

### **Cutoff Region**

*Cutoff* didefinisikan sebagai keadaan dimana  $I_E = 0$  dan  $I_C = I_{CO}$ , dan diketahui bahwa bias mundur  $V_{BE.sat} = 0,1 \text{ V}$  ( $0 \text{ V}$ ) akan membuat transistor germanium (silikon) memasuki daerah *cutoff*.

Apa yang akan terjadi jika tegangan bias balik  $V_{BE.sat}$  dibuat lebih besar dari  $V_{BE.cutoff}$ ? Jika  $V_E$  negatif dan jauh lebih besar dari  $V_T$ , sehingga arus kolektor turun sedikit di bawah  $I_{CO}$  dan arus emitor berbalik, namun nilainya masih kecil (lebih kecil dari  $I_{CO}$ ).

### **Short-Circuited Base**

Andaikan bahwa basis dihubungkan langsung ke emitor sehingga  $V_E = V_{BE} = 0$ . Seperti terlihat pada gambar 5.1.6,  $I_C \equiv I_{CES}$  tidak akan naik melebihi nilai arus *cutoff*  $I_{CO}$ .

### **Open-Circuited Base**

Jika basis dibiarkan "mengambang" (tidak dihubungkan ke manapun) sehingga  $I_B = 0$ , didapatkan bahwa  $I_C \equiv I_{CEO}$  seperti pada pers.5.17. Pada arus rendah  $\alpha \approx 0,9$  ( $0$ ) untuk germanium (silikon), dan dengan demikian  $I_C \approx 10 I_{CO}$  ( $I_{CO}$ ) untuk Ge (Si). Nilai  $V_{BE}$  untuk kondisi *open-base* ini ( $I_C = -I_E$ ) adalah sepersepuluh milivolt berupa bias maju, seperti ditunjukkan oleh gambar 5.16.

### **Cutin Voltage**

Karakteristik volt-ampere antara basis dan emitor pada tegangan kolektor-emitor konstan (gambar 5.11) tidak serupa dengan karakteristik volt-ampere *junction* dioda sederhana. Jika *junction* emitor mendapat bias mundur, arus basis menjadi sangat kecil, dalam orde nanoampere atau mikroampere, masing-masing untuk silikon dan germanium. Jika *junction* emitor diberi bias maju, seperti pada dioda sederhana, tidak terdapat arus basis hingga *junction* emitor mendapat bias maju sebesar  $|V_{BE}| \geq |V_\gamma|$ , dengan  $V_\gamma$  adalah tegangan *cutin* (*cutin voltage*). Karena arus kolektor secara nominal proportional terhadap arus basis, maka pada kolektor pun tidak terdapat arus, hingga terdapat arus pada basis. Oleh karena itu, plot arus kolektor terhadap tegangan basis-emitor akan memperlihatkan tegangan *cutin*, seperti halnya pada dioda.

