

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

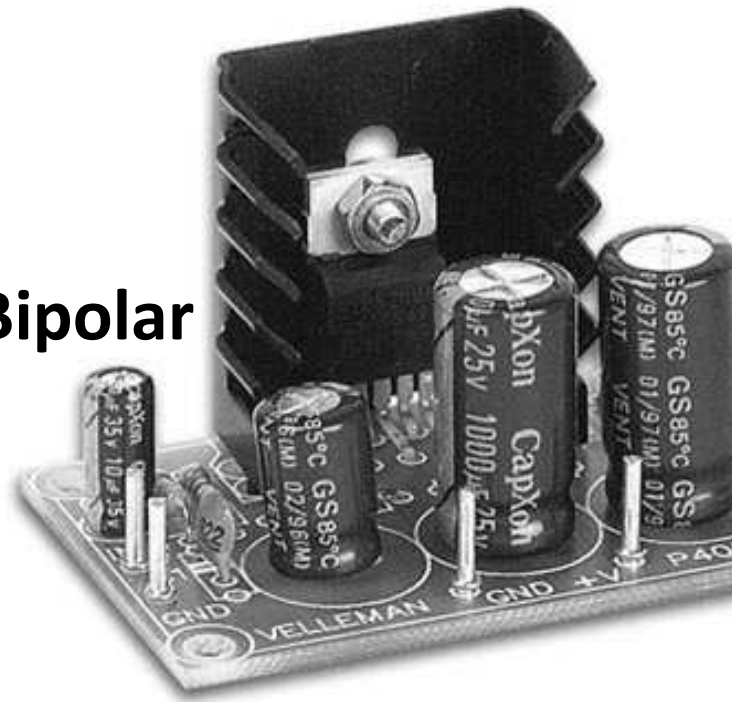
Daftar Isi

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 5

Penguat Transistor Bipolar



5.1 Pendahuluan

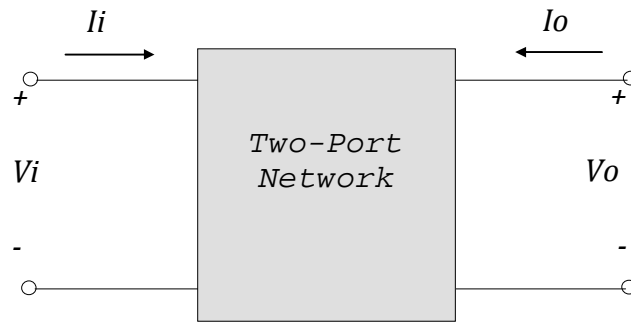
Bada bab 4 telah dibahas rangkaian bias yang menentukan titik kerja transistor. Transistor diberi tegangan bias sedemikian rupa sehingga dapat dihasilkan sinyal output maksimum. Dalam bab ini pembahasan akan dikonsentrasikan pada analisa penguat sinyal kecil dengan menggunakan rangkaian ekivalen. Metode rangkaian ekivalen yang dipakai adalah parameter hibrid. Parameter hibrid ini banyak dipakai baik di kalangan industri maupun akademisi.

5.2 Parameter Penguat

Sebelum masuk rangkaian ekivalen transistor secara rinci, terlebih dahulu akan dibahas beberapa parameter yang penting dalam pembicaraan tentang penguat. Rangkaian penguat pada dasarnya merupakan jaringan dengan dua pasang terminal (two-port network). Satu pasang pada sisi input yang terletak di sebelah kiri merupakan terminal untuk jalan masuk sinyal input dan satu pasang lainnya pada sisi output di sebelah kanan merupakan jalan keluar sinyal output. Lihat gambar 5.1.

Pada sisi input terdapat impedansi input, Z_i , yang menurut hukum Ohm adalah:

$$Z_i = \frac{V_i}{I_i} \dots \dots \dots (5.1)$$



Gambar 5.1 Jaringan dengan dua pasang terminal

Pada frekuensi rendah hingga menengah (umumnya kurang dari 100 KHz), impedansi input suatu transistor bipolar adalah resistif murni. Nilai resistansinya berkisar antara beberapa Ohm hingga mega Ohm tergantung dari konfigurasi rangkaian transistor yang dipakai. Nilai Z_i ini tidak bisa diukur dengan Ohmmeter.

Pentingnya parameter Z_i bagi suatu sistem akan sangat terasa apabila sumber sinyal yang dimasukkan tidak ideal. Sumber sinyal yang tidak ideal adalah yang tahanan dalamnya tidak nol. Apabila sumber sinyalnya ideal, maka semua sinyal dari sumber akan diterima oleh sistem penguat. Namun bila sumber sinyal tidak ideal, maka tahanan dalam dari sumber akan terhubung seri dengan Z_i , sehingga sinyal yang diterima sistem penguat mengikuti hukum Kirchhoff tegangan.

Parameter kedua adalah Impedansi Output, Z_o . Impedansi output ditentukan pada terminal output melihat belakang ke dalam sistem dengan sinyal input dibuat nol. Untuk memperoleh Z_o , sumber sinyal diberikan pada terminal output dan sesuai dengan hukum Ohm, yaitu:

$$Z_o = \frac{V_o}{I_o} \dots\dots\dots (5.2)$$

Pada frekuensi rendah hingga menengah (umumnya kurang dari 100 KHz), impedansi output suatu transistor bipolar adalah resistif murni. Nilai resistansinya berkisar antara beberapa Ohm hingga 2 MOhm tergantung dari konfigurasi rangkaian transistor yang dipakai. Sebagaimana nilai Z_i , nilai Z_o ini juga tidak bisa diukur dengan Ohmmeter.

Impedansi output Z_o perlu diperhatikan sehubungan dengan rangkaian penguat pada tingkat berikutnya. Untuk penguat arus diharapkan mempunyai impedansi output sebesar-besarnya agar semua arus output bisa mencapai beban atau tingkat berikutnya.

Parameter ketiga adalah Penguatan Tegangan, A_v , yang merupakan salah satu karakteristik penguat yang sangat penting. Definisi penguatan tegangan adalah:

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} \dots\dots\dots (5.3)$$

Misalnya sinyal input sebesar 1 mV diumpankan ke rangkaian penguat dan menghasilkan sinyal output sebesar 100 mV, maka A_v dari penguat tersebut adalah 100. Jadi A_v adalah perbandingan sinyal output (tegangan) dengan sinyal input (tegangan).

Parameter keempat yang juga sangat penting adalah Penguatan Arus, A_i . Definisi penguatan arus adalah:

$$A_i = \frac{I_o}{I_i} \dots\dots\dots (5.4)$$

Penguatan arus adalah perbandingan antara sinyal output (arus) dengan sinyal input (arus).

5.3 Model Hibrid

Pada jaringan dua pasang terminal (two-port network) seperti gambar 5.1 terdapat empat variabel, yakni: arus input (i_i), tegangan input (v_i), arus output (i_o) dan tegangan output (v_o). Empat variabel ini dapat saling berhubungan dalam berbagai macam persamaan. Dalam kaitannya dengan rangkaian transistor, variabel v_i dan i_o diberlakukan sebagai variabel bebas dan lainnya sebagai variabel tergantung. Dengan demikian karakteristik jaringan tersebut dapat dinyatakan dengan dua buah persamaan berikut:

$$v_i = h_{11} i_i + h_{12} v_o \dots\dots\dots (5.5)$$

$$i_o = h_{21} i_i + h_{22} v_o \dots\dots\dots (5.6)$$

Parameter yang menghubungkan empat variabel tersebut disebut dengan parameter-h (atau hibrid), yaitu h_{11} , h_{12} , h_{21} , dan h_{22} . Istilah “hibrid” dipilih karena dalam persamaan tersebut terdapat “campuran” variabel v dan i, yang mengakibatkan “kombinasi” satuan pengukuran untuk parameter-h.

