harga di atas, transistor akan cut off dan amplitudo negatif sinyal gelombang keluaran akan terpotong

### Kesimpulan dan perbandingan

1. Konfigurasi CE cocok digunakan untuk penguat yang menghendaki penguatan yang besar.
2. Dengan menambahkan  $R_e$  pada CE dapat memperbaiki kinerja penguat tetapi penguatan akan berkurang.
3. Konfigurasi CB dipergunakan sebagai penguat frekuensi tinggi, karena mempunyai respon yang baik pada frekuensi tinggi, hanya saja resistansi masukannya kecil.
4. Emitter follower dipakai sebagai penyangga tegangan, untuk menghubungkan sumber yang mempunyai resistansi yang tinggi dengan beban yang mempunyai resistansi rendah. Konfigurasi ini digunakan juga sebagai tingkat keluaran dari penguat bertingkat.

## Tabel 5. Karakteristik dari penguat diskrit satu tingkat Common Emitter



$$R_{in} = R_B \parallel r_{\pi} = R_B \parallel (\beta + 1)r_e$$

$$A_v = -g_m (r_o \parallel R_C \parallel R_L)$$

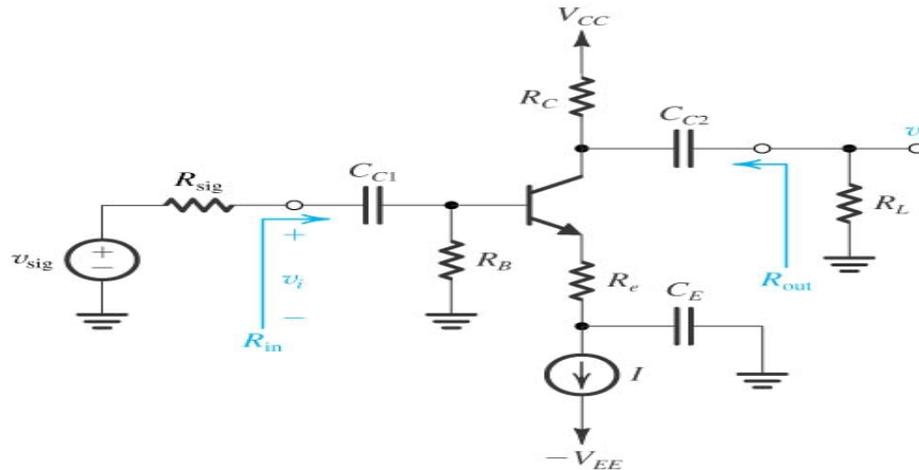
$$R_{out} = r_o \parallel R_C$$

$$G_v = - \frac{(R_B \parallel r_{\pi})}{(R_B \parallel r_{\pi}) + R_{sig}} g_m (r_o \parallel R_C \parallel R_L)$$

$$\cong - \frac{\beta (r_o \parallel R_C \parallel R_L)}{r_{\pi} + R_{sig}}$$

$$A_{is} = -g_m R_{in} \cong -\beta$$

## Common Emitter dengan Resistansi Emitter



Abaikan  $r_o$

$$R_{in} = R_B \parallel (\beta + 1)(r_e + R_e)$$

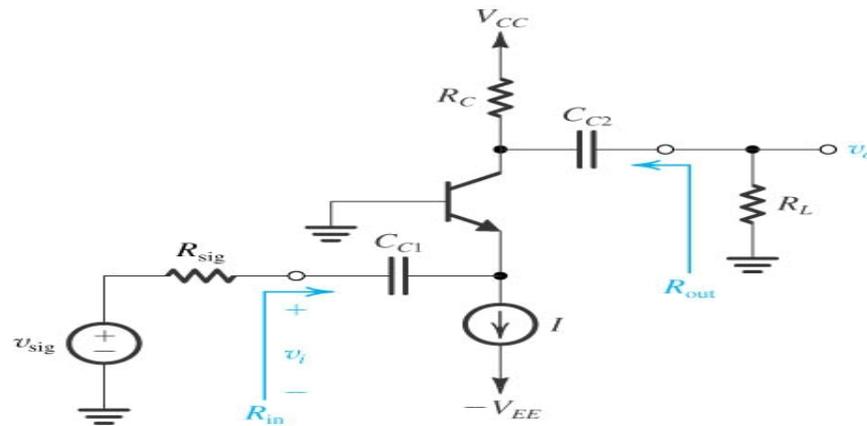
$$A_v = - \frac{\alpha (R_c \parallel R_L)}{r_e + R_e} \cong - \frac{g_m (R_c \parallel R_L)}{1 + g_m R_e}$$