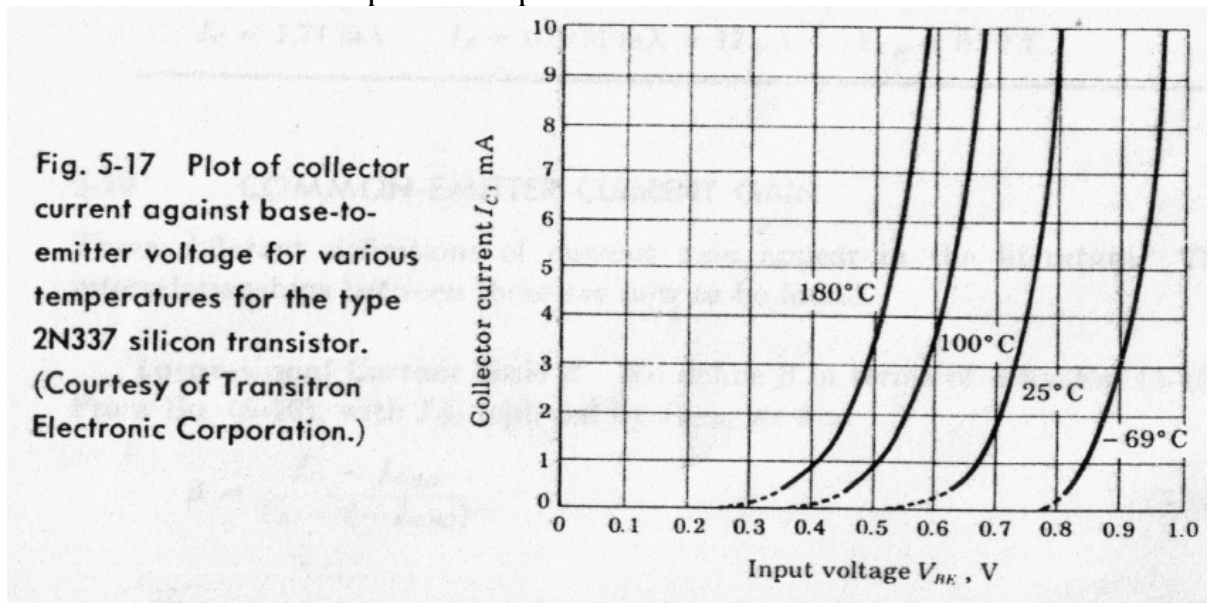
Secara prinsip, sebuah transistor berada dalam *active region* jika tegangan basis-emitor berada pada sisi bias-maju dari tegangan *cutin*, yang terjadi pada tegangan balik  $0,1 \text{ V}$  untuk germanium dan  $0 \text{ V}$  untuk silikon. Transistor akan memasuki *active region* jika  $V_{BE} > V_\gamma$ .

Kita dapat mengestimasi tegangan *cutin*  $V_\gamma$  dengan mengasumsikan bahwa  $V_{BE} = V_\gamma$ , pada saat arus kolektor, katakanlah, mencapai 1 persen dari arus maksimum (saturasi) pada rangkaian CE di gambar 5.9. Biasanya  $V_\gamma$  bernilai  $0,1 \text{ V}$  untuk germanium dan  $0,5 \text{ V}$  untuk silikon.

Gambar 5.17 menunjukkan plot arus kolektor sebagai fungsi tegangan basis-emitor pada tegangan kolektor-emitor konstan, untuk beberapa nilai suhu. Terlihat bahwa nilai  $V_\gamma$  sekitar 0,5 V pada suhu ruang. Ketergantungan suhu disebabkan oleh koefisien temperatur dioda *junction-emitter*. Oleh karena itu, pergeseran lateral plot terhadap perubahan temperatur dan perubahan  $V_\gamma$  terhadap perubahan temperatur, mendekati nilai  $-2,5 \text{ mV}/^\circ\text{C}$ .

### Tegangan Saturasi.

Pabrik transistor menentukan nilai saturasi tegangan input dan output dengan beberapa cara. Sebagai contoh, mereka dapat menentukan nilai  $R_{CS}$  untuk beberapa nilai  $I_B$  atau mereka membuat kurva  $V_{CE,sat}$  dan  $V_{BE,sat}$  sebagai fungsi  $I_B$  dan  $I_C$ . Tegangan saturasi bergantung tidak hanya pada titik operasi, tetapi juga pada bahan semikonduktor (germanium atau silikon) dan jenis konstruksi transistor. Nilai saturasi umum untuk transistor dapat dilihat pada tabel.5.1 berikut.



**TABLE 5-1 Typical n-p-n transistor-junction voltages at 25°C**

	$V_{CE,sat}$	$V_{BE,sat} \equiv V_\sigma$	$V_{BE,active}$	$V_{BE \uparrow, cutin} \equiv V_\gamma$	$V_{BE,cutoff}$
Si	0.2	0.8	0.7	0.5	0.0
Ge	0.1	0.3	0.2	0.1	-0.1

† The temperature variation of these voltages is discussed in Secs. 5-8 and 5-9.