Dari dua persamaan tersebut (5.5 dan 5.6) dapat ditentukan definisi masing-masing parameter-h. Apabila terminal output dibuat hubung singkat (atau $v_o = 0$), maka dari persamaan 5.5 diperoleh h_{11} , yaitu:

$$h_{11} = \frac{v_i}{i_i} \Big|_{v_o = 0} \quad (\text{Ohm}) \dots\dots\dots (5.7)$$

Perbandingan ini menunjukkan bahwa h_{11} adalah parameter impedansi dengan satuan Ohm. Karena merupakan perbandingan tegangan input dan arus input dengan terminal output dihubung singkat, maka h_{11} disebut dengan impedansi input hubung singkat.

Apabila terminal input dibuka (atau $i_i = 0$), maka dari persamaan 5.5 diperoleh h_{12} , yaitu:

$$h_{12} = \frac{v_i}{v_o} \Big|_{i_i = 0} \quad (\text{tanpa satuan}) \dots\dots\dots (5.8)$$

Parameter h_{12} disebut dengan penguatan tegangan balik rangkaian terbuka. Karena merupakan perbandingan dua level tegangan, maka h_{12} tidak mempunyai satuan.

Parameter h_{21} diperoleh dengan cara menghubungkan singkatkan terminal output (atau $v_o = 0$), sehingga dari persamaan 5.6 diperoleh:

$$h_{21} = \frac{i_o}{i_i} \quad \left| \quad v_o = 0 \quad (\text{tanpa satuan}) \right. \dots\dots\dots (5.9)$$

Parameter h_{21} yang merupakan perbandingan arus output dan arus input dengan terminal output hubung singkat disebut dengan penguatan arus maju hubung singkat. Karena merupakan perbandingan dua level arus, maka h_{21} tidak mempunyai satuan.

Terakhir adalah parameter h_{22} yang diperoleh dengan membuka terminal input (atau $i_i = 0$), maka dari persamaan 5.6 didapatkan:

$$h_{22} = \frac{i_o}{v_o} \quad \left| \quad i_i = 0 \quad (\text{Siemen}) \right. \dots\dots\dots (5.10)$$

Parameter h_{22} disebut konduktansi output rangkaian terbuka dengan satuan siemen atau mho.

Apabila jaringan yang dimaksud merupakan rangkaian transistor, maka pada umumnya keempat parameter h_{11} , h_{12} , h_{21} , dan h_{22} tersebut diubah menjadi berturut-turut h_i , h_r , h_f , dan h_o .

$h_{11} \Rightarrow h_i \Rightarrow$ Resistansi input dari transistor

$h_{12} \Rightarrow h_r \Rightarrow$ Penguatan tegangan balik dari transistor

$h_{21} \Rightarrow h_f \Rightarrow$ Penguatan arus maju dari transistor

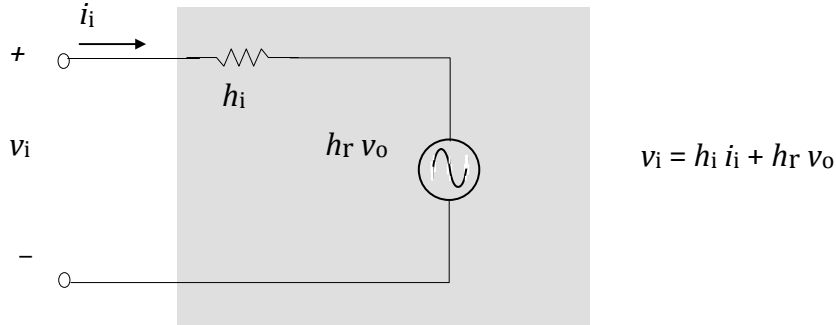
$h_{22} \Rightarrow h_o \Rightarrow$ Konduktansi output dari transistor

Oleh karena itu apabila digunakan untuk menjelaskan rangkaian transistor, maka persamaan 5.5 dan 5.6 dapat dituliskan kembali menjadi persamaan 5.11 dan 5.12 di bawah:

$$v_i = h_i i_i + h_r v_o \quad \dots\dots\dots (5.11)$$

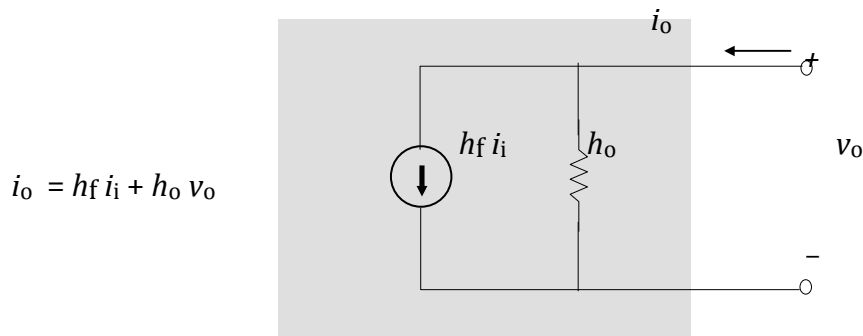
$$i_o = h_f i_i + h_o v_o \quad \dots\dots\dots (5.12)$$

Karena setiap faktor dalam persamaan 5.11 mempunyai satuan tegangan, maka dengan menerapkan hukum Kirchhoff tegangan akan diperoleh suatu rangkaian yang dapat menghasilkan persamaan tersebut. Rangkaian tersebut merupakan rangkaian ekivalen input dari jaringan transistor, yaitu seperti pada gambar 5.2.



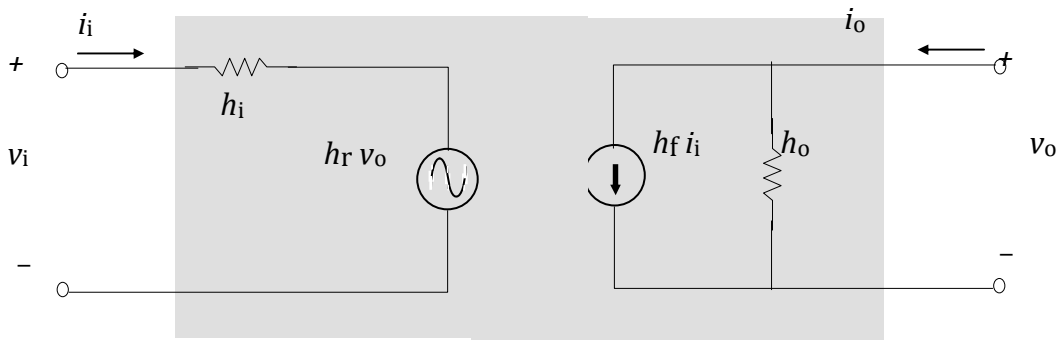
Gambar 5.2 Rangkaian ekivalen input dari transistor

Sedangkan dalam persamaan 5.12 karena setiap faktornya mempunyai satuan arus, maka dengan menerapkan hukum Kirchhoff arus akan diperoleh suatu rangkaian yang dapat menghasilkan persamaan tersebut. Rangkaian tersebut merupakan rangkaian ekivalen output dari jaringan transistor, yakni seperti gambar 5.3.