$$R_{out} = R_c$$

$$G_v \cong - \frac{\beta (R_c \parallel R_L)}{R_{sig} + (\beta + 1)(r_e + R_e)}$$

$$\frac{v_o}{v_i} \cong \frac{1}{1 + g_m R_e}$$

## Common Base



Abaikan  $r_o$

$$R_{in} = r_e$$

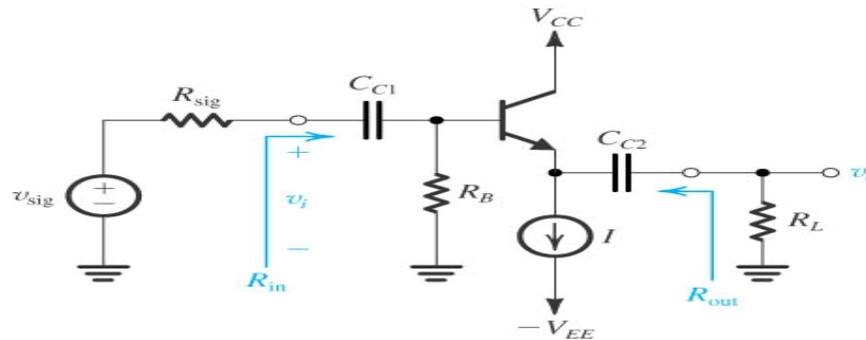
$$A_v = g_m (R_C \parallel R_L)$$

$$R_{out} = R_C$$

$$G_v = \frac{\alpha (R_C \parallel R_L)}{R_{sig} + r_e}$$

$$A_{is} \cong \alpha$$

## Common Collector atau Emitter Follower



$$R_{in} = R_B \parallel (\beta + 1)[r_e + (r_o \parallel R_L)]$$

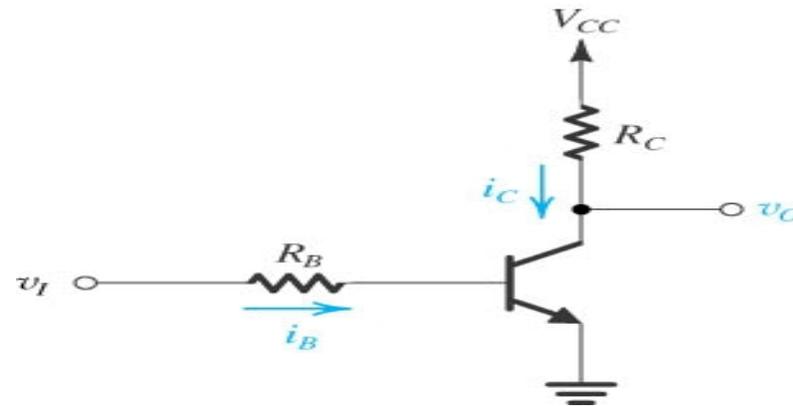
$$A_v = \frac{(r_o \parallel R_L)}{r_e + (r_o \parallel R_L)}$$

$$R_{out} = r_o \parallel \left[ r_e + \frac{R_{sig} \parallel R_B}{\beta + 1} \right]$$

$$G_v = \frac{R_B}{R_{sig} + R_B} \frac{(r_o \parallel R_L)}{\frac{R_{sig} \parallel R_B}{\beta + 1} + r_e + (r_o \parallel R_L)}$$

$$A_{is} \cong \beta + 1$$

## Inverter digital BJT



Gambar 67. Rangkaian dasar inverter digital BJT

Pada inverter logika, rangkaian bekerja pada mode cutoff dan daerah jenuh.