Tegangan yang ditunjukkan pada tabel di atas dan pada gambar 5.16 adalah untuk transistor *npn*. Untuk transistor *pnp*, tanda-tanda (*sign*) harus dibalik. Perhatikan bahwa rentangan total  $V_{BE}$  antara *cutin* dan saturasi bernilai cukup kecil, yaitu 0,3 V. Tegangan  $V_{BE,active}$  ditentukan secara sembarang, namun dengan memperhatikan batas, dan berada di tengah *active region*.

Pada beberapa kasus, akan diperoleh nilai yang berbeda dari tabel 5.1, namun biasanya perbedaannya tidak lebih dari 0,1 V.

**Contoh**

- (a) Rangkaian pada gambar 5.12a dan b dimodifikasi dengan mengubah resistansi basis dari 200 menjadi 50 K (seperti gambar 5.18 di bawah). Jika  $h_{fe} = 100$ , tentukan apakah transistor silikon berada dalam kondisi saturasi dan tentukan  $I_B$  dan  $I_C$ .  
 (b) Ulangi soal di atas jika ditambahkan resistansi emitor 2 K.

**Jawab :**

Asumsikan bahwa transistor berada dalam kondisi saturasi. Dengan menggunakan nilai  $V_{BE,sat}$  dan  $V_{CE,sat}$  dari tabel 5.1, diperoleh rangkaian seperti pada gambar 5.18a. Dengan menggunakan KVL untuk rangkaian basis, diperoleh

$$-5 + 50 I_B + 0,8 = 0$$

atau

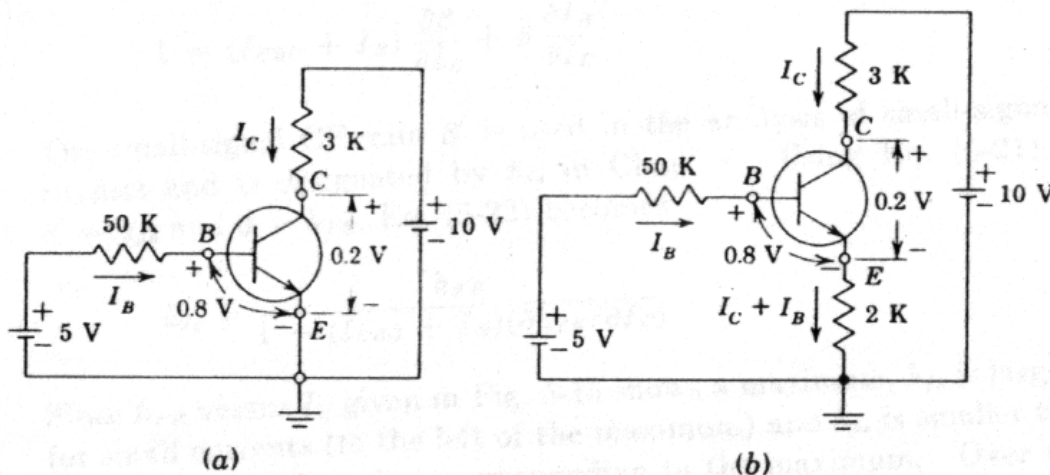
$$I_B = \frac{4,2}{50} = 0,084 \text{ mA}$$

Penggunaan KVL terhadap rangkaian kolektor akan menghasilkan

$$-10 + 3 I_C + 0,2 = 0$$

atau

$$I_C = \frac{9,8}{3} = 3,27 \text{ mA}$$



**Fig. 5-18** An example illustrating how to determine whether or not a transistor is operating in the saturation region.

Arus basis minimum yang diperlukan untuk menjadikan transistor saturasi adalah

$$(I_B)_{\min} = \frac{I_C}{h_{fe}} = \frac{3,27}{100} = 0,033 \text{ mA}$$

Karena  $I_B = 0,084 > I_{B,\min} = 0,033 \text{ mA}$ , dapat dipastikan bahwa transistor berada dalam keadaan saturasi.