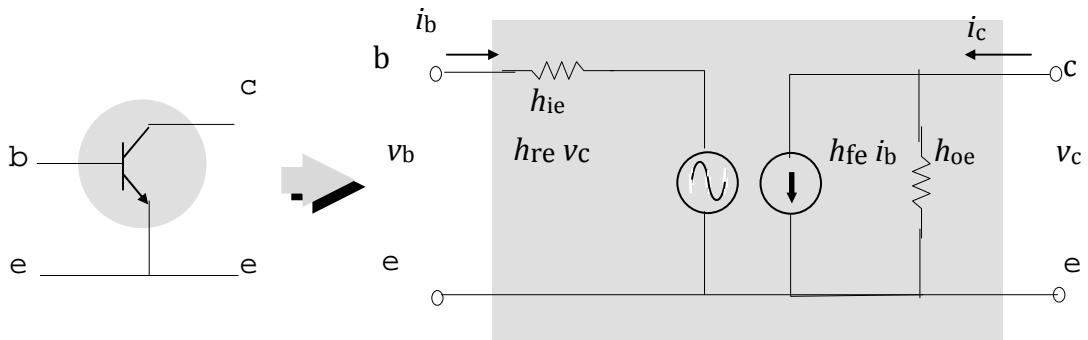


Gambar 5.3 Rangkaian ekivalen output dari transistor

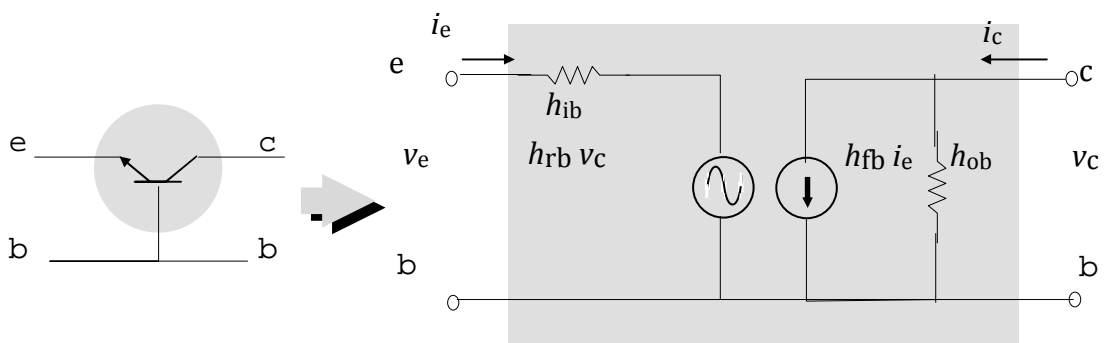
Rangkaian ekivalen ac dengan parameter-h dari transistor secara keseluruhan merupakan gabungan bagian input dan bagian output. Gambar 5.4 merupakan rangkaian ekivalen secara lengkap. Namun rangkaian transistor tersebut belum menunjuk pada salah satu konfigurasi. Untuk menunjuk pada konfigurasi tertentu, parameter-h diberi dengan tambahan huruf kecil dibelakangnya, misalnya h_{fe} adalah penguatan arus maju untuk transistor dengan konfigurasi emitor bersama (CE). Gambar 5.5, 5.6 dan 5.7 berturut-turut adalah rangkaian ekivalen untuk CE, CB dan CC.



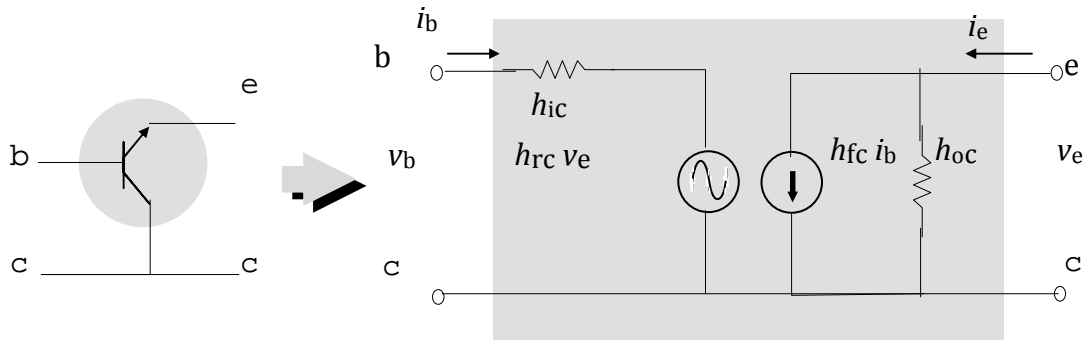
Gambar 5.4 Rangkaian ekivalen hibrid untuk transistor



Gambar 5.5 Rangkaian ekivalen hibrid untuk transistor dengan konfigurasi CE (emitor bersama)



Gambar 5.6 Rangkaian ekivalen hibrid untuk transistor dengan konfigurasi CB (basis bersama)



Gambar 5.7 Rangkaian ekivalen hibrid untuk transistor dengan konfigurasi CC (kolektor bersama)

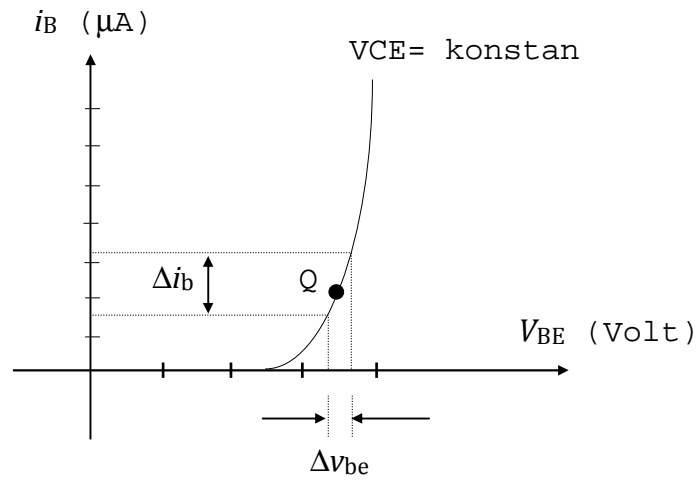
5.4 Parameter-h

Parameter-h untuk rangkaian ekivalen (model) transistor sinyal kecil dalam konfigurasi emitor bersama (CE), yakni h_{ie} , h_{re} , h_{fe} , h_{oe} , secara pendekatan dapat ditentukan melalui persamaan-persamaan 5.13 sampai 5.16.

Dalam setiap persamaan tersebut simbol Δ berarti perubahan kecil di sekitar titik-Q, sehingga parameter-h diperoleh dari daerah kerja transistor. Parameter h_{ie} dan h_{re} diperoleh dari kurva karakteristik input penguat CE. Sedangkan parameter h_{fe} dan h_{oe} diperoleh dari kurva karakteristik output penguat CE.

Gambar 5.8 menunjukkan contoh menentukan parameter h_{ie} dari kurva karakteristik input penguat CE.

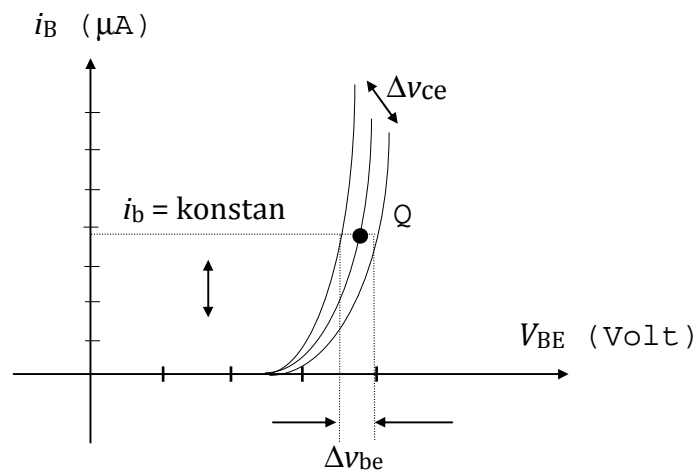
$$h_{ie} \cong \left. \frac{\Delta v_{be}}{\Delta i_b} \right|_{V_{CE} = 0} \quad (\text{Ohm}) \quad \dots \dots (5.13)$$



Gambar 5.8. Contoh menentukan h_{ie} dari kurva input CE

Gambar 5.9 menunjukkan contoh menentukan parameter h_{re} dari kurva karakteristik input penguat CE.

