

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

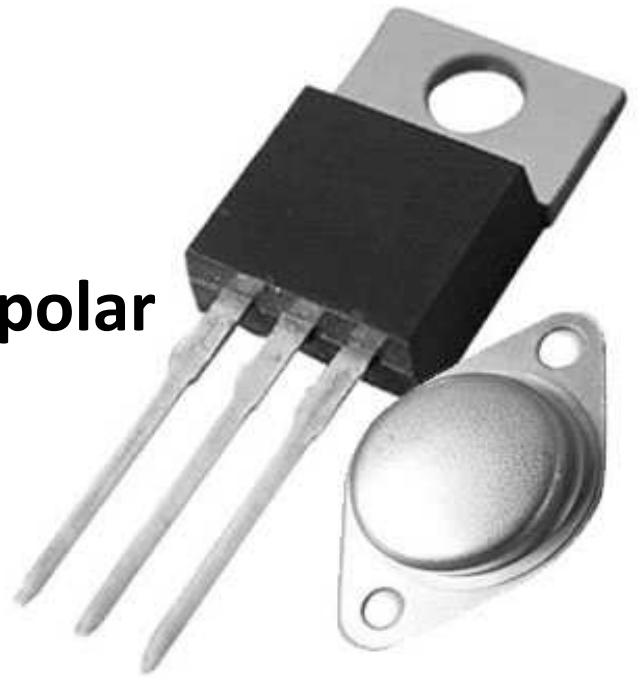
Daftar Isi

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 4

Bias DC Transistor Bipolar



4.1 Pendahuluan

Pengetahuan tentang tanggapan ac dan dc suatu sistem sangat diperlukan baik dalam analisis maupun perencanaan rangkaian penguat transistor. Rangkaian penguat dapat melipat gandakan sinyal input ac yang kecil disebabkan karena rangkaian tersebut mendapatkan tegangan dc dari luar. Oleh karena itu setiap analisis maupun perencanaan rangkaian penguat terdapat dua komponen, yakni ac dan dc. Dengan teori superposisi, kondisi level dc dan ac dapat dipisahkan.

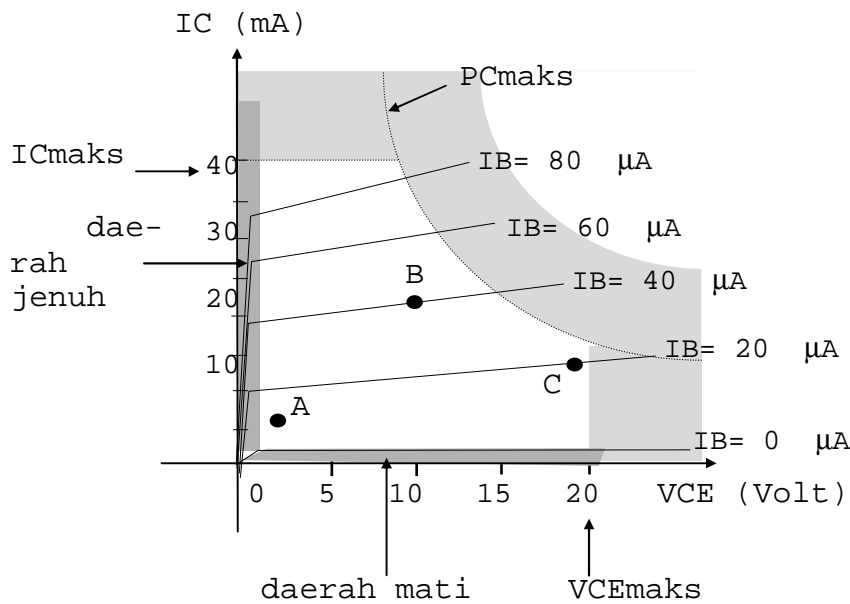
Level dc dari suatu rangkaian menentukan titik kerja transistor yang dipakai. Bab ini akan membahas berbagai bentuk rangkaian bias dan menganalisa titik kerja rangkaian penguat transistor. Disamping analisis diberikan pula cara perencanaan suatu titik kerja, sehingga transistor dapat bekerja sesuai keinginan.

4.2 Pengertian Titik Kerja

Istilah bias dc pada judul bab empat ini menyangkut pemberian tegangan dc kepada transistor untuk mendapatkan level tegangan dan arus yang tetap. Dalam penguat transistor level tegangan dan arus yang tetap tersebut akan menempatkan suatu titik kerja pada kurva karakteristik sehingga menentukan daerah kerja transistor. Oleh karena titik kerja tersebut merupakan titik yang tetap dalam kurva karakteristik, maka biasanya disebut dengan titik-Q (atau Quiescent Point).

Gambar 4.1 menunjukkan kurva karakteristik output dengan empat buah contoh titik kerja yang diberi nama A, B, dan C. Pada dasarnya titik kerja suatu rangkaian penguat bisa diletakkan dimana saja di kurva karakteristik tersebut. Namun agar rangkaian penguat dapat menguatkan sinyal dengan linier atau tanpa cacat, maka titik kerja diusahakan ditempatkan di

tengah daerah aktif. Disamping itu yang perlu diperhatikan adalah agar titik kerja tidak diletakkan diluar batas maksimum dari arus maupun tegangan yang sudah ditentukan oleh pabrik. Apabila hal ini dilanggar transistor akan panas dan cepat rusak.



Gambar 4.1 Daerah pada kurva karakteristik output

Pada gambar 4.1 tersebut terlihat arus I_C maksimum adalah 40 mA dan tegangan V_{CE} maksimum sebesar 20 Volt. Disamping harga arus dan tegangan maksimum tersebut yang tidak boleh dilampaui adalah daya kolektor maksimum PC_{maks} . Dalam gambar PC_{maks} ini ditunjukkan oleh garis lengkung putus-putus. PC_{maks} atau disipasi daya kolektor maksimum ini merupakan perkalian I_C dengan V_{CE} . Dengan demikian titik kerja harus diletakkan di dalam batas-batas tersebut.

Tampak pada gambar 4.1 bahwa ketiga titik kerja A, B dan C terletak pada daerah kerja transistor yang diijinkan. Transistor dengan titik kerja A kira-kira mempunyai $V_{CE} = 2$ Volt dan $I_C = 7$ mA. Titik kerja B mempunyai $V_{CE} = 10$ Volt, $I_C = 21$ mA dan titik kerja C adalah $V_{CE} = 19$ Volt, $I_C = 11$ mA.

Transistor yang bekerja pada titik A kurang begitu memuaskan karena termasuk pada kurva non-linier, sehingga sinyal output akan cenderung untuk cacat. Demikian juga pada titik C, karena terletak hampir pada batas kemampuan V_{CE} transistor. Disamping itu transistor juga akan cepat panas. Titik B merupakan pilihan terbaik sebagai titik kerja transistor sebagai

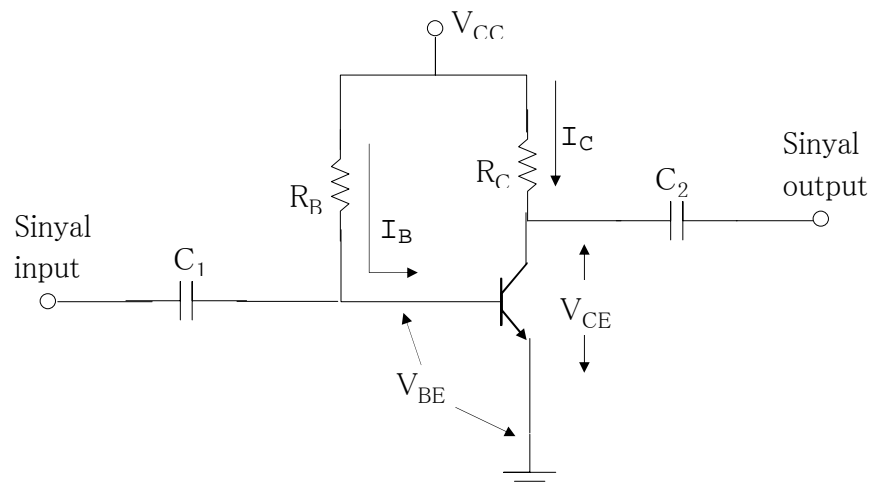
penguat, karena terletak di tengah-tengah, sehingga memungkinkan transistor dapat menguatkan sinyal input secara maksimum.

Agar transistor bekerja pada suatu titik kerja tertentu diperlukan rangkaian bias. Rangkaian bias ini akan menjamin pemberian tegangan bias persambungan E-B dan B-C dari transistor dengan benar. Transistor akan bekerja pada daerah aktif bila persambungan E-B diberi bias maju dan B-C diberi bias mundur (lihat tabel 3.1).

Dalam praktek dikenal berbagai bentuk rangkaian bias yang masing-masing mempunyai keuntungan dan kerugian. Kemantapan kerja transistor terhadap pengaruh temperatur merupakan faktor yang perlu diperhatikan dalam menentukan bentuk rangkaian bias. Karena perubahan temperatur akan mempengaruhi β (faktor penguatan arus pada CE) dan arus bocor ICBO.

4.3 Rangkaian Bias Tetap

Gambar 4.2 menunjukkan rangkaian transistor dengan bias tetap. Rangkaian bias ini cukup sederhana karena hanya terdiri atas dua resistor R_B dan R_C . Kapasitor C_1 dan C_2 merupakan kapasitor kopling yang berfungsi mengisolasi tegangan dc dari transistor ke tingkat sebelum dan sesudahnya, namun tetap menyalurkan sinyal ac-nya.



Gambar 4.2 Rangkaian bias tetap

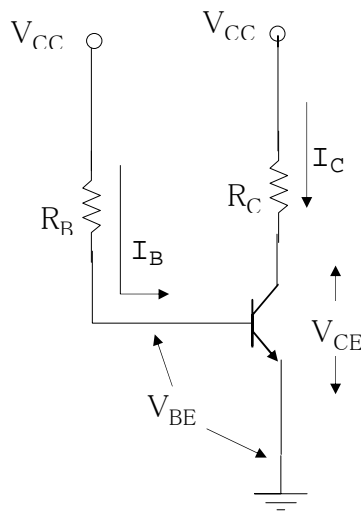
Pada analisis dc, semua kapasitor dapat diganti dengan rangkaian terbuka. Hal ini karena sifat kapasitor yang tidak dapat melewatkan arus dc. Dengan demikian untuk keperluan analisis dc rangkaian dapat disederhanakan menjadi seperti pada gambar 4.3.

Dengan menggunakan hukum Kirchoff tegangan pada ikal input (basis-emitor), maka diperoleh persamaan:

$$I_B \cdot R_B + V_{BE} = V_{CC}$$

$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B}$ (4.1)
-------------------------------------	-------------

Persamaan ini cukup mudah untuk diingat karena sesuai dengan hukum Ohm, yakni arus yang mengalir pada R_B adalah turun tegangan pada R_B dibagi dengan R_B . Karena V_{CC} dan V_{BE} tetap, maka R_B adalah penentu arus basis pada titik kerja.