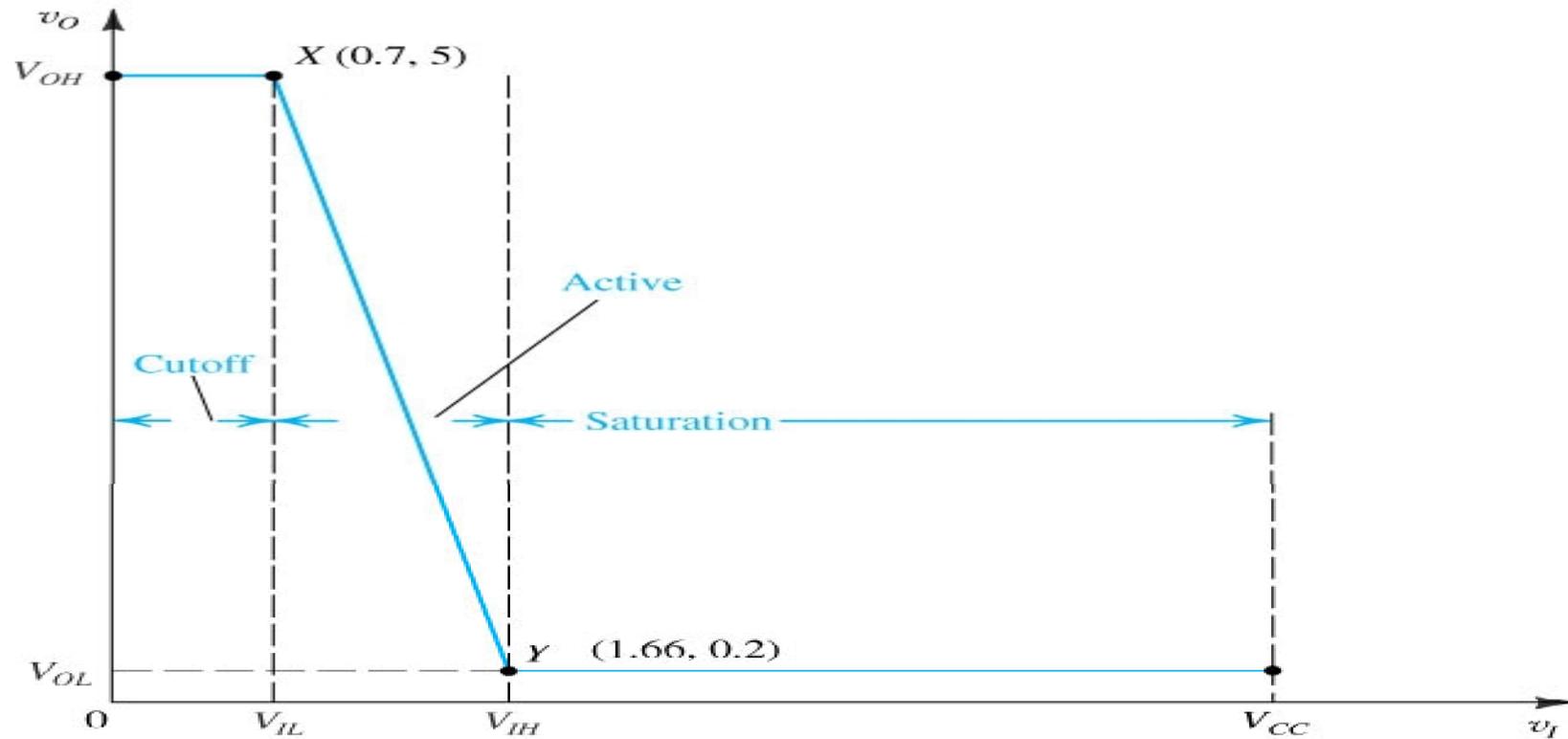
Jika tegangan masukan  $v_I$  'high' mendekati tegangan catu daya  $V_{CC}$  (menyatakan logika '1') transistor akan 'terhubung' dan dalam keadaan jenuh (dengan memilih harga  $R_B$  dan  $R_C$  yang tepat). Sehingga tegangan keluaran akan  $V_{CEsat} \approx 0,2V$ , yang menyatakan logika '0'.