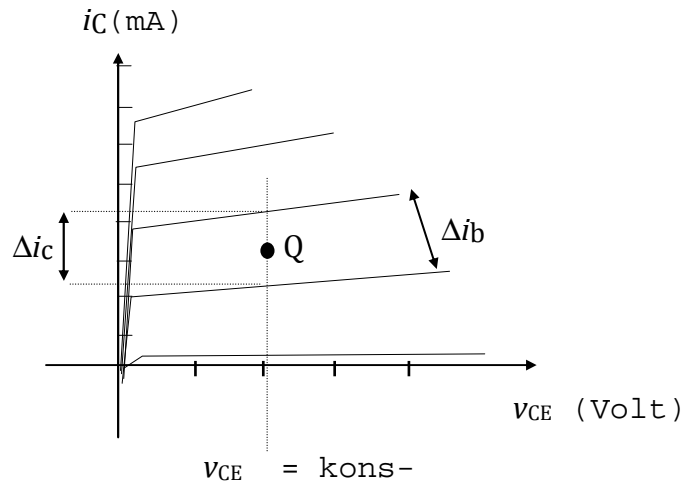
$h_{re} \cong \frac{\Delta v_{be}}{v_{ce}} \quad \left \quad i_B = 0 \quad (\text{tanpa satuan}) \right. \quad \dots\dots(5.14)$



Gambar 5.9. Contoh menentukan h_{re} dari kurva input CE

Gambar 5.10 menunjukkan contoh menentukan parameter h_{fe} dari kurva karakteristik output penguat CE.

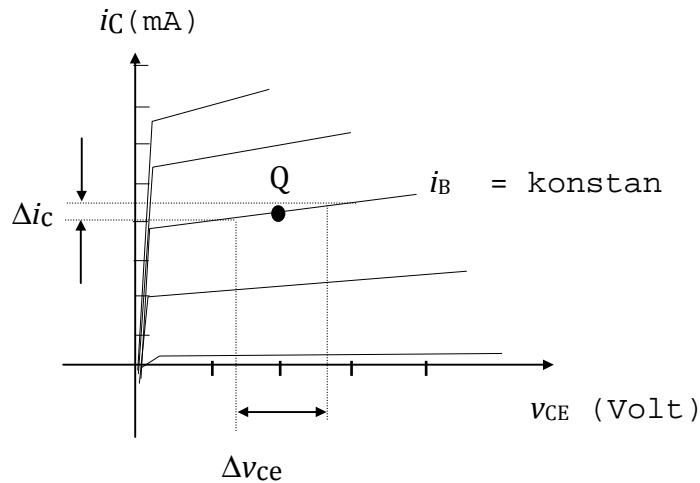
$$h_{fe} \cong \frac{\Delta i_c}{\Delta i_b} \Bigg|_{v_{CE} = 0} \quad (\text{tanpa satuan}) \quad \dots\dots(5.15)$$



Gambar 5.10. Contoh menentukan h_{fe} dari kurva output CE

Gambar 5.11 menunjukkan contoh menentukan parameter h_{oe} dari kurva karakteristik output penguat CE.

$$h_{oe} \cong \frac{\Delta i_c}{\Delta v_{ce}} \Bigg|_{i_B = 0} \quad (\text{Siemen}) \quad \dots\dots(5.16)$$



Gambar 5.11. Contoh menentukan h_{oe} dari kurva output CE

Harga tipikal parameter-h suatu transistor untuk ketiga macam konfigurasi CE, CC dan CB dapat dilihat pada tabel 5.1.

Tabel 5.1 Harga tipikal parameter-h untuk CE, CC, CB

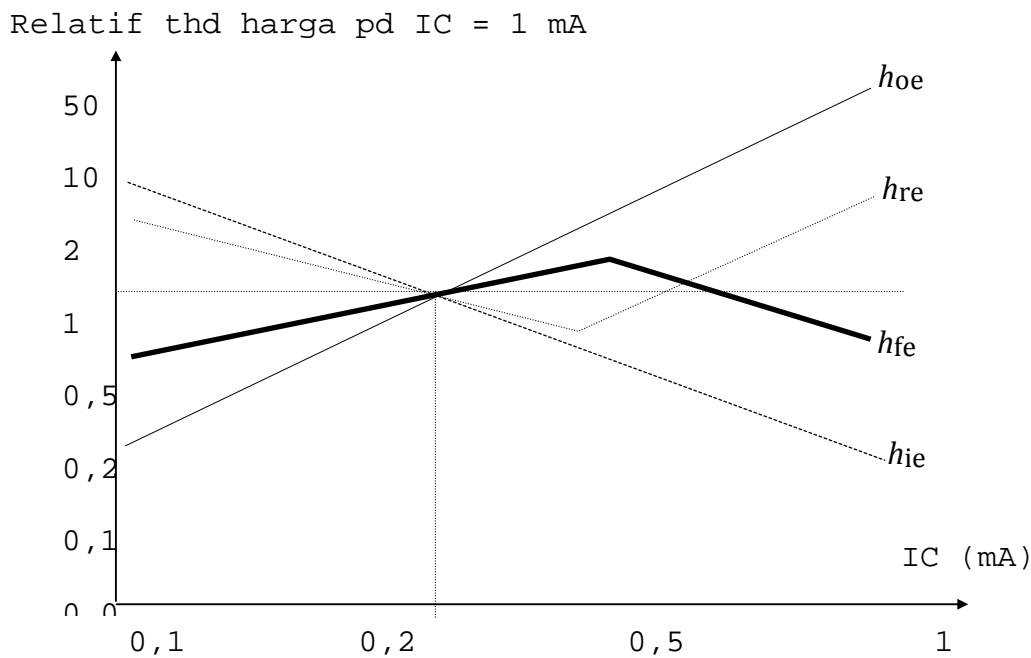
Parameter	CE	CC	CB
h_i	1 K Ω	1 K Ω	20 Ω
h_r	2.5×10^{-4}	$\cong 1$	3.0×10^{-4}
h_f	50	- 50	- 0.98
h_o	25 $\mu\text{A/V}$	25 $\mu\text{A/V}$	0.5 $\mu\text{A/V}$
$1/h_o$	40 K Ω	40 K Ω	2 M Ω

Dari tabel 5.1 terlihat adanya perbedaan dan juga persamaan harga tipikal parameter-h untuk ketiga jenis konfigurasi transistor. Resistansi input transistor pada CE dan CC jauh lebih besar dibanding pada CB, yakni sekitar 40 : 1. Parameter h_r untuk CE dan CB bernilai sangat kecil, sehingga dalam berbagai analisa praktis parameter h_r ini sering diabaikan, yakni dianggap nol. Namun parameter h_r untuk CC sekitar satu, sehingga tidak boleh diabaikan.

Penguatan arus maju atau h_f untuk CE dan CC relatif besar. Parameter h_{fe} atau sering disebut dengan β (beta) suatu transistor sangat bervariasi, yakni berkisar antara 20 sampai 600 atau bahkan lebih tergantung dari jenis penggunaannya. Sedangkan h_f untuk CB berharga mutlak kurang dari satu.