Gambar 4.3 Rangkaian ekivalen dc dari gambar 4.2

Setelah arus I_B ditentukan, maka arus I_C dengan mudah dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$I_C = \beta I_B$ (4.2)
-------------------	-------------

Dengan menggunakan hukum Kirchhoff pada ikal output (kolektor-emitor), maka diperoleh persamaan:

$$I_C \cdot R_C + V_{CE} = V_{CC}$$

$V_{CE} = V_{CC} - I_C \cdot R_C$ (4.3)
-----------------------------------	---------------

Ketiga harga yang baru saja diperoleh, yaitu I_B , I_C dan V_{CE} inilah yang menentukan titik kerja transistor. Oleh karena itu dalam penulisan sering ditambah huruf Q di belakangnya, yakni berturut-turut I_{BQ} , I_{CQ} dan V_{CEQ} . Harga I_{CQ} dan V_{CEQ} merupakan koordinat dari titik kerja Q pada kurva karakteristik output CE.

Titik kerja Q dalam kurva karakteristik selalu terletak pada garis beban. Hal ini karena harga V_{CEQ} diperoleh dari persamaan 4.3 yakni yang disebut dengan persamaan garis beban. Untuk menggambar garis beban pada kurva, ditentukan dua titik yang berpotongan dengan masing-masing sumbu x (V_{CE}) dan sumbu y (I_C).

Persamaan garis beban:

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

Garis beban akan memotong sumbu x (V_{CE}), apabila arus I_C adalah nol. Dalam hal ini transistor dalam keadaan mati ($I_C = 0$), sehingga tegangan V_{CE} adalah maksimum, yaitu:

$V_{CEmaks} = V_{CC}$ (4.4)
-----------------------	---------------

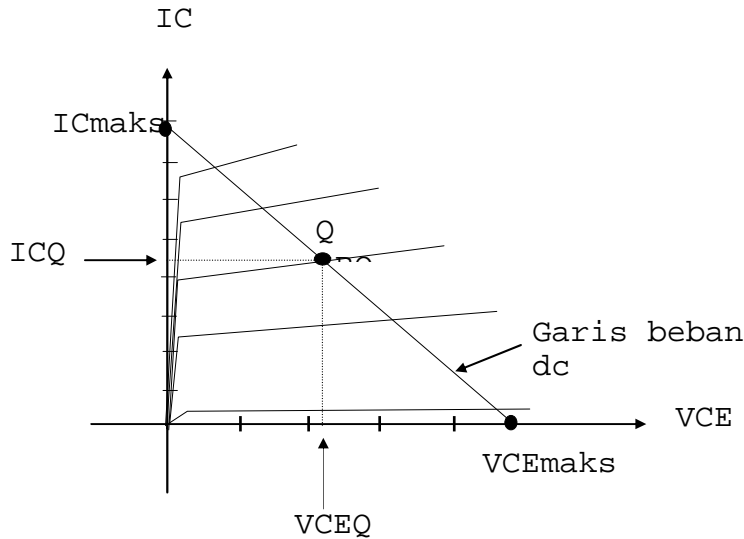
Garis beban akan memotong sumbu y (I_C), apabila tegangan V_{CE} adalah nol. Dalam hal ini transistor dalam keadaan jenuh ($V_{CE} = 0$), sehingga arus I_C adalah maksimum, yaitu:

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

$$0 = V_{CC} - I_{Cmaks} \cdot R_C$$

$I_{Cmaks} = \frac{V_{CC}}{R_C}$ (4.5)
----------------------------------	---------------

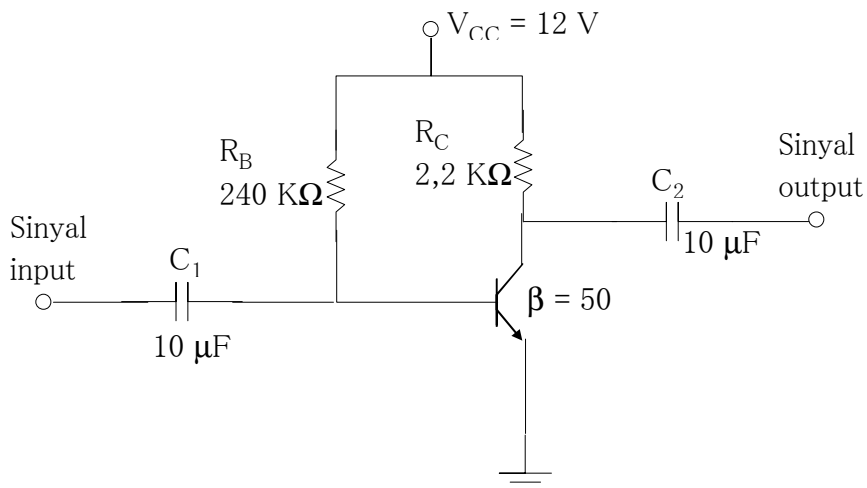
Apabila kedua titik ekstrem (V_{CEmaks} dan I_{Cmaks}) ini dihubungkan maka diperoleh garis beban dimana titik Q berada. Garis beban ini disebut dengan garis beban dc, karena hanya berkaitan dengan parameter dc dari rangkaian. Lihat gambar 4.4. Nanti pada pembahasan rangkaian bias yang lain akan dianalisa juga garis beban ac.



Gambar 4.4 Kurva output dengan garis beban dc

Contoh 4.1

Suatu rangkaian penguat menggunakan bias tetap seperti pada gambar 4.5. Tentukan titik kerja (I_{BQ} , I_{CQ} , V_{CEQ}) dan gambarkan garis beban dc-nya.



Gambar 4.5 Rangkaian penguat untuk contoh 4.1

Penyelesaian:

a) Titik kerja:

$$I_{BQ} = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B}$$

$$I_{BQ} = \frac{12V - 0,7V}{240 \text{ K}} = 47,08 \mu\text{A}$$

$$I_{CQ} = \beta I_{BQ} = (50)(47,08 \mu\text{A}) = 2,35 \text{ mA}$$

$$V_{CEQ} = V_{CC} - I_{CQ} R_C$$

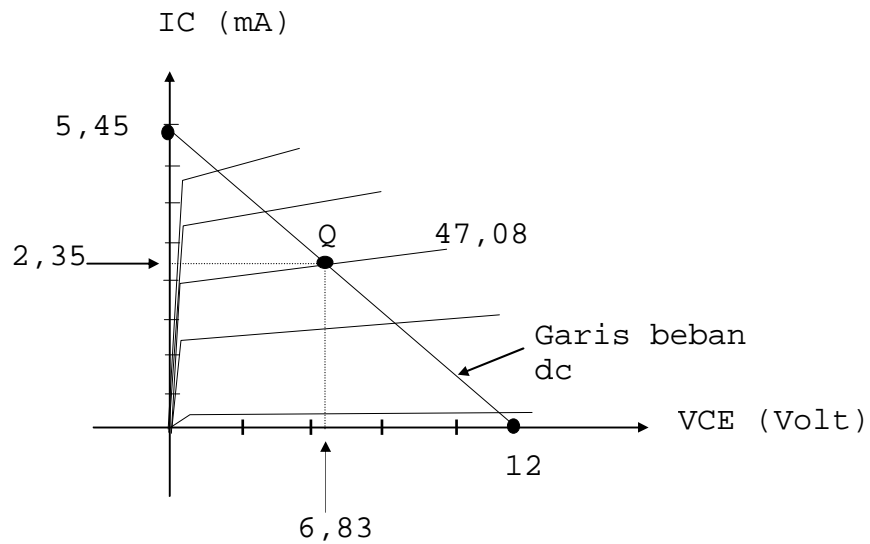
$$= 12V - (2,35\text{mA})(2,2\text{K}\Omega) = 6,83 \text{ Volt}$$

b) Garis beban:

$$I_{C\text{maks}} = \frac{V_{CC}}{R_C}$$

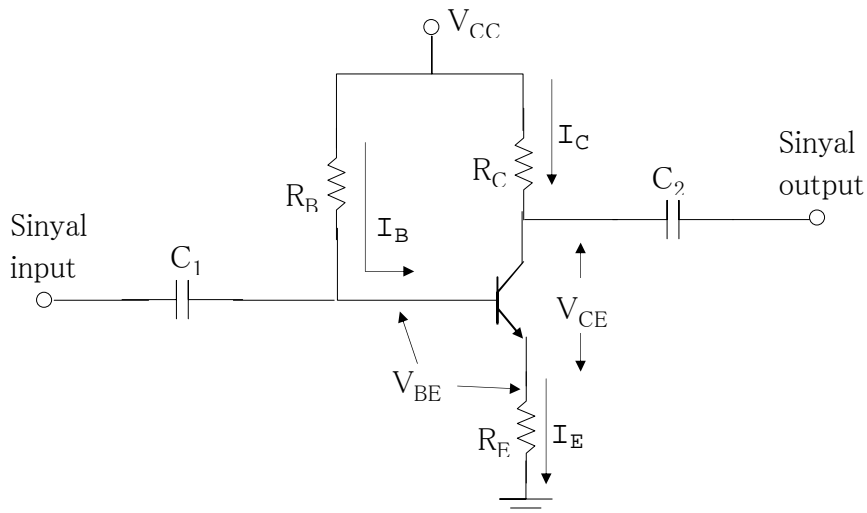
$$I_{C\text{maks}} = \frac{12V}{2,2 \text{ K}\Omega} = 5,45 \text{ mA}$$

$$V_{CE\text{maks}} = V_{CC} = 12 \text{ Volt}$$



Gambar 4.6 Garis beban dc untuk contoh 4.1

Titik kerja dari rangkaian bias tetap sangat dipengaruhi oleh harga β . Oleh karena β sangat peka terhadap perubahan temperatur, maka stabilitas kerja dari rangkaian bias tetap kurang baik. Untuk memperbaiki stabilitas terhadap variasi β , maka diberikan resistor pada kaki emitor (RE). Lihat gambar 4.7.



Gambar 4.7 Rangkaian bias tetap dengan stabilisasi emitor

Dengan menggunakan hukum Kirchoff tegangan, dari ikal input (basis-emitor) dapat diturunkan persamaan sebagai berikut:

$$I_B \cdot R_B + V_{BE} + I_E \cdot R_E = V_{CC}$$

karena:

$$I_E = (\beta + 1) I_B$$

maka:

$$I_B \cdot R_B + V_{BE} + (\beta + 1) I_B \cdot R_E = V_{CC}$$

$$I_B \{R_B + (\beta + 1) R_E\} + V_{BE} = V_{CC}$$

$$I_B \{R_B + (\beta + 1) R_E\} = V_{CC} - V_{BE}$$

sehingga diperoleh:

$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B + (\beta + 1) R_E}$ (4.6)
---	-------------

Besarnya arus IC dapat dicari dengan persamaan 4.2, yaitu: $I_C = \beta I_B$.