(b) Jika ditambahkan resistansi emitor 2 K, rangkaian jadi seperti gambar 5.18b. Diasumsikan transistor berada dalam keadaan saturasi. Aplikasi KVL terhadap rangkaian basis dan kolektor akan menghasilkan :

$$-5 + 50 I_B + 0,8 + 2 (I_C + I_B) = 0$$

$$-10 + 3 I_C + 0,2 2 (I_C + I_B) = 0$$

Jika kedua persamaan ini diselesaikan untuk  $I_C$  dan  $I_B$ , akan diperoleh

$$I_C = 1,95 \text{ mA} ; I_B = 0,0055 \text{ mA}$$

Karena  $(I_B)_{\min} = I_C/h_{fe} = 0,0195 > I_B = 0,0055$ , transistor *tidak* dalam keadaan saturasi. Berarti transistor berada dalam *active region*. Jika perhitungan dilanjutkan persis seperti yang dilakukan untuk rangkaian di gambar 5.12b (tapi resistor 200 K diganti 50 K), akan diperoleh

---


$$I_C = 1,71 \text{ mA} ; I_B = 0,0171 \text{ mA} = 17 \mu\text{A} ; V_{CB} = 0,72 \text{ V}$$


---

### 5.10 Gain Arus Common-Emitter

Terdapat tiga definisi berbeda mengenai penguatan arus (*current gain*) dalam literatur. Akan dicari kaitan satu definisi dengan definisi yang lain.

#### Large-signal current gain, $\beta$

Kita mendefinisikan  $\beta$  menggunakan  $\alpha$  pada pers. 5.15. Dari pers. 5.16, dengan mengganti  $I_{CO}$  dengan  $I_{CBO}$ , kita dapatkan

$$\beta = \frac{I_C - I_{CBO}}{I_B - (-I_{CBO})} \quad (5.19)$$

Pada subbab 5.7, kita mendefinisikan *cutoff* sebagai suatu kondisi dimana  $I_E = 0$ ,  $I_C = I_{CBO}$ , dan  $I_B = -I_{CBO}$ . Selanjutnya pers. (5.19) menunjukkan rasio peningkatan arus-kolektor terhadap perubahan arus-basis dari *cutoff* ke  $I_B$ , dan dengan demikian  $\beta$  merepresentasikan (bentuk negatif dari) *large-signal current gain* dari transistor *common-emitter*. Parameter ini sangat penting dalam kaitannya dengan *pembiasan* dan stabilitas rangkaian transistor.

#### DC Current Gain

Pada subbab 5.8 *dc-current-gain* didefinisikan sebagai

$$\beta_{dc} \equiv \frac{I_C}{I_B} \equiv h_{FE} \quad (5.20)$$

Pada bagian itu ditekankan bahwa  $h_{FE}$  sangat berguna dalam penentuan apakah suatu transistor berada dalam kondisi saturasi atau tidak. Secara umum, arus basis (begitu juga arus kolektor) cukup besar dibandingkan dengan  $I_{CBO}$ . Dalam kondisi ini, *large-signal* dan *beta dc* kurang lebih sama; sehingga  $h_{FE} \approx \beta$ .

#### Small Signal Current Gain, $h_{fe}$

$\beta'$  didefinisikan sebagai rasio kenaikan arus kolektor  $\Delta I_C$  terhadap perubahan kecil arus basis  $\Delta I_B$  (pada titik operasi tertentu, pada tegangan kolektor-emitor  $V_{CE}$  tetap), atau

$$\beta' \equiv \left. \frac{\partial I_C}{\partial I_B} \right|_{V_{CE}} = h_{fe} \quad (5.21)$$

$\beta'$  adalah (nilai negatif dari) *small signal current gain*. Jika  $\beta$  independen terhadap arus, kita lihat dari pers. 5.20 bahwa  $\beta = \beta' \approx h_{fe}$ . Namun demikian, gambar 5.15 menunjukkan bahwa  $\beta$  merupakan fungsi dari arus, dan diferensiasi persamaan 5.16 terhadap  $I_C$  (dengan  $I_{CO} = I_{CBO}$ ) akan menghasilkan

$$1 = (I_{CBO} + I_B) \frac{\partial \beta}{\partial I_C} + \beta \frac{\partial I_B}{\partial I_C} \quad (5.22)$$