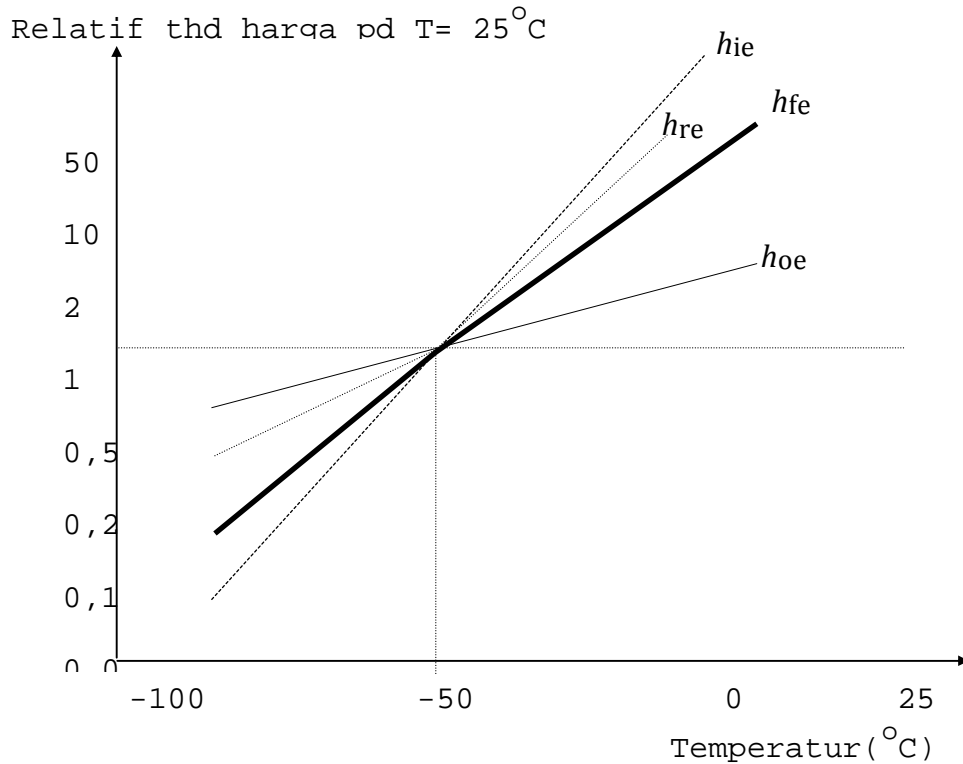
Parameter h_o untuk semua konfigurasi transistor berharga sangat kecil, sehingga dalam berbagai analisa praktis parameter h_o ini sering diabaikan atau dianggap nol. Karena parameter h_o ini merupakan konduktansi, maka kebalikannya disebut dengan resistansi. Apabila h_o ini diabaikan berarti harga $1/h_o$ dianggap tak terhingga.

Parameter-h suatu transistor sangat peka terhadap perubahan temperatur persambungan, arus I_c dan tegangan VCE. Oleh karena itu suatu pabrik memberikan harga tipikal parameter-h adalah pada suatu kondisi temperatur dan arus tertentu. Harga tipikal seperti pada tabel 5.1 adalah dengan kondisi temperatur ruang 25°C dan arus $I_c = 1\text{ mA}$. Variasi harga parameter-h terhadap arus kolektor ditunjukkan pada gambar 5.11.



Gambar 5.11 Variasi harga parameter h terhadap arus I_c

Variasi harga parameter-h terhadap temperatur ditunjukkan pada gambar 5.12.



Gambar 5.12 Variasi harga parameter h terhadap temperatur

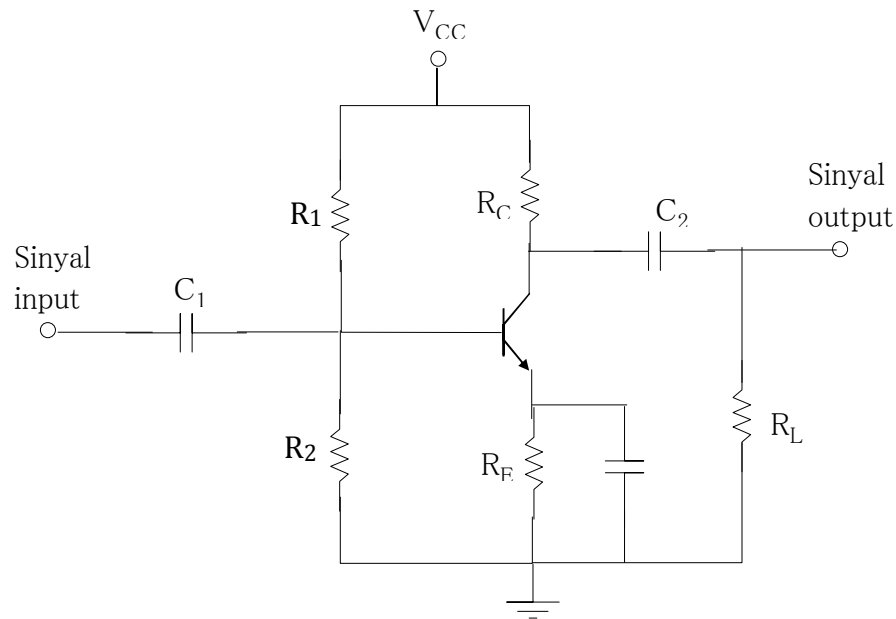
Salah satu alasan praktis mengapa parameter-h banyak dipakai baik di kalangan industri maupun akademisi adalah karena parameter ini selalu terdapat dalam buku (atau lembaran) data. Namun sering kali yang tercantum dalam buku data tersebut adalah harga parameter-h untuk konfigurasi CE saja. Sehingga apabila ingin memperoleh data untuk jenis konfigurasi yang lain (CC dan CB) perlu dilakukan konversi. Tabel 5.2 menunjukkan beberapa formula pendekatan untuk mengkonversi dari parameter-h CE ke CC dan CB.

Tabel 5.2 Formula konversi pendekatan parameter-h

Konversi dari CE ke CC	
$h_{ic} = h_{ie}$	$h_{rc} = 1$
$h_{fc} = -(1 + h_{fe})$	$h_{oc} = h_{oe}$
Konversi dari CE ke CB	
$h_{ib} = \frac{h_{ie}}{1 + h_{fe}}$	$h_{rb} = \frac{h_{ie} h_{oe}}{1 + h_{fe}} - h_{re}$
$h_{ib} = -\frac{h_{fe}}{1 + h_{fe}}$	$h_{ob} = \frac{h_{oe}}{1 + h_{fe}}$

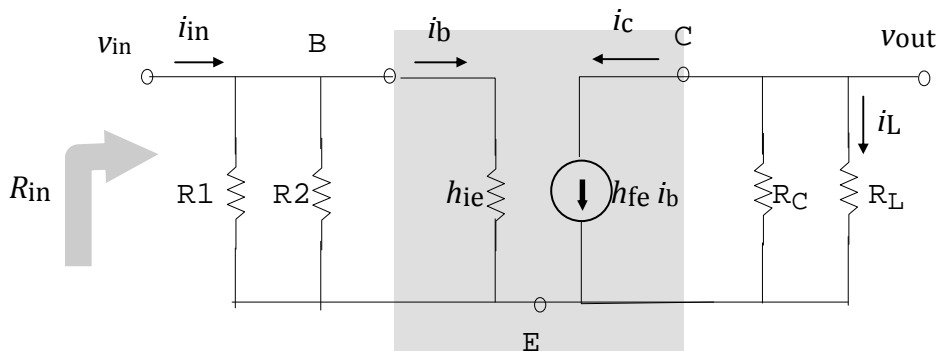
5.5 Analisa Penguat CE

Rangkaian penguat CE seperti pada gambar 5.13 akan dianalisa untuk mendapatkan beberapa parameter penguat seperti: resistansi input (R_i), penguatan tegangan (A_v), penguatan arus (A_i), dan resistansi output (R_o). Oleh karena itu rangkaian penguat tersebut perlu diubah menjadi rangkaian ekivalen ac menggunakan parameter-h. Sebagaimana tercantum dalam tabel 5.1 bahwa harga tipikal parameter h_{re} dan h_{oe} sangat kecil, sehingga dalam berbagai analisa kedua parameter-h tersebut sering diabaikan atau dianggap nol. Dalam pembahasan inipun, kedua parameter-h tersebut juga diabaikan.