Persamaan garis beban dapat diturunkan dengan menggunakan hukum Kirchhoff tegangan pada ikal output (kolektor-emitor) dari gambar 4.7, yaitu:

$$I_C.R_C + V_{CE} + I_E.R_E = V_{CC}$$

karena $I_E \cong I_C$, maka:

$$I_C.R_C + V_{CE} + I_C.R_E = V_{CC}$$

$$I_C(R_C + R_E) + V_{CE} = V_{CC}$$

sehingga diperoleh:

$V_{CE} = V_{CC} - I_C(R_C + R_E)$ (4.7)
------------------------------------	-------------

Persamaan ini akan menentukan garis beban dc pada kurva output. Pada saat arus $I_C = 0$ (transistor mati), maka tegangan V_{CE} akan maksimum, yaitu (persmaan 4.4):

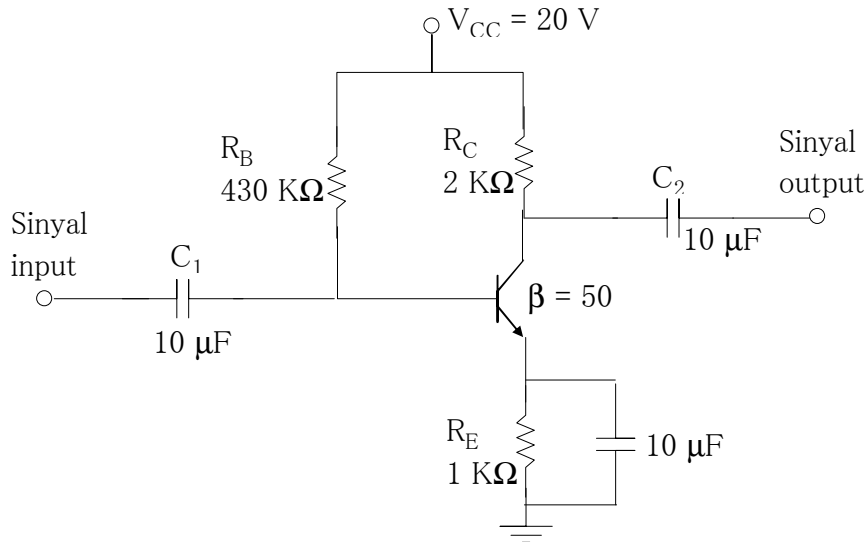
$$V_{CEmaks} = V_{CC}$$

Pada saat tegangan $V_{CE} = 0$ (transistor jenuh), maka arus I_C akan maksimum, yaitu:

$I_{Cmaks} = \frac{V_{CC}}{R_C + R_E}$ (4.8)
--	-------------

Contoh 4.2

Suatu rangkaian penguat menggunakan bias tetap dengan stabilisasi emitor seperti pada gambar 4.8. Tentukan titik kerja (I_{BQ} , I_{CQ} , V_{CEQ}) dan gambarkan garis beban dc-nya.



Gambar 4.8 Rangkaian penguat untuk contoh 4.2

Penyelesaian:

a) Titik kerja:

$$I_{BQ} = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B + (\beta + 1)R_E}$$

$$I_{BQ} = \frac{20V - 0,7V}{430K\Omega + (50+1)(1K\Omega)} = 40,1 \mu A$$

$$I_{CQ} = \beta I_{BQ} = (50)(40,1 \mu A) = 2,01 \text{ mA}$$

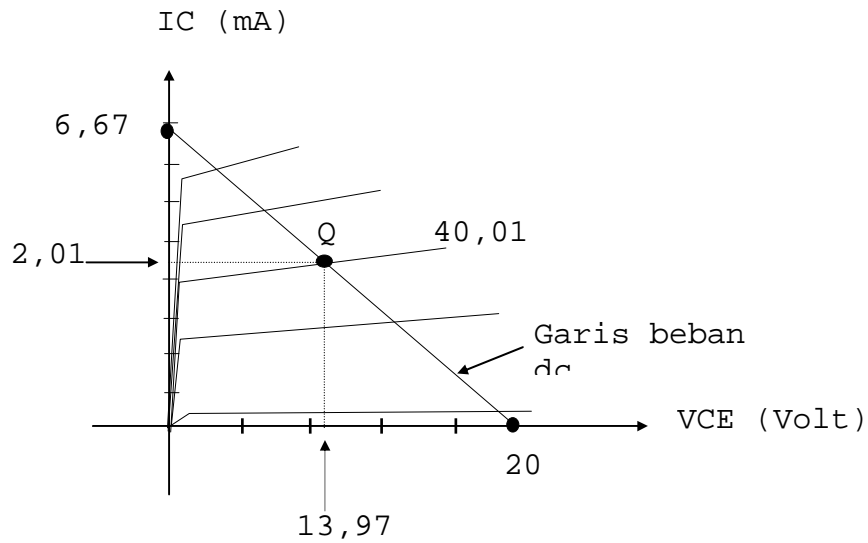
$$V_{CEQ} = V_{CC} - I_C(R_C + R_E) \\ = 20V - (2,01\text{mA})(2K\Omega + 1K\Omega) = 13,97 \text{ Volt}$$

b) Garis beban:

$$I_{Cmaks} = \frac{V_{CC}}{R_C + R_E}$$

$$I_{Cmaks} = \frac{20V}{2,2K\Omega + 1K\Omega} = 6,67 \text{ mA}$$

$$V_{CEmaks} = V_{CC} = 20 \text{ Volt}$$



Gambar 4.9 Garis beban dc untuk contoh 4.2

Apabila contoh 4.1 di atas diulangi lagi untuk harga β (beta) dua kali lipat, yakni 100, maka diperoleh harga I_B , I_C , dan V_{CE} sebagai berikut:

β	I_B (μA)	I_C (mA)	V_{CE} (V)
50	47,08	2,35	6,83
100	47,08	4,70	1,64

Terlihat bahwa apabila β (beta) dinaikkan 100 %, maka arus kolektor I_C naik 100 %. Jadi arus I_C sangat tergantung pada besarnya β . Karena β sangat peka terhadap temperatur, maka rangkaian bias tetap (gambar 4.2) juga sangat peka terhadap perubahan temperatur.

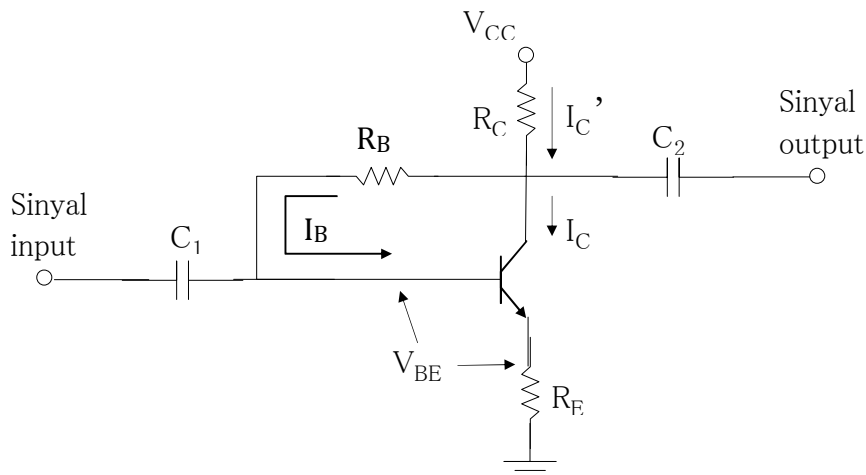
Sekarang apabila contoh 4.2 diulangi lagi untuk harga β (beta) dua kali lipat, yakni 100, maka diperoleh harga I_B , I_C , dan V_{CE} sebagai berikut:

β	I_B (μA)	I_C (mA)	VCE(V)
50	40,1	2,01	13,97
100	36,3	3,63	9,11

Terlihat bahwa apabila β (beta) dinaikkan 100 %, maka arus I_C naik 81 %. Perubahan ini lebih kecil dari contoh sebelumnya. Dari dua contoh tersebut dapat disimpulkan bahwa rangkaian bias tetap dengan stabilisasi emitor (gambar 4.7) ternyata lebih stabil terhadap perubahan β dari pada rangkaian bias tetap pada tanpa RE.

4.4 Bias Umpan Balik Tegangan

Untuk memperbaiki stabilitas titik kerja terhadap perubahan β , digunakan rangkaian bias dc dengan menggunakan umpan balik tegangan. Gambar 4.10 merupakan penguat transistor dengan menggunakan bias umpan balik tegangan.



Gambar 4.10 Rangkaian bias umpan balik tegangan

Untuk mendapatkan arus I_B , diterapkan hukum Kirchoff tegangan pada ikal input (basis-emitor), yaitu:

$$V_{CC} = I_{C'} \cdot R_C + I_B \cdot R_B + V_{BE} + I_E \cdot R_E$$

Perlu diperhatikan bahwa arus yang mengalir pada RC bukanlah IC melainkan IC', dimana IC' = IC + IB. Tetapi karena harga IC' dan IC jauh lebih besar dibanding IB, maka secara pendekatan IC' dapat dianggap sama dengan IC (IC' ≅ IC = βIB). Demikian juga bahwa IE ≅ IC.

Sehingga diperoleh:

$$VCC = \beta I_B \cdot RC + I_B \cdot RB + V_{BE} + \beta I_B \cdot RE$$

$$VCC - V_{BE} = \beta I_B (RC + RE) + I_B \cdot RB$$

$$VCC - V_{BE} = I_B \{RB + \beta (RC + RE)\}$$

$I_B = \frac{VCC - V_{BE}}{RB + \beta (RC + RE)}$ (4.9)
---	-------------

Arus IC dapat diperoleh dengan mengalikan IB dengan β, yaitu: IC = βIB. Selanjutnya harga VCE dapat dihitung dengan menerapkan hukum Kirchhoff tegangan pada ikal output (kolektor-emitor), yaitu:

$$VCC = IC' \cdot RC + VCE + IE \cdot RE$$

kembali dengan asumsi bahwa: IC' ≅ IC dan IE ≅ IC, maka:

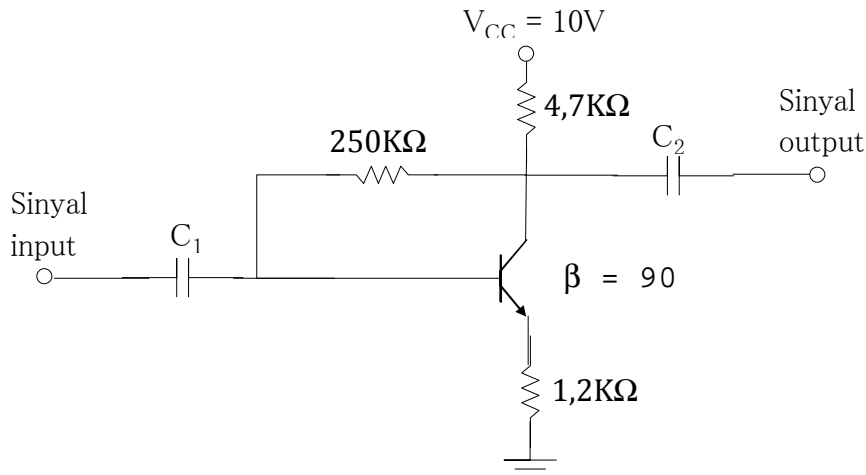
$$VCC = IC \cdot RC + VCE + IC \cdot RE$$

$$VCC = IC (RC + RE) + VCE$$

$VCE = VCC - I_C (RC + RE)$ (4.10)
-----------------------------	--------------

Contoh 4.3

Tentukan titik kerja (I_{CQ} dan V_{CEQ}) dari rangkaian seperti pada gambar 4.11.