Sebaliknya, jika tegangan masukan 'low' pada tegangan mendekati 'ground' (misal  $V_{CEsat}$ ), sehingga transistor 'cutoff',  $i_C$  akan nol dan  $v_O = V_{CC}$ , yang merupakan logika '1'

Pemilihan keadaan 'cutoff' dan 'jenuh' sebagai mode operasi dari BJT pada rangkaian inverter didasari oleh 2 faktor:

1. Disipasi daya pada rangkaian relatif rendah pada keadaan 'cutoff' dan 'jenuh'. Pada keadaan 'cutoff' semua arus sama dengan nol dan pada keadaan 'jenuh' tegangan pada transistor juga rendah.
2. Level tegangan keluaran ( $V_{CC}$  dan  $V_{CEsat}$ ) terdefinisi dengan baik. Sebaliknya, jika transistor bekerja pada daerah aktif,  $v_O = V_{CC} - i_C R_C = V_{CC} - \beta i_B R_C$  yang sangat tergantung pada parameter  $\beta$ .

## Karakteristik transfer tegangan



Gambar 68. Karakteristik transfer tegangan rangkaian inverter dengan  $R_B = 10 \text{ k}\Omega$ ,  $\beta = 50$  dan  $V_{CC} = 5 \text{ V}$

1. Pada  $v_I = V_{OL} = V_{CEsat} = 0,2 \text{ V}$ ,  $v_O = V_{OH} = V_{CC} = 5 \text{ V}$

2. Pada  $v_I = V_{IL}$ , transistor mulai 'on'  $V_{IL} \approx 0,7 \text{ V}$

3. Untuk  $V_{IL} < v_I < V_{IH}$ , transistor berada pada daerah aktif dan beroperasi sebagai penguat dengan penguatan sinyal kecil:

$$A_v \equiv \frac{v_o}{v_i} = -\beta \frac{R_c}{R_B + r_\pi}$$

$$r_\pi \ll R_B \rightarrow A_v \cong -\beta \frac{R_c}{R_B}$$

4. Pada  $v_I = V_{IH}$ , transistor memasuki daerah jenuh  $V_{IH}$  adalah harga yang menyebabkan transistor berada pada ambang saturasi.

$$I_B = \frac{(V_{CC} - V_{CEsat})}{\beta R_c}$$

Dengan harga-harga yang digunakan,  $I_B = 0,096 \text{ mA}$  dan  $V_{IH} = I_B R_B + V_{BE} = 1,66 \text{ V}$

5. Untuk  $v_I = V_{OH} = 5 \text{ V}$ , transistor berada pada keadaan jenuh yang dalam dengan  $v_O = V_{CEsat} = 0,2 \text{ V}$ , dan

$$\beta_{\text{forced}} = \frac{(V_{CC} - V_{CEsat}) / R_C}{(V_{OH} - V_{BE}) / R_B}$$

6. Noise margin:

$$NM_H = V_{OH} - V_{IH} = 5 - 1,66 = 3,34 \text{ V}$$

$$NM_L = V_{IL} - V_{OL} = 0,7 - 0,2 = 0,5 \text{ V}$$

7. Penguatan pada daerah transisi dapat dihitung dari koordinat pada titik X dan Y

$$\text{Penguatan tegangan} = - \frac{5 - 0,2}{1,66 - 0,7} = - 5 \text{ V/V}$$