Gambar 5.13 Rangkaian penguat CE

Dalam membuat rangkaian ekivalen ac yang perlu diperhatikan adalah bahwa sumber tegangan dc (power supply ideal) dianggap hubung singkat dan semua kapasitor (dalam frekuensi menengah) dianggap hubung singkat. Dengan demikian R1 dan R2 terhubung secara paralel pada basis-emitor, dan juga antara RC dan RL terhubung paralel pada kolektor-emitor. Pada rangkaian ekivalen ac, resistor RE tidak tampak karena telah dihubung singkat oleh C by-pass. Rangkaian ekivalen ac dari penguat CE gambar 4.13 adalah seperti ditunjukkan pada gambar 4.14.



Gambar 5.14 Rangkaian ekivalen ac dari gambar 5.13

Setelah rangkaian ekivalen ac dapat digambar dengan benar, maka analisis selanjutnya hanya terfokus pada rangkaian ekivalen tersebut. Pemakaian hukum Kirchhoff baik tegangan maupun arus dalam analisi ini sangat dominan demikian juga dengan hukum Ohm.

Analisis pertama adalah menentukan Resistansi input (R_{in}). Sesuai dengan hukum Ohm, maka dari rangkaian ekivalen tersebut diperoleh:

$$R_{in} = \frac{V_{in}}{i_{in}}$$

$$R_{in} = \frac{i_{in} (R_1 \parallel R_2 \parallel h_{ie})}{i_{in}}$$

karena: $R_1 \parallel R_2 = R_B = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$

maka diperoleh:

$$R_{in} = (R_B \parallel h_{ie})$$

..... (5.17)

Jadi harga R_{in} adalah jumlah paralel dari R_1 , R_2 , dan h_{ie} . Hal ini terlihat dengan jelas dari gambar rangkaian ekivalen ac bahwa R_{in} merupakan resistansi total yang dipandang dari depan rangkaian tersebut (tanda panah R_{in}). Oleh karena itu resistansi totalnya adalah paralel dari R_1 , R_2 , dan h_{ie} .

Selanjutnya adalah menentukan penguatan tegangan (A_v). Definisi penguatan tegangan (A_v) adalah seperti pada persamaan 5.3, yaitu:

$$A_v = \frac{V_{out}}{V_{in}}$$

$$A_v = \frac{- i_c (R_C \parallel R_L)}{i_b h_{ie}}$$

$$A_v = \frac{- h_{fe} i_b (RC \parallel RL)}{i_b h_{ie}}$$

sehingga diperoleh:

$A_v = - \frac{h_{fe} (RC \parallel RL)}{h_{ie}}$ (5.18)
---	--------------

Tanda negatif di depan persamaan 5.18 artinya bahwa sinyal output dan sinyal input pada penguat CE berlawanan fasa (atau berbeda fasa 180°).

Apabila dalam rangkaian penguat gambar 5.12 tersebut resistor beban (RL) tidak ada atau dilepas, maka persamaan 5.18 menjadi:

$A_v = - \frac{h_{fe} RC}{h_{ie}}$ (5.19)
------------------------------------	--------------

Berikutnya adalah menentukan penguatan arus (Ai). Persamaan 5.4 mendefinisikan bahwa penguatan arus (Ai) adalah perbandingan arus output dengan arus input. Dalam rangkaian penguat ini arus output adalah i_L dan arus input adalah i_{in} , sehingga diperoleh:

$$A_i = \frac{i_L}{i_{in}}$$

$$A_i = \frac{- i_c RC / (RC + RL)}{i_{in}}$$

$$A_i = \frac{- i_c RC}{i_{in} (RC + RL)}$$

$$A_i = \frac{- (h_{fe} i_b)}{i_{in}} \frac{RC}{(RC + RL)}$$

karena : $i_b = i_{in} RB / (RB + h_{ie})$

maka :
 $i_{in} = i_b (RB + h_{ie}) / RB$

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

selanjutnya dengan memasukkan harga i_{in} diperoleh:

$$A_i = \frac{- (h_{fe} i_b)}{i_b (RB + h_{ie}) / RB} \frac{RC}{(RC + RL)}$$

$$A_i = \frac{- (h_{fe} i_b) RB}{i_b (RB + h_{ie})} \frac{RC}{(RC + RL)}$$

sehingga diperoleh:

$A_i = - \frac{h_{fe} RB}{(RB + h_{ie})} \frac{RC}{(RC + RL)}$ (5.20)
--	------------------

Seperti halnya pada penguatan tegangan, tanda negatif di depan persamaan 5.19 artinya bahwa sinyal output dan sinyal input pada penguat CE berlawanan fasa (atau berbeda fasa 180°).

Apabila dalam rangkaian penguat gambar 5.12 tersebut resistor beban (RL) tidak ada atau dilepas, maka persamaan 5.19 menjadi:

$$A_i = - \frac{h_{fe} R_B}{(R_B + h_{ie})} \dots\dots\dots (5.21)$$

Impedansi output (Z_o) dari transistor pada penguat tersebut adalah tak terhingga. Hal ini disebabkan karena parameter h_{oe} dalam pembahasan ini diabaikan atau dianggap nol karena nilainya sangat kecil. Akan tetapi impedansi output (R_o) dari rangkaian penguat CE tersebut adalah jumlah paralel RC dengan RL, yakni $R_o = RC \parallel RL$. Sedangkan apabila RL tidak ada, maka impedansi output (R_o) dari rangkaian penguat tersebut adalah $R_o = RC$.

Contoh 5.1

Perhatikan rangkaian penguat CE gambar 5.13. Apabila diketahui $R_1 = 68 \text{ K}\Omega$, $R_2 = 27 \text{ K}\Omega$, $R_C = 1,2 \text{ K}\Omega$, $R_E = 680 \text{ }\Omega$, $R_L = 5 \text{ K}\Omega$, $h_{fe} = 100$, $h_{ie} = 1 \text{ K}\Omega$, $V_{BE\text{aktif}} = 0,7 \text{ V}$, $V_{CC} = 12 \text{ Volt}$, tentukan A_v , A_i , R_i , dan R_o .