Gambar 4.11 Rangkaian untuk contoh 4.3

Penyelesaian:

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B + \beta(R_C + R_E)}$$
$$= \frac{10V - 0,7V}{250K\Omega + (90)(4,7K\Omega + 1,2K\Omega)} = \mathbf{11.91 \mu A}$$

$$I_{CQ} = \beta I_B$$
$$= (90)(11.91 \mu A) = 1,07 \text{ mA}$$

$$V_{CEQ} = V_{CC} - I_C(R_C + R_E)$$
$$= 10V - 1,07\text{mA}(4,7K\Omega + 1,2K\Omega)$$
$$= \mathbf{3,69 \text{ Volt}}$$

Apabila contoh 4.3 tersebut diulangi lagi dengan harga β dinaikkan menjadi 135, maka hasilnya dapat dibandingkan sebagai berikut:

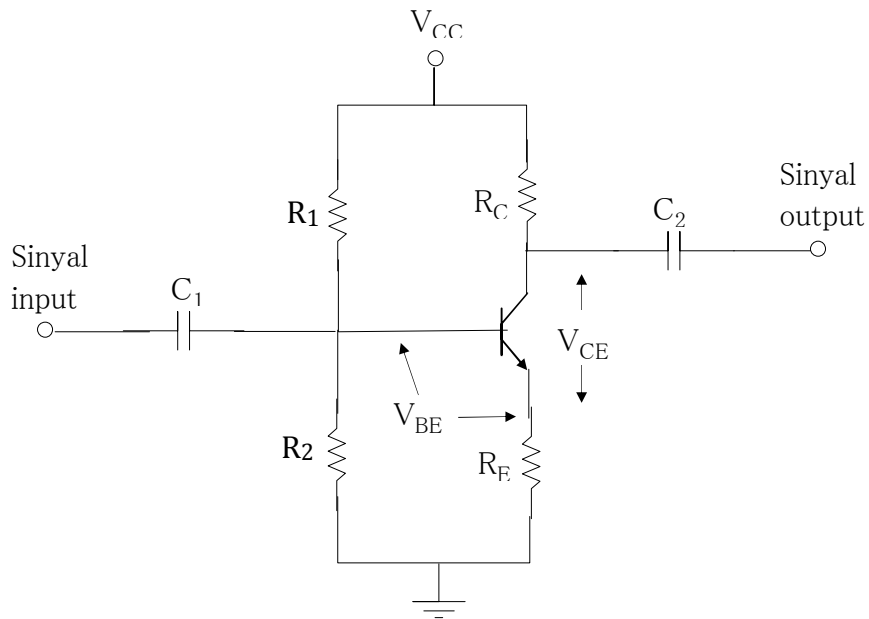
β	$I_{CQ}(\text{mA})$	$V_{CEQ}(\text{V})$
90	1,07	3,69
135	1,2	2,92

Terlihat bahwa apabila β dinaikkan 50 %, arus I_{CQ} naik 12,1% dan V_{CEQ} turun sekitar 20,9%. Perubahan titik kerja karena pengaruh perubahan β pada rangkaian bias ini ternyata lebih kecil dibanding pada rangkaian bias tetap maupun bias tetap dengan stabilisasi emitor. Dengan kata lain rangkaian bias dengan umpan balik tegangan mempunyai stabilitas yang lebih baik dari pada rangkaian bias sebelumnya.

4.5 Bias Pembagi Tegangan

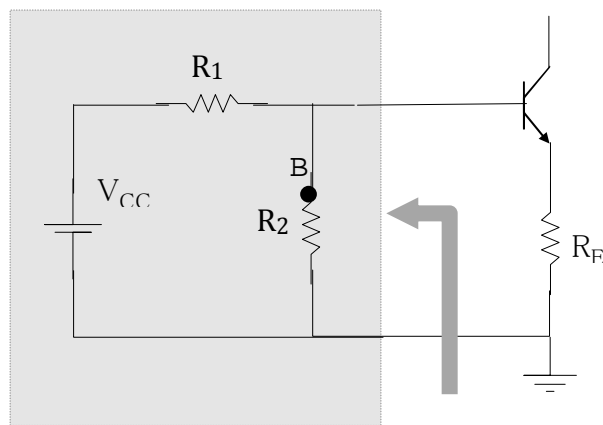
Rangkaian bias pembagi tegangan sering juga disebut dengan bias sendiri (self-bias). Penguat transistor pada umumnya lebih banyak menggunakan rangkaian bias jenis ini, karena stabilitasnya sangat baik. Stabilitasnya lebih baik dari pada rangkaian bias yang sudah dibahas sebelumnya. Gambar 4.12 menunjukkan rangkaian penguat dengan bias pembagi tegangan.

Rangkaian bias pembagi tegangan terdiri atas empat buah resistor, yaitu: R_1 , R_2 , R_C , dan R_E . Resistor R_1 (yang berada di atas) akan menjamin bahwa persambungan kolektor - basis mendapatkan bias mundur, sedangkan resistor R_2 (yang berada di bawah) akan menjamin bahwa persambungan basis - emitor mendapatkan bias maju. Oleh karena itu dengan adanya pembagi tegangan R_1 dan R_2 akan menjamin bahwa transistor dapat bekerja pada daerah aktif. R_C sebagai resistansi beban kolektor, dan R_E sebagai stabilisasi dc.



Gambar 4.12 Rangkaian penguat dengan bias pembagi tegangan

Analisis dc rangkaian bias pembagi tegangan ini dimulai dengan menggambar lagi bagian input dari rangkaian tersebut seperti pada gambar 4.13.

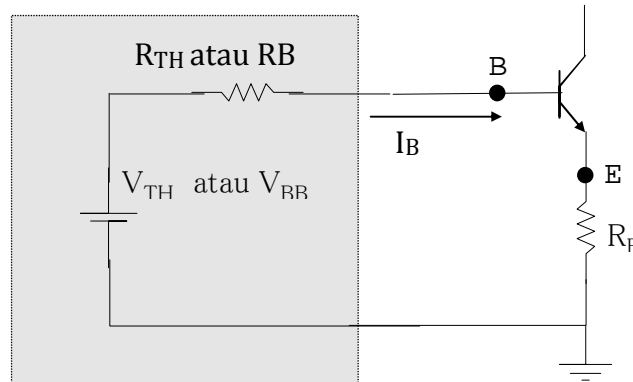


Thevenin

Gambar 4.13 Penggambaran kembali bagian input dari gambar 4.12

Jaringan input dari rangkaian gambar 4.13 diselesaikan dengan metode Thevenin, yaitu menggantinya dengan sebuah sumber tegangan V_{TH} dan sebuah resistansi R_{TH} . Hubungan

antara V_{TH} dan R_{TH} adalah seri, sehingga diperoleh rangkaian ekuivalen yang sederhana. Dalam analisa penguat transistor tegangan Thevenin (V_{TH}) sering disebut dengan V_{BB} dan resistansi Thevenin (R_{TH}) sering disebut dengan R_B . Lihat gambar 4.14.



Gambar 4.14 Rangkaian ekuivalen Thevenin pada input transistor

Harga resistansi dan tegangan Thevenin dari rangkaian ekuivalen adalah sebagai berikut.

Resistansi Thevenin:

$$R_{TH} = R_B = R_1 \parallel R_2$$

$R_B = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$ (4.11)
---	--------------

Tegangan Thevenin:

$$V_{TH} = V_{BB} = V_{R2} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{CC}$$

$V_{BB} = \frac{R_2 \cdot V_{CC}}{R_1 + R_2}$ (4.12)
---	--------------

Dengan menerapkan hukum Kirchhoff tegangan pada ikal input rangkaian ekivalen Thevenin gambar 4.14, dapat ditentukan harga I_B , yaitu:

$$V_{BB} = I_B \cdot R_B + V_{BE} + I_E \cdot R_E$$

karena,

$$I_E = (\beta + 1) I_B$$

maka :

$$V_{BB} = I_B \cdot R_B + V_{BE} + (\beta + 1) I_B \cdot R_E$$

$$V_{BB} = I_B \{R_B + (\beta + 1) R_E\} + V_{BE}$$

$$V_{BB} - V_{BE} = I_B \{R_B + (\beta + 1) R_E\}$$

sehingga diperoleh:

$I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B + (\beta + 1) R_E}$ (4.13)
---	--------------

dimana harga V_{BE} ini sama seperti pembahasan yang lalu yaitu dianggap V_{BE} aktif = 0,7 Volt. Harga I_B yang diperoleh ini merupakan titik kerja transistor yang biasanya disebut dengan I_{BQ} .

Apabila $I_B = I_C/\beta$ dimasukkan pada persamaan 4.13 tersebut, maka harga I_C dapat diperoleh, yaitu:

$I_C = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B/\beta + (1 + 1/\beta) R_E}$ (4.14)
---	--------------

Analisis pendekatan dapat dilakukan apabila $I_E \cong I_C$, yaitu apabila arus I_E dianggap sama dengan arus I_C , maka dapat diperoleh:

$I_C = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B/\beta + R_E}$ (4.15)
---	--------------

Harga arus I_C ini merupakan titik kerja transistor yang sering disebut dengan I_{CQ} .

Persamaan garis beban dapat diperoleh dengan menerapkan hukum Kirchhoff pada ikal output kolektor - emitor, yaitu:

$$VCC = IC.RC + VCE + IE.RE$$

karena:

$$IE = IC + IB$$

$$IE = IC + IC/\beta$$

$$IE = (1 + 1/\beta)IC$$

maka:

$$VCC = IC.RC + VCE + (1 + 1/\beta)IC.RE$$

sehingga diperoleh:

$$VCE = VCC - IC.RC - (1 + 1/\beta)IC.RE \quad \dots(4.16)$$

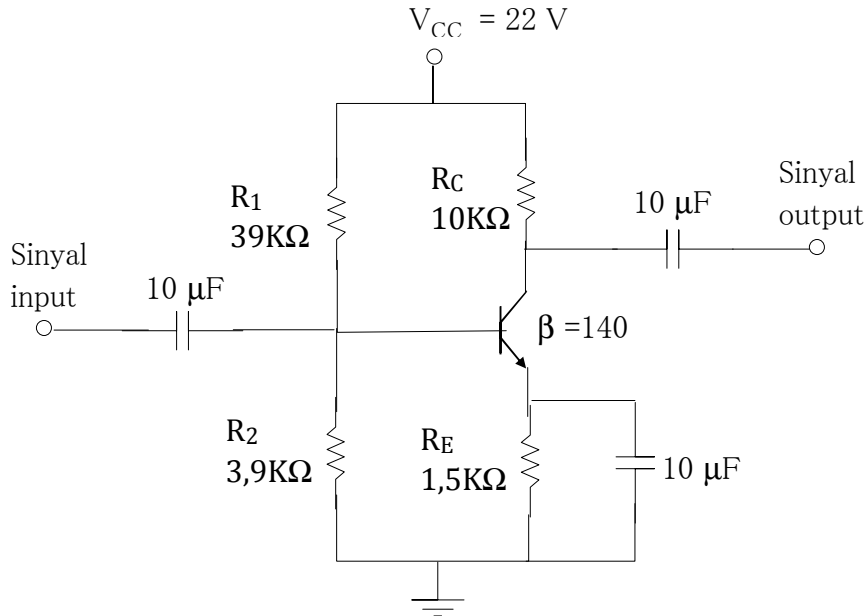
Harga arus IC ini merupakan titik kerja transistor yang sering disebut dengan ICQ.