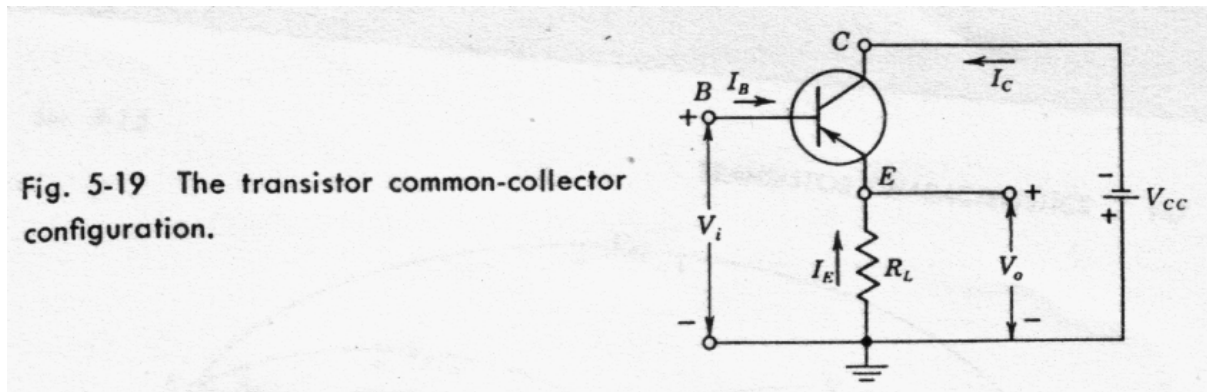
*Small signal CE gain*  $\beta'$  digunakan dalam analisis rangkaian penguat *small-signal* dan disimbolkan dengan  $h_{fe}$ . Dengan persamaan 5.21 dan  $\beta' = h_{fe}$  dan  $\beta = h_{FE}$ , pers. 5.22 menjadi

$$h_{fe} = \frac{h_{FE}}{1 - (I_{CBO} + I_B)(\partial h_{FE} / \partial I_C)} \quad (5.23)$$

Karena  $h_{FE}(I_C)$  yang diperlihatkan gambar 5.15 menunjukkan nilai maksimum,  $h_{fe}$  lebih besar dari  $h_{FE}$  untuk arus kecil (bagian kiri dari maksimum) dan  $h_{fe}$  lebih kecil dari  $h_{FE}$  untuk arus yang besar dari nilai maksimumnya. Pada sebagian besar rentangan arus pada gambar 5.14,  $h_{fe}$  memiliki selisih terhadap  $h_{FE}$  sebesar kurang dari 20%.

Perlu ditegaskan bahwa pers.5.23 berlaku hanya pada *active region*. Dari gambar 5.14 terlihat bahwa  $h_{fe} \rightarrow 0$  di daerah saturasi karena  $\Delta I_C \rightarrow 0$  untuk kenaikan kecil arus  $\Delta I_B$ .

### 5.11 Konfigurasi *Common-Collector*



Konfigurasi rangkaian transistor lain, ditunjukkan pada gambar 5.19 di atas, yang dikenal sebagai *konfigurasi common-collector*. Pada dasarnya rangkaian ini sama dengan rangkaian pada gambar 5.9 (CE), tapi dengan tambahan resistor beban pada emitor dan bukannya pada kolektor. Analisis terhadap konfigurasi ini sama seperti analisis terhadap konfigurasi *common-emitter*. Jika arus basis  $I_{CO}$ , arus emitor jadi nol, dan tidak ada arus mengalir pada beban. Jika transistor diubah dari kondisi terbias mundur dengan meningkatkan arus basis, transistor akan menembus *active region* dan memiliki kemungkinan mencapai saturasi. Dalam kondisi ini, seluruh tegangan, kecuali untuk tegangan jatuh yang sangat kecil pada transistor, akan sampai pada beban.