Penyelesaian:

$$R_B = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{68\text{K} \cdot 27\text{K}}{68\text{K} + 27\text{K}} = \mathbf{19,33 \text{ K}\Omega}$$

$$\frac{R_C \cdot R_L}{R_C + R_L} = \frac{1,2\text{K} \cdot 5\text{K}}{1,2\text{K} + 5\text{K}} = \mathbf{967 \text{ }\Omega}$$

Menentukan A_v dengan persamaan 5.18

$$A_v = - \frac{h_{fe} (R_C \parallel R_L)}{h_{ie}} = - \frac{(100)(967)}{1000} = \mathbf{- 96,7}$$

Menentukan A_i dengan persamaan 5.20

$$A_i = - \frac{h_{fe} R_B}{(R_B + h_{ie})} \frac{R_C}{(R_C + R_L)}$$

$$A_i = - \frac{(100)(19.33K)}{(19,33K + 1K)} \frac{1,2K}{(1,2K + 5K)} = - 18,4$$

Menentukan Rin dengan persamaan 5.17

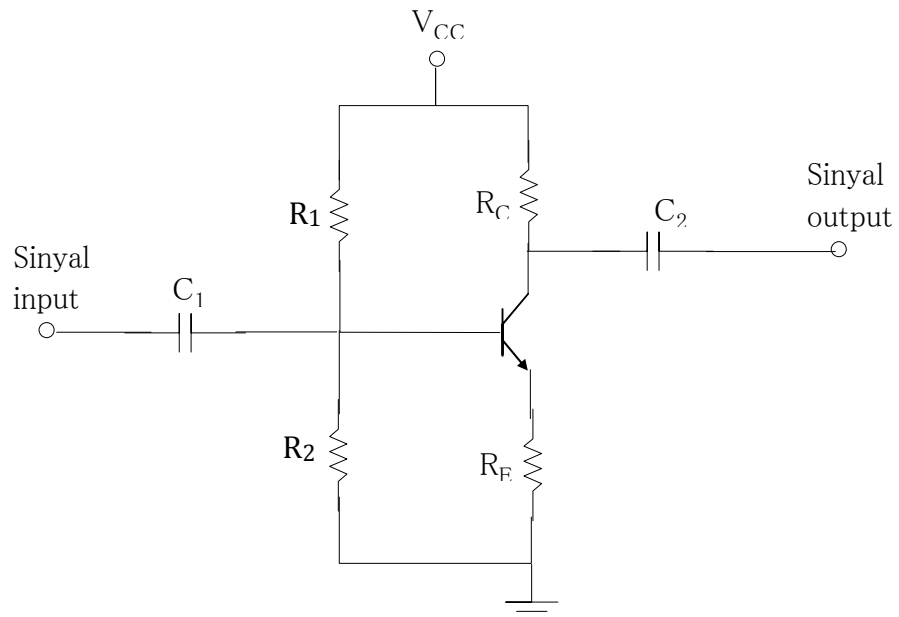
$$R_{in} = (R_B \parallel h_{ie})$$

$$R_{in} = \frac{R_B \cdot h_{ie}}{R_B + h_{ie}} = \frac{19,33K \cdot 1K}{19,33K + 1K} = 950 \Omega$$

Menentukan Ro adalah $R_C \parallel R_L$, yaitu **967 Ω**

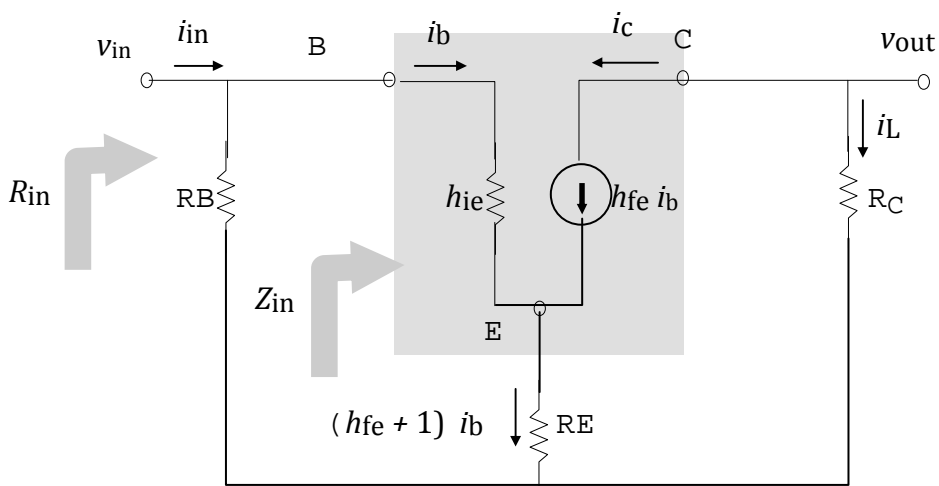
5.6 Penguat CE dengan Resistor RE

Resistor RE pada rangkaian penguat CE gambar 5.12 diparalel dengan C by-pass, sehingga kerugian sinyal ac pada resistor tersebut dianggap tidak ada. Akan tetapi pengaruh terhadap bias dc tetap ada, yang berguna untuk stabilisasi bias. Dalam bagian ini yang akan dibahas adalah penguat CE dengan resistor RE. Maksudnya adalah bahwa C by-pass yang memparalel RE telah dilepas, sehingga RE berpengaruh baik pada sinyal ac maupun bias dc. Lihat gambar 5.15.



Gambar 5.15 Rangkaian penguat CE dengan RE

Rangkaian ekivalen ac dari penguat CE dengan RE dibuat dengan parameter-h dimana h_{re} dan h_{oe} diabaikan. Gambar 5.16 menunjukkan rangkaian ekivalen ac tersebut. Resistor RE terlihat dipasang antara kaki emitor dengan tanah (ground). Arus yang mengalir pada RE ini adalah jumlah arus dari basis i_b dan arus dari kolektor $h_{fe} i_b$ yaitu sebesar $(h_{fe} + 1) i_b$.



Gambar 5.16 Rangkaian ekivalen ac dari gambar 5.15

Setelah rangkaian ekuivalen ac dapat digambar dengan benar, maka analisis selanjutnya hanya terfokus pada rangkaian ekuivalen tersebut. Pemakaian hukum Kirchhoff baik tegangan maupun arus dalam analisis ini sangat dominan demikian juga dengan hukum Ohm.

Analisis pertama adalah menentukan impedansi input (Z_{in}). Seperti tampak pada rangkaian ekuivalen bahwa istilah Z_{in} dalam pembahasan ini yaitu resistansi yang dipandang dari kaki basis ke depan (ke dalam transistor). Dalam hal ini R_B tidak termasuk dalam perhitungan Z_{in} . Sedangkan R_{in} adalah resistansi total dari input rangkaian penguat. Dalam hal ini R_{in} adalah jumlah paralel R_B dengan Z_{in} . Sesuai dengan hukum Ohm, maka dari rangkaian ekuivalen tersebut diperoleh:

$$Z_{in} = \frac{v_b}{i_b}$$

$$Z_{in} = \frac{i_b h_{ie} + (h_{fe} + 1) i_b R_E}{i_b}$$

sehingga dengan meniadakan i_b diperoleh:

$Z_{in} = h_{ie} + (h_{fe} + 1) R_E$ (5.22)
--------------------------------------	--------------

Oleh karena umumnya harga h_{fe} jauh lebih besar dari satu, maka secara pendekatan persamaan 5.22 disederhanakan menjadi:

$$Z_{in} \cong h_{ie} + h_{fe} R_E$$

Dari persamaan ini terlihat bahwa resistansi R_E bila dipandang dari terminal basis nilainya sebesar $h_{fe} R_E$. Oleh karena itu pengaruh R_E terhadap impedansi input sangat besar. Dengan kata lain penguat CE tanpa C by-pass mempunyai harga Z_{in} kira-kira sebesar h_{fe} kali R_E .

Adapun besarnya R_{in} atau resistansi input rangkaian adalah:

$R_{in} = (R_B \parallel Z_{in})$ (5.23)
-----------------------------------	--------------

Parameter penguatan tegangan (A_v) untuk rangkaian penguat CE dengan resistor RE adalah sebagai berikut:

$$A_v = \frac{v_{out}}{v_{in}}$$

$$A_v = \frac{-i_c RC}{v_b}$$

$$A_v = \frac{-h_{fe} i_b RC}{v_b}$$

$$A_v = \frac{-h_{fe} i_b RC}{i_b h_{ie} + (h_{fe} + 1) i_b RE}$$

dengan meniadakan i_b pada pembilang dan penyebut, maka diperoleh:

$$A_v = - \frac{h_{fe} RC}{h_{ie} + (h_{fe} + 1) RE}$$

karena: $Z_{in} = h_{ie} + (h_{fe} + 1) RE$

maka:

$A_v = - \frac{h_{fe} RC}{Z_{in}}$ (5.24)
------------------------------------	--------------

Tanda negatif pada persamaan 5.24 tersebut berarti sinyal input dan sinyal output berlawanan fasa.