Analisis pendekatan dapat dilakukan apabila $IE \cong IC$, yaitu arus IE dianggap sama dengan arus IC, maka diperoleh:

$$VCE = VCC - IC(RC + RE) \quad \dots\dots\dots(4.17)$$

Contoh 4.3

Suatu rangkaian penguat menggunakan bias pembagi tegangan seperti pada gambar 4.15. Tentukan titik kerja (I_{CQ} , V_{CEQ}) rangkaian penguat tersebut.



Gambar 4.15 Rangkaian penguat untuk contoh 4.3

Penyelesaian:

$$R_B = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

$$= \frac{(39\text{K}\Omega)(3,9\text{K}\Omega)}{39\text{K}\Omega + 3,9\text{K}\Omega} = 3,55 \text{ k}\Omega$$

$$V_{BB} = \frac{R_2 \cdot V_{CC}}{R_1 + R_2}$$

$$= \frac{(3,9\text{K}\Omega)(22\text{V})}{39\text{K}\Omega + 3,9\text{K}\Omega} = 2 \text{ Volt}$$

$$\begin{aligned}
 I_{CQ} &= \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B/\beta + (1 + 1/\beta)R_E} \\
 &= \frac{2V - 0,7V}{3,55K\Omega/140 + (1 + 1/140)(1,5K\Omega)} = \mathbf{0,85 \text{ mA}} \\
 V_{CEQ} &= V_{CC} - I_C.R_C - (1 + 1/\beta)I_C.R_E \\
 &= 22V - (0,85mA)(10K\Omega) - (1+1/140)(0,85mA)(1,5K\Omega) \\
 &= 22V - (8,5V) - (1.28V) \\
 &= \mathbf{12,22 \text{ V}}
 \end{aligned}$$

Perhitungan pendekatan:

$$\begin{aligned}
 I_{CQ} &= \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B/\beta + R_E} \\
 &= \frac{2V - 0,7V}{2K\Omega/140 + 1,5K\Omega} = \mathbf{0,86 \text{ mA}} \\
 V_{CE} &= V_{CC} - I_C(R_C + R_E) \\
 &= 22V - (0,86mA)(10K\Omega + 1,5K\Omega) \\
 &= 22V - 9,86V \\
 &= \mathbf{12,14 \text{ Volt}}
 \end{aligned}$$

Perbandingan hasil antara analisis tepat dan pendekatan untuk I_{CQ} adalah 0,85 mA dan 0,86 mA, sedangkan untuk V_{CEQ} adalah 12,22 V dan 12,14 V. Terlihat bahwa perbedaannya sangat kecil. Semakin besar harga beta (β) semakin kecil perbedaannya.

Sebagaimana telah dilakukan pada rangkaian bias tetap yakni membuktikan pengaruh perubahan beta (β) terhadap titik kerja transistor, maka apabila contoh 4.3 diulangi lagi tetapi untuk harga β sebesar 70, maka diperoleh hasil sebagai berikut:

β	$I_{CQ}(mA)$	$V_{CEQ}(V)$
140	0.85	12,22
70	0,83	12,46

Hasil tersebut menunjukkan bahwa meskipun harga β turun setengahnya, ternyata titik kerja transistor hampir sama. Hal ini terbukti bahwa stabilitas rangkaian bias pembagi tegangan terhadap perubahan β sangat baik.

4.6 Garis Beban DC dan AC

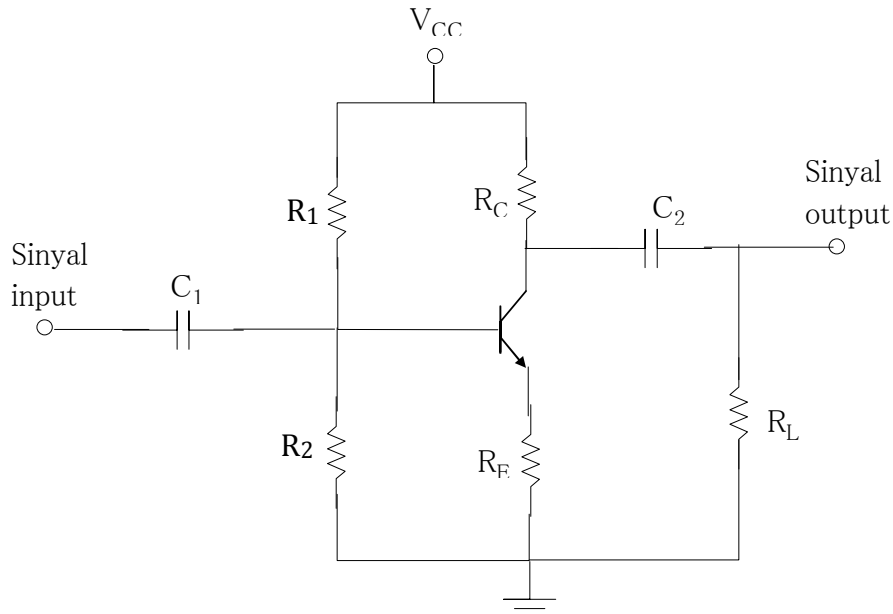
Sebagaimana telah disinggung sebelumnya bahwa titik kerja suatu transistor dalam rangkaian penguat selalu terletak pada garis beban. Garis beban dc dibuat berdasarkan tanggapan rangkaian terhadap tegangan dc (tegangan catu daya), dan garis beban ac diperoleh karena tanggapan rangkaian terhadap sinyal ac. Dengan adanya garis beban dc dan ac pada kurva karakteristik, maka kondisi kerja transistor dapat diketahui dan penerapan sinyal ac pada penguat dapat dianalisis dengan mudah.

Perhatikan rangkaian penguat Emitor Bersama (Common Emitter = CE) dengan bias pembagi tegangan pada gambar 4.14. Tanggapan rangkaian penguat tersebut terhadap tegangan dc lebih sederhana karena semua kapasitor diganti dengan rangkaian terbuka. Beban pada ikal kolektor-emitor adalah RC dan RE. Oleh karena itu beban ini disebut dengan beban dc (Rdc).

$$R_{dc} = RC + RE$$

Sedangkan tanggapan terhadap sinyal ac, semua kapasitor (C kopling dan C by-pass) dan catu daya dc (VCC) dianggap hubung singkat. Dengan demikian karena terminal untuk VCC terhubung ke tanah (ground) dan kapasitor C2 dianggap hubung singkat, maka resistor RC dan resistor RL terhubung paralel ($RC \parallel RL$). Beban pada ikal kolektor-emitor adalah resistor $RC \parallel RL$ dan resistor RE. Beban ini disebut dengan beban ac (Rac).

$$R_{ac} = (RC \parallel RL) + RE$$



Gambar 4.16 Rangkaian penguat CE dengan bias pembagi tegangan

Untuk mendapatkan garis beban dc beban yang digunakan adalah beban dc (R_{dc}). Kemiringan garis beban dc adalah $-1/R_{dc}$. Demikian pula bila ingin mendapatkan garis beban ac, maka yang digunakan adalah beban ac (R_{ac}). Kemiringan garis beban ac adalah $-1/R_{ac}$.

Persamaan garis beban dc untuk rangkaian CE dari gambar 4.16 adalah:

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C(R_C + R_E) \dots\dots\dots (4.18)$$

Untuk menggambarkan persamaan garis beban ini kedalam kurva karakteristik output, maka perlu dicari dua titik ekstrem dan menghubungkan keduanya. Dua titik ini adalah satu titik berada di sumbu X (tegangan V_{CE}) yang berarti arus I_C nya menjadi nol dan satu titik lainnya berada di sumbu Y (arus I_C) yang berarti bahwa tegangan V_{CE} nya menjadi nol.

Titik pertama, pada saat arus $I_C = 0$, maka diperoleh tegangan V_{CE} maksimum (transistor dalam keadaan mati). Dengan memasukkan harga $I_C = 0$ ini ke persamaan garis beban dc diperoleh:

$$V_{CEmaks} = V_{CC} \dots\dots\dots (4.19)$$

Titik kedua, pada saat tegangan $V_{CE} = 0$, maka diperoleh arus I_C maksimum (transistor dalam keadaan jenuh). Dengan memasukkan harga $V_{CE} = 0$ ini ke persamaan garis beban dc diperoleh:

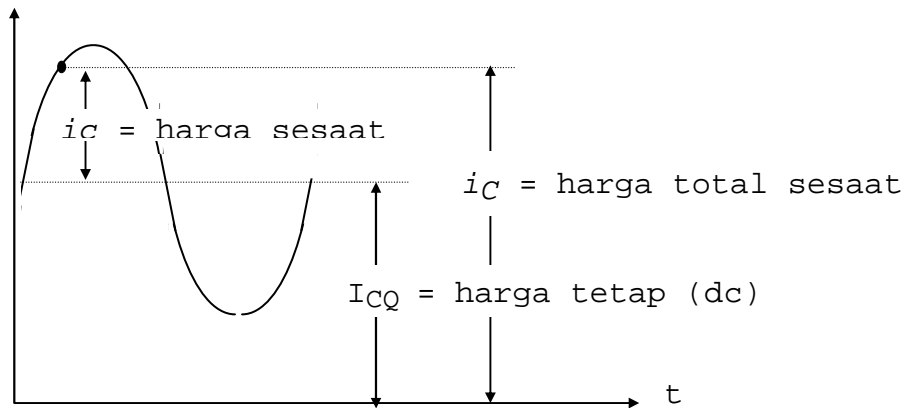
$$I_{Cmaks} = \frac{V_{CC}}{R_C + R_E}$$

$$I_{Cmaks} = \frac{V_{CC}}{R_{dc}}$$

..... (4.20)

Selanjutnya adalah menentukan garis beban ac. Oleh karena titik nol (titik awal) dari sinyal ac yang diumpangkan ke penguat selalu berada pada titik kerja (titik Q), maka garis beban ac selalu berpotongan dengan garis beban dc pada titik Q tersebut. Dengan demikian cara yang paling mudah untuk mendapatkan garis beban ac adalah dengan memasukkan harga ac dari arus I_C dan tegangan V_{CE} kedalam persamaan garis beban dc.

Harga ac dari besaran arus dalam hal ini adalah i_C dapat dilihat pada gambar 4.15. Dengan cara yang sama dapat diperoleh harga besaran tegangan v_{CE} .



Gambar 4.17 Notasi besaran arus pada sinyal ac

Besaran arus:

$$i_c = i_C - I_{CQ}$$

Besaran tegangan:

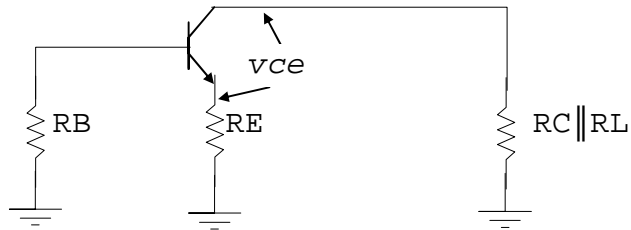
$$v_{ce} = v_{CE} - V_{CEQ}$$

Oleh karena C_2 dan V_{CC} dianggap hubung singkat ($V_{CC} = 0$), maka rangkaian ekuivalen ac dari gambar 4.16 adalah seperti pada gambar 4.18 dan diperoleh persamaan umum garis beban ac, yaitu:

$$v_{ce} = 0 - i_c (R_{ac})$$

$$v_{ce} = -i_c (R_{ac})$$

dimana: $R_{ac} = R_E + R_C \parallel R_L$



Gambar 4.18. Rangkaian ekuivalen ac dari gambar 4.16

Apabila besaran arus dan tegangan ac dimasukkan pada persamaan tersebut, maka diperoleh persamaan garis beban ac:

$$v_{ce} = -i_c (R_{ac})$$

$(v_{CE} - V_{CEQ}) = -(i_C - I_{CQ})(R_{ac})$	$\dots\dots(4.21)$
--	--------------------

Cara menggambar garis beban ac adalah seperti halnya menggambar garis beban dc, yakni dengan melalui dua titik ekstrem.

Titik pertama, pada saat $i_C = 0$, maka diperoleh harga v_{CE} maksimum. Dengan memasukkan harga $i_C = 0$ ini kedalam persamaan garis beban ac diperoleh:

$$(v_{CE} - V_{CEQ}) = -(i_C - I_{CQ})(R_{ac})$$

$$(v_{CEmaks} - V_{CEQ}) = -(0 - I_{CQ})(R_{ac})$$

$$(v_{CEmaks} - V_{CEQ}) = (I_{CQ})(R_{ac})$$

$v_{CEmaks} = V_{CEQ} + (I_{CQ})(R_{ac})$	$\dots\dots(4.22)$
---	--------------------

Titik kedua, pada saat $v_{CE} = 0$, maka diperoleh harga i_C maksimum. Dengan memasukkan harga $v_{CE} = 0$ ini kedalam persamaan garis beban ac diperoleh:

$$(v_{CE} - V_{CEQ}) = -(i_C - I_{CQ})(R_{ac})$$

$$(0 - V_{CEQ}) = -(i_{Cmaks} - I_{CQ})(R_{ac})$$

$$-(V_{CEQ}) = -(i_{Cmaks} - I_{CQ})(R_{ac})$$

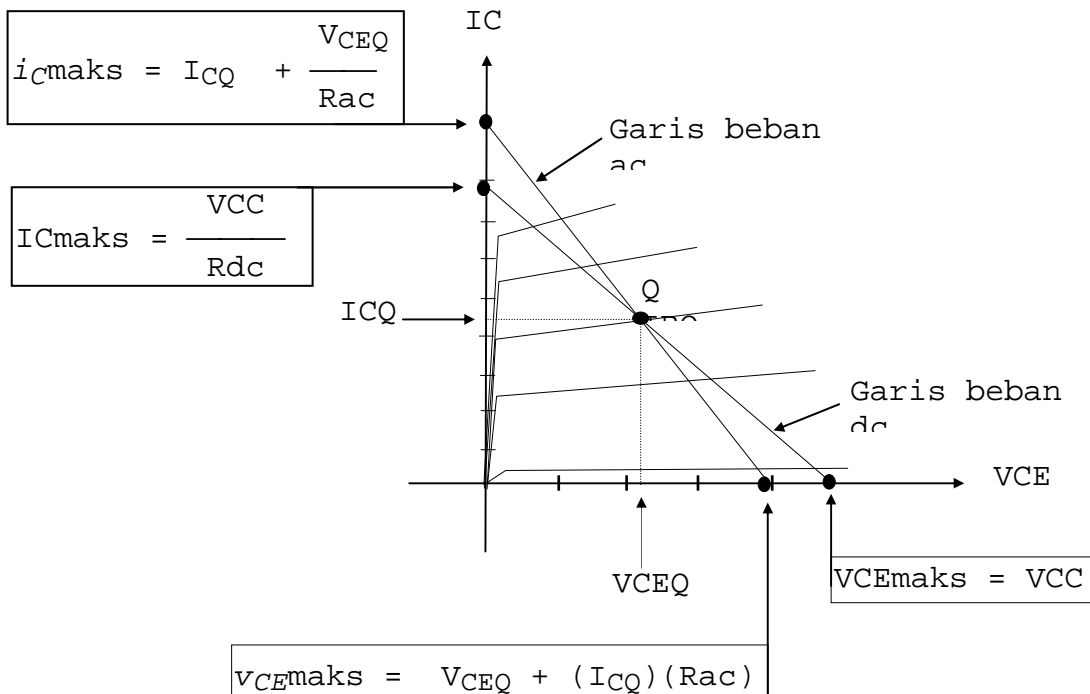
$$-(V_{CEQ}) = -(i_{Cmaks})(R_{ac}) + (I_{CQ})(R_{ac})$$

$$(i_{Cmaks})(R_{ac}) = (I_{CQ})(R_{ac}) + (V_{CEQ})$$

$$i_{Cmaks} = I_{CQ} + \frac{V_{CEQ}}{R_{ac}}$$

..... (4.23)

Garis beban dc dan ac dapat digambarkan pada kurva karakteristik output penguat CE seperti pada gambar 4.19.



Gambar 4.19. garis beban dac dan ac pada penguat CE

4.7 Analisis dan Desain

Menganalisis titik kerja suatu rangkaian penguat berarti menentukan posisi titik Q dengan menghitung arus ICQ dan VCEQ dari suatu rangkaian yang sudah diketahui spesifikasi komponen-komponennya. Pada penguat CE dengan bias pembagi tegangan, harga-harga R1, R2, RE, RC, VCC, VBE, dan RL sudah diketahui, sehingga bisa dihitung IB dengan bantuan Thevenin. Selanjutnya bisa ditentukan ICQ dan VCEQnya. Garis beban dc dan ac dapat digambarkan pada kurva output. Dengan melihat posisi titik Q pada garis beban, maka sinyal output maksimum tanpa cacat bisa dihitung.

Sedangkan dalam mendesain, urutan proses adalah kebalikan dari menganalisa, karena akhir dari perencanaan adalah menentukan komponen-komponen rangkaian penguat. Permasalahan dimulai dari kondisi penguat yang diinginkan, kemudian bekerja dari ikal emitor-kolektor, sampai diperoleh harga R1 dan R2 yang sesuai. Namun biasanya harga VCC, VBE, β , dan RL bisa ditentukan lebih dahulu. Sedangkan RC dan RE berhubungan dengan penguatan tegangan (arus), dan impedansi input (output) yang akan dibahas pada bab berikutnya.

Prosedur analisis titik kerja rangkaian penguat dengan bias pembagi tegangan (gambar 4.12).

Langkah 1.

Menggunakan R1 dan R2 untuk menentukan ekivalen Thevenin RB dan VBB. Persamaan 4.11 dan 4.12

$$R_B = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

$$V_{BB} = \frac{R_2 \cdot V_{CC}}{R_1 + R_2}$$

Langkah 2.

Menggunakan persamaan bias untuk menghitung ICQ. Persamaan 4.14 (tepat) atau 4.15 (pendekatan).

$$I_{CQ} = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B/\beta + (1 + 1/\beta)R_E}$$

atau

$$I_{CQ} = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B/\beta + R_E}$$

Langkah 3.

Menghitung V_{CEQ} dengan menggunakan persamaan garis beban dc. Persamaan 4.16 (tepat) atau 4.17 (pendekatan).

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C.R_C - (1 + 1/\beta)I_C.R_E$$

atau

$$V_{CE} = V_{CC} - I_{CQ}(R_{dc})$$

Langkah 4.

Menentukan garis beban dc dan ac pada kurva karakteristik output. Persamaan 4.19 dan 4.20 untuk garis beban dc

$$V_{CEmaks} = V_{CC}$$

$$I_{Cmaks} = \frac{V_{CC}}{R_{dc}}$$

dan persamaan 4.22 dan 4.23 untuk garis beban ac.

$$v_{CEmaks} = V_{CEQ} + (I_{CQ})(R_{ac})$$

$$i_{cmaks} = I_{CQ} + \frac{V_{CEQ}}{R_{ac}}$$

Langkah 5.

Menentukan sinyal output maksimum tanpa cacat dari posisi titik Q pada kurva output.

$$V_{omaks(p-p)} = 2i_c(p) \times (R_C \parallel R_L) \dots\dots(4.24)$$

dimana:

$V_{omaks(p-p)}$ adalah tegangan output (sinyal ac) maksimum tanpa cacat yang merupakan harga dari puncak ke puncak.

$i_{c(p)}$ adalah arus output (sinyal ac) maksimum tanpa cacat yang merupakan harga puncak. Harga $i_{c(p)}$ sesuai dengan posisi titik Q pada garis beban ac, yaitu:

$i_{c(p)} = I_{CQ}$, apabila titik Q terletak pada kurang dari setengah garis beban ac.

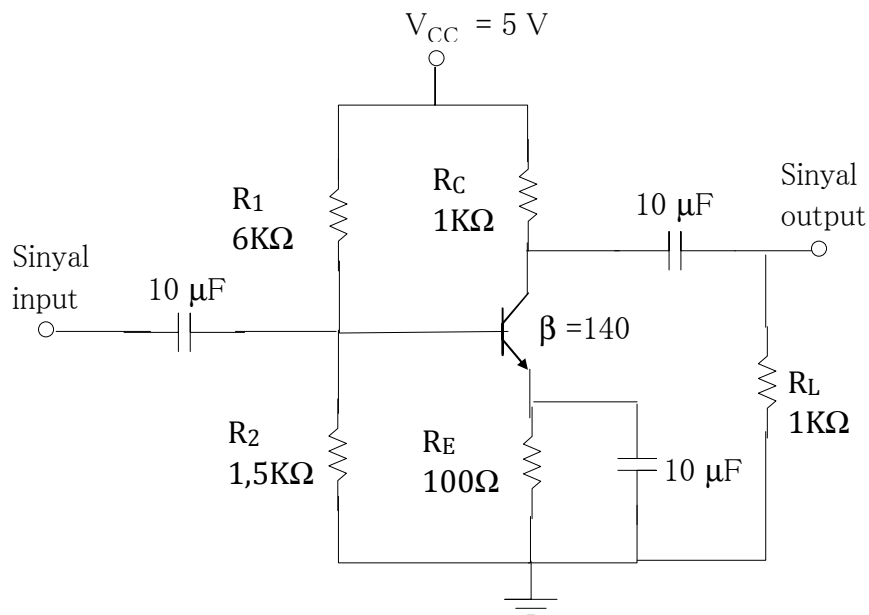
$i_{c(p)} = i_{Cmaks} - I_{CQ}$, apabila titik Q terletak pada lebih dari setengah garis beban ac.

Apabila titik Q tepat ditengah garis beban ac, boleh pakai salah satu, karena $i_{Cmaks} = 2I_{CQ}$.

Contoh 4.4

Diketahui rangkaian penguat CE seperti gambar 4.20. Tentukan : a. Titik kerja rangkaian (I_{CQ} dan V_{CEQ})

- Garis beban dc dan ac
- Tegangan output maksimum yang dimungkinkan dari penguat tersebut.