Secara pendekatan A_v untuk penguat CE dengan RE adalah:

$$RC$$

$$A_v \cong - \frac{\quad}{R_E}$$

Rumus pendekatan ini sangat bermanfaat untuk analisa praktis karena sangat sederhana. Ketelitian rumus pendekatan ini cukup baik apabila: $h_{fe}R_E \gg h_{ie}$. Pada penguat CE dengan RE ini terlihat bahwa penguatan tegangan (A_v) tidak begitu terpengaruh dengan spesifikasi transistor (h_{fe} dan h_{ie}) atau bahkan hanya dipengaruhi oleh RC dan RE saja menurut rumus pendekatan.

Penguatan arus (A_i) dari rangkaian penguat CE dengan RE adalah sebagai berikut:

$$A_i = \frac{i_L}{i_{in}}$$

$$A_i = \frac{- h_{fe} i_b}{i_{in}}$$

karena : $i_b = i_{in} R_B / (R_B + Z_{in})$

maka :

$$i_{in} = i_b (R_B + Z_{in}) / R_B$$

dimana :

$$R_B = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \quad \text{dan} \quad Z_{in} = h_{ie} + (h_{fe} + 1) R_E$$

selanjutnya dengan memasukkan harga i_{in} diperoleh:

$$A_i = \frac{- h_{fe} i_b}{i_b (R_B + Z_{in}) / R_B}$$

$$A_i = \frac{- h_{fe} i_b R_B}{i_b (R_B + Z_{in})}$$

dengan meniadakan i_b pada pembilang dan penyebut, maka diperoleh:

$$A_i = - \frac{h_{fe} R_B}{R_B + Z_{in}} \dots \dots \dots (5.25)$$

Apabila $h_{fe}R_E \gg h_{ie}$, maka secara pendekatan persamaan 5.25 tersebut dapat disederhanakan menjadi:

$$A_i \cong - \frac{R_B}{R_E}$$

Sebagaimana A_v yang (hampir) tidak dipengaruhi oleh spesifikasi transistor (h_{fe} dan h_{ie}), maka penguatan arus (A_i) inipun juga hanya dipengaruhi oleh R_B dan R_E saja (menurut rumus pendekatan). Dengan demikian bisa disimpulkan bahwa pada penguat CE dengan R_E stabilitas A_v dan A_i sangat mantap.

Impedansi output (Z_o) dari transistor pada penguat tersebut adalah tak terhingga. Hal ini disebabkan karena parameter h_{oe} dalam pembahasan ini diabaikan atau dianggap nol karena nilainya sangat kecil. Akan tetapi impedansi output (R_o) dari rangkaian penguat CE tersebut adalah sebesar R_C .

Contoh 5.2

Perhatikan rangkaian penguat CE gambar 5.15. Apabila diketahui $R_1 = 10 \text{ K}\Omega$, $R_2 = 3,3 \text{ K}\Omega$, $R_C = 1 \text{ K}\Omega$, $R_E = 500 \text{ }\Omega$, $h_{fe} = 100$, $h_{ie} = 1 \text{ K}\Omega$, $V_{BE\text{aktif}} = 0,7 \text{ V}$, $V_{CC} = 15 \text{ Volt}$, tentukan A_v , A_i , R_i , dan R_o .

Penyelesaian:

$$R_B = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{10\text{K} \cdot 3,3\text{K}}{10\text{K} + 3,3\text{K}} = \mathbf{2,48 \text{ K}\Omega}$$

Menentukan Z_{in} dengan persamaan 5.22:

$$Z_{in} = h_{ie} + (h_{fe} + 1)R_E = 1000 + (100 + 1)500 = \mathbf{51,5 \text{ K}\Omega}$$

Menentukan R_{in} dengan persamaan 5.23:

$$R_{in} = (R_B \parallel Z_{in})$$

$$R_{in} = \frac{R_B \cdot Z_{in}}{R_B + Z_{in}} = \frac{2,48K \cdot 51,5K}{2,48K + 51,5K} = \mathbf{2,37 \text{ k}\Omega}$$

Menentukan A_v dengan persamaan 5.24

$$A_v = - \frac{h_{fe} R_C}{Z_{in}} = - \frac{(100) 1K}{51,5K} = \mathbf{- 1,94}$$

Bila dihitung secara pendekatan:

$$A_v = - R_C/R_E = - 1000/500 = \mathbf{- 2}$$

(sangat dekat dengan hasil perhitungan tepat)

Menentukan A_i dengan persamaan 5.25

$$A_i = - \frac{h_{fe} R_B}{R_B + Z_{in}} = - \frac{100 (2,48K)}{2,48K + 51,5K} = \mathbf{- 4,59}$$

Bila dihitung secara pendekatan:

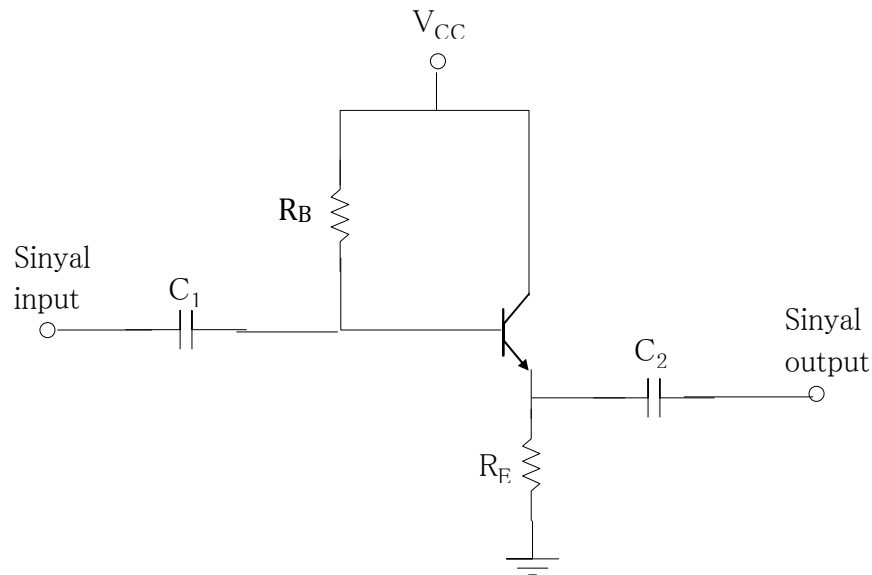
$$A_i = - R_B/R_E = - 2,48K/0,5K = \mathbf{- 4,96}$$

(sangat dekat dengan hasil perhitungan tepat)

Harga R_o adalah sebesar R_C , yaitu $\mathbf{1 \text{ k}\Omega}$

5.7 Rangkaian Pengikut Emitor

Rangkaian pengikut emitor dapat dilihat pada gambar 5.17. Sinyal input masuk pada basis dan output diambil dari terminal emitor. Penguatan tegangan (A_v) rangkaian ini adalah kurang dari satu, atau secara pendekatan $A_v \cong 1$. Tidak seperti pada penguat CE yang fasa input dan outputnya berbeda 180° , pada rangkaian pengikut emitor fasa sinyal input dan sinyal output adalah sama atau sefasa. Karena hal tersebutlah (output pada emitor, $A_v \cong 1$, input dan output sefasa) mengapa rangkaian ini disebut dengan rangkaian pengikut emitor.