Gambar 4.20. Rangkaian penguat CE untuk contoh 4.4

Penyelesaian:

a. Titik kerja

$$\begin{aligned}R_B &= \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \\ &= \frac{(6\text{K}\Omega)(1,5\text{K}\Omega)}{6\text{K}\Omega + 1,5\text{K}\Omega} = \mathbf{1,2 \text{ K}\Omega}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}V_{BB} &= \frac{R_2 \cdot V_{CC}}{R_1 + R_2} \\ &= \frac{(1,5\text{K}\Omega)(5\text{V})}{6\text{K}\Omega + 1,5\text{K}\Omega} = \mathbf{1 \text{ Volt}}\end{aligned}$$

Perhitungan pendekatan untuk I_{CQ} dan V_{CEQ} :

$$\begin{aligned}I_{CQ} &= \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B/\beta + R_E} \\ &= \frac{1\text{V} - 0,7\text{V}}{1,2\text{K}\Omega/140 + 0,1\text{K}\Omega} = \mathbf{2,76 \text{ mA}}\end{aligned}$$

$$R_{dc} = R_C + R_E = 1\text{K}\Omega + 100\Omega = 1,1 \text{ K}\Omega$$

$$R_{ac} = R_C \parallel R_L = 1\text{K}\Omega \parallel 1\text{K}\Omega = 0,5 \text{ K}\Omega$$

$$\begin{aligned}V_{CEQ} &= V_{CC} - I_{CQ}(R_{dc}) \\ &= 5\text{V} - (2,76\text{mA})(1,1\text{K}\Omega) \\ &= \mathbf{1,96 \text{ Volt}}\end{aligned}$$

b. Garis beban dc

$$V_{CEmaks} = V_{CC} = 5 \text{ Volt}$$

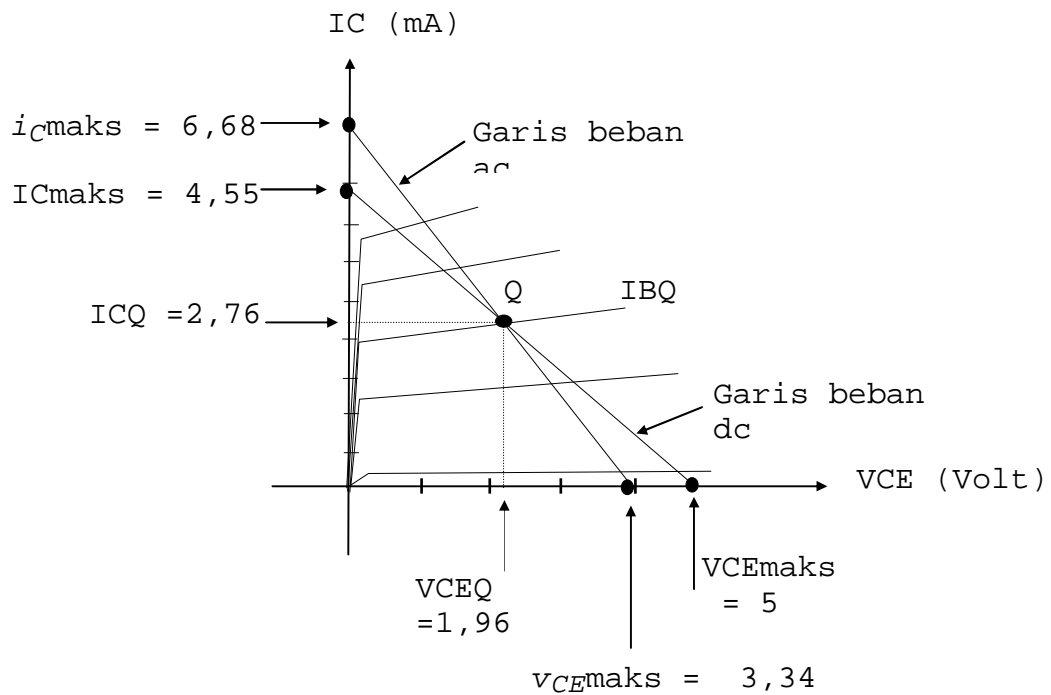
$$I_{Cmaks} = \frac{V_{CC}}{R_{dc}} = \frac{5V}{1,1 \text{ K}\Omega} = 4,55 \text{ mA}$$

Garis beban ac

$$\begin{aligned} v_{CEmaks} &= V_{CEQ} + (I_{CQ})(R_{ac}) \\ &= 1,96V + (2,76\text{mA})(0,5\text{K}\Omega) = 3,34 \text{ Volt} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} i_{cmaks} &= I_{CQ} + \frac{V_{CEQ}}{R_{ac}} \\ &= 2,76\text{mA} + \frac{1,96V}{0,5\text{K}\Omega} = 6,68 \text{ mA} \end{aligned}$$

Gambar garis beban dc dan ac adalah seperti pada gambar 4.21.



Gambar 4.21. Gambar garis beban dc dan ac

c. Tegangan output maksimum

Persamaan 4.24

$$V_{omaks(p-p)} = 2i_{c(p)} \times (RC \parallel RL)$$

Karena $I_{CQ} = 2,76mA < (1/2)(i_{cmaks}) = 3.34mA$

maka :

$$\begin{aligned} V_{omaks(p-p)} &= 2(I_{CQ})(RC \parallel RL) \\ &= 2(2,76mA)(0,5K\Omega) = 2,76 V_{p-p} \end{aligned}$$

Prosedur desain titik kerja rangkaian penguat dengan bias pembagi tegangan (gambar 4.16).

Langkah 1.

Menentukan atau memilih titik Q sesuai kebutuhan. Apabila diinginkan agar penguat dapat menghasilkan sinyal output (ac) semaksimal mungkin tanpa adanya cacat, maka titik Q harus diletakkan ditengah garis beban ac. Dengan demikian $i_{cmaks} = 2I_{CQ}$, dan bila ini dimasukkan pada persamaan 4.23 maka:

$$i_{cmaks} = I_{CQ} + \frac{V_{CEQ}}{R_{ac}}$$

$$2I_{CQ} = I_{CQ} + \frac{V_{CEQ}}{R_{ac}}$$

$$I_{CQ} = \frac{V_{CEQ}}{R_{ac}}$$

$V_{CEQ} = (I_{CQ})(R_{ac})$ (4.25)
------------------------------	----------------

Apabila persamaan 4.25 ini dimasukkan ke persamaan garis beban dc, maka:

$$V_{CC} = V_{CEQ} + (I_{CQ})(R_{dc})$$

$$V_{CC} = (I_{CQ})(R_{ac}) + (I_{CQ})(R_{dc})$$

$I_{CQ} = \frac{V_{CC}}{(R_{ac} + R_{dc})}$ (4.26)
---	----------------

Setelah harga ICQ diketahui, maka $VCEQ$ dapat dihitung dengan persamaan 4.22. Apabila penguat tidak diinginkan untuk menghasilkan sinyal output maksimum, maka persamaan 4.25 dan 4.26 pada langkah 1 ini tidak berlaku.

Langkah 2.

Menentukan harga RB

Agar diperoleh stabilitas bias yang baik, maka harga RB paling tinggi harus sebesar $0.1\beta RE$, yaitu:

$RB \leq 0.1\beta RE$ (4.27)
-----------------------	----------------

Langkah 3.

Menentukan harga VTH atau VBB dengan menggunakan persamaan bias (persamaan 4.15)

$$ICQ = \frac{VBB - VBE}{RB/\beta + RE}$$

$$VBB = VBE + ICQ (RB/\beta + RE)$$

Langkah 4

Menentukan $R1$ dan $R2$ dari VBB dan RB (persamaan 4.11 dan 4.12)

$$RB = \frac{R1 \cdot R2}{R1 + R2}$$

$$VBB = \frac{R2 \cdot VCC}{R1 + R2}$$

Dari kedua persamaan tersebut dapat diturunkan harga $R1$ (yang berada di atas) dan $R2$ (yang berada di bawah) dari gambar 4.16, yaitu:

$$VBB = \frac{R2 \cdot VCC}{R1 + R2}$$

$$V_{BB} = \frac{(R1) \cdot R2}{R1 + R2} \cdot \frac{VCC}{(R1)}$$

$$V_{BB} = R_B \cdot \frac{VCC}{R1}$$

$$R1 = \frac{R_B \cdot VCC}{V_{BB}}$$

..... (4.28)

Selanjutnya mencari R2:

$$V_{BB} = \frac{R2 \cdot VCC}{R1 + R2}$$

$$R2 \cdot VCC = R1 \cdot V_{BB} + R2 \cdot V_{BB}$$

$$R2 \cdot VCC = R_B \cdot VCC + R2 \cdot V_{BB}$$

$$R2 \cdot (VCC - V_{BB}) = R_B \cdot VCC$$

$$R2 = \frac{R_B \cdot VCC}{VCC - V_{BB}}$$

..... (4.29)

Langkah 5.

Menentukan sinyal output maksimum tanpa cacat dari posisi titik Q pada kurva output, sebagaimana langkah 5 pada prosedur analisa titik kerja.

Contoh 4.5

Dari contoh 4.4 ternyata bahwa penguat pada gambar 4.20 belum menghasilkan sinyal output yang maksimum, terlihat dari letak titik Q-nya yang tidak ditengah garis beban ac. Oleh karena itu rencanakan agar penguat tersebut dapat menghasilkan sinyal output maksimum, tentunya hanya dengan mengganti harga R1 dan R2 yang sesuai.

Penyelesaian:

Persamaan 4.26

$$I_{CQ} = \frac{VCC}{(R_{ac} + R_{dc})} = \frac{5V}{(0,5K\Omega + 1,1K\Omega)} = 3.13 \text{ mA}$$

Persamaan 4.25

$$V_{CEQ} = (I_{CQ})(R_{ac}) = (3.13\text{mA})(0,5\text{K}\Omega) = \mathbf{1,56 \text{ Volt}}$$

Persamaan 4.27

$$R_B \leq 0.1\beta R_E$$

Untuk mendapatkan stabilitas bias yang baik R_B dibuat sama dengan $0.1\beta R_E$

$$R_B = (0,1)(140)(100\Omega) = \mathbf{1,4 \text{ K}\Omega}$$

dan

$$\begin{aligned} V_{BB} &= V_{BE} + I_{CQ} (R_B/\beta + R_E) \\ &= 0,7\text{V} + (3.13\text{mA}) \{ (1,4\text{K}\Omega/140) + 0,1\text{K}\Omega \} \\ &= \mathbf{1,044 \text{ Volt}} \end{aligned}$$

Dengan demikian bisa diperoleh R_1 dan R_2 dengan persamaan 4.28 dan 4.29.

$$R_1 = \frac{R_B \cdot V_{CC}}{V_{BB}} = \frac{(1,4\text{K}\Omega)(5\text{V})}{1,044} = \mathbf{6,7 \text{ K}\Omega}$$

$$R_2 = \frac{R_B \cdot V_{CC}}{V_{CC} - V_{BB}} = \frac{(1,4\text{K}\Omega)(5\text{V})}{5\text{V} - 1,044\text{V}} = \mathbf{1,77 \text{ Volt}}$$

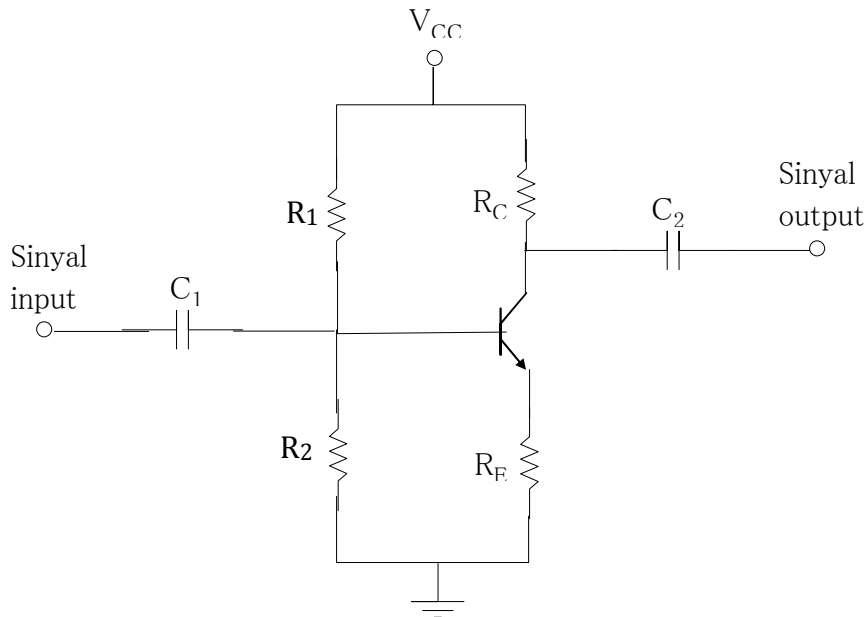
4.8 Ringkasan

Pemberian tegangan bias merupakan syarat mutlak agar rangkaian transistor dapat bekerja. Rangkaian bias tetap merupakan cara pemberian tegangan bias yang sangat sederhana. Kerugiannya adalah bahwa stabilitas biasnya sangat jelek, sehingga perlu diberi stabilisasi berupa resistor emitor.

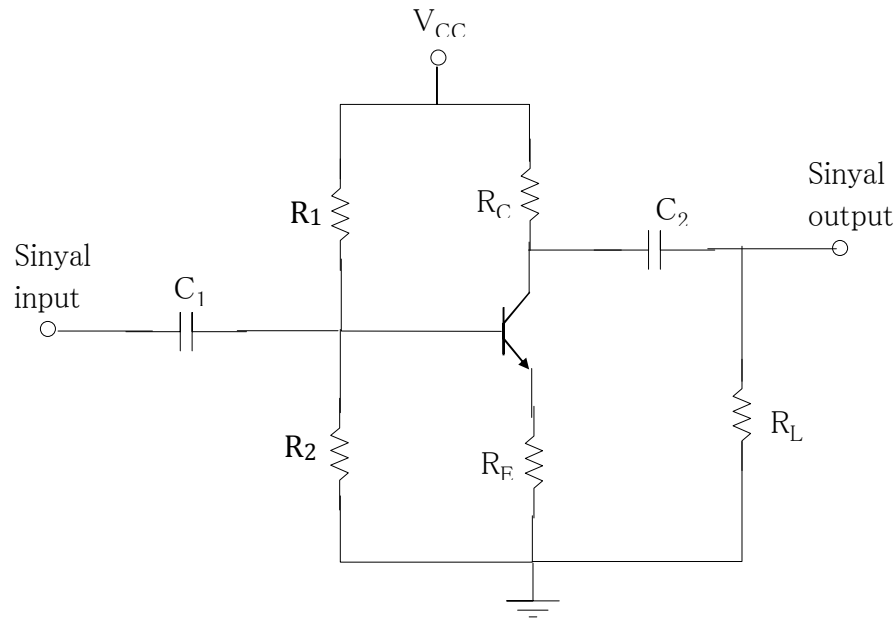
Rangkaian bias yang paling banyak digunakan dalam rangkain penguat transistor adalah bias pembagi tegangan atau sering juga disebut dengan self-bias. Stabilitas biasnya sangat baik, sehingga titik kerja transistor hampir tidak dipengaruhi oleh besarnya β .

4.10 Soal Latihan

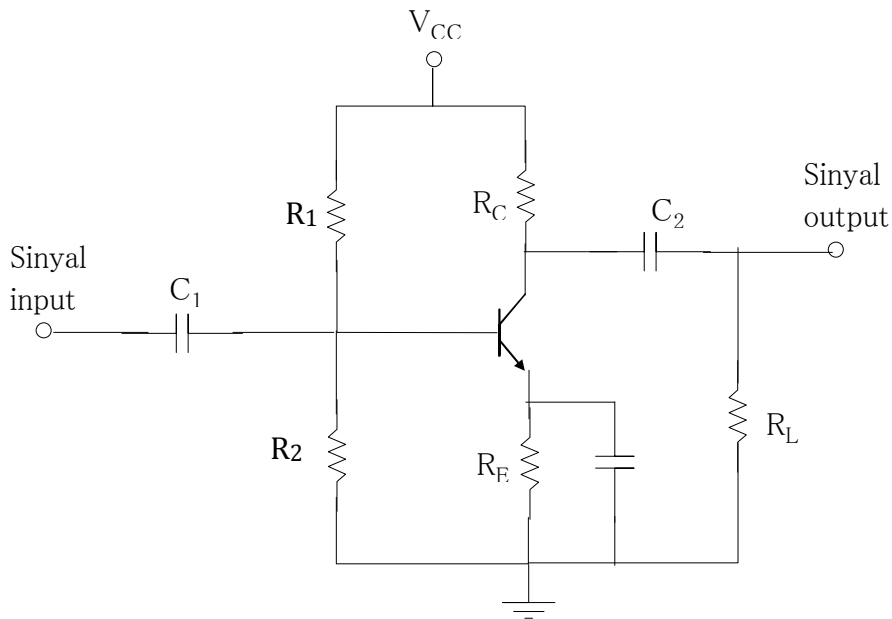
1. Perhatikan rangkaian penguat transistor di bawah. Bila diketahui $R_1 = 22 \text{ K}\Omega$, $R_2 = 10 \text{ K}\Omega$, $R_C = 1 \text{ K}\Omega$, $R_E = 560 \Omega$, $\beta = 100$, $V_{BE\text{aktif}} = 0,7 \text{ V}$, $V_{CC} = 12 \text{ Volt}$, tentukan titik kerja transistor dan gambarkan garis beban dc-nya. Periksa juga apakah stabilitas biasnya mantap!



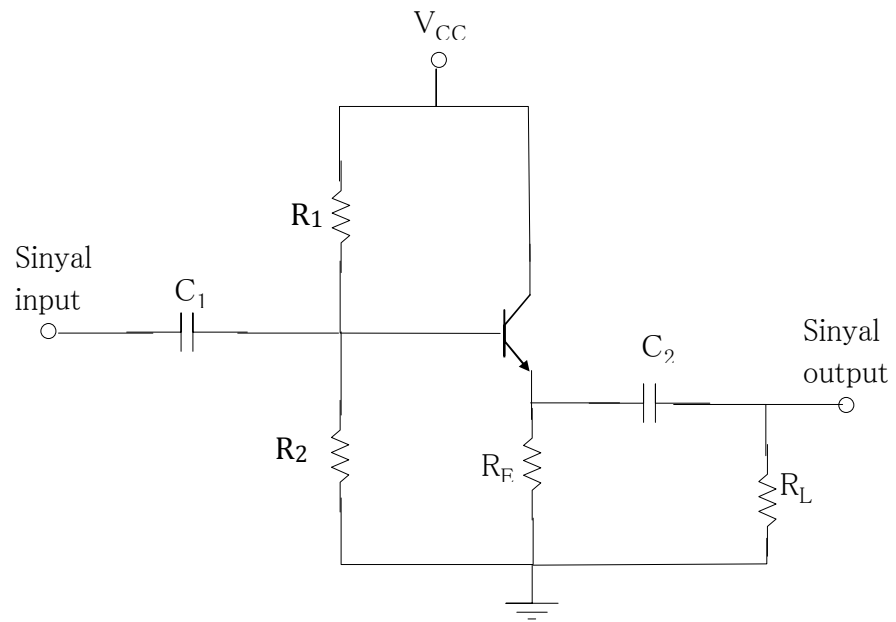
2. Perhatikan soal no.1, apabila diinginkan agar rangkaian tersebut dapat menghasilkan sinyal output yang maksimum, hitung kembali harga R_1 dan R_2 . Spesifikasi rangkaian kecuali R_1 dan R_2 adalah sama seperti soal no.1.
3. Perhatikan rangkaian penguat seperti gambar di bawah. Apabila diketahui: $R_1 = 82 \text{ K}\Omega$, $R_2 = 27 \text{ K}\Omega$, $R_C = 1,2 \text{ K}\Omega$, $R_E = 560 \Omega$, $R_L = 2 \text{ K}\Omega$, $\beta = 150$, $V_{BE\text{aktif}} = 0,7 \text{ V}$, $V_{CC} = 12 \text{ Volt}$, tentukan titik kerja transistor dan gambarkan garis beban dc dan ac-nya. Tentukan pula kemungkinan tegangan output maksimum yang bisa dihasilkan rangkaian tersebut.



4. Agar rangkaian dari soal no. 3 dapat menghasilkan sinyal maksimum, hitunglah kembali nilai R_1 dan R_2 . Spesifikasi komponen lainnya adalah sama seperti soal no.3.
5. Ulangi soal no.3 tetapi dengan menambahkan sebuah kapasitor paralel dengan R_E . Semua spesifikasi komponen adalah sama. Dari hasil ini, jelaskan perbedaannya bila R_E di-paralel dengan kapasitor.
6. Ulangi soal no.3 tetapi dengan mengganti harga β sebesar 300 dan komponen lainnya tetap. Bandingkan titik kerja kedua soal tersebut, yakni dengan mengubah harga β dua kali lipat.
7. Perhatikan rangkaian penguat dibawah. Bila diinginkan harga $V_{CEQ} = 1.14$ Volt dan diketahui $R_C = 1,5 \text{ K}\Omega$, $R_E = 480 \Omega$, $R_L = 5 \text{ K}\Omega$, $\beta = 250$, $V_{BE\text{aktif}} = 0,7 \text{ V}$, $V_{CC} = 15$ Volt, tentukan (a) harga R_1 dan R_2 , (b) garis beban dc dan ac, (c) tegangan output maksimum (V_{p-p}).



8. Perhatikan soal no.7 kembali. Apabila diinginkan agar tegangan output bisa semaksimal mungkin (V_{CEQ} **tidak** diketahui), dan spesifikasi rangkaian sama (kecuali harga V_{CEQ} yang tidak diketahui), tentukan nilai R_1 dan R_2 .
9. Perhatikan rangkaian penguat dibawah (halaman sebaliknya). Bila diinginkan harga $V_{CEQ} = 5$ Volt dan diketahui $R_E = 680 \Omega$, $R_L = 5 \text{ K}\Omega$, $\beta = 150$, $V_{BE\text{aktif}} = 0,7 \text{ V}$, $V_{CC} = 15$ Volt, tentukan (a) harga R_1 dan R_2 , (b) garis beban dc dan ac, (c) tegangan output maksimum (V_{p-p}).
10. Perhatikan soal no.9 kembali. Apabila diinginkan agar tegangan output bisa semaksimal mungkin (V_{CEQ} **tidak** diketahui), dan spesifikasi rangkaian sama (kecuali harga V_{CEQ} yang tidak diketahui), tentukan nilai R_1 dan R_2 .



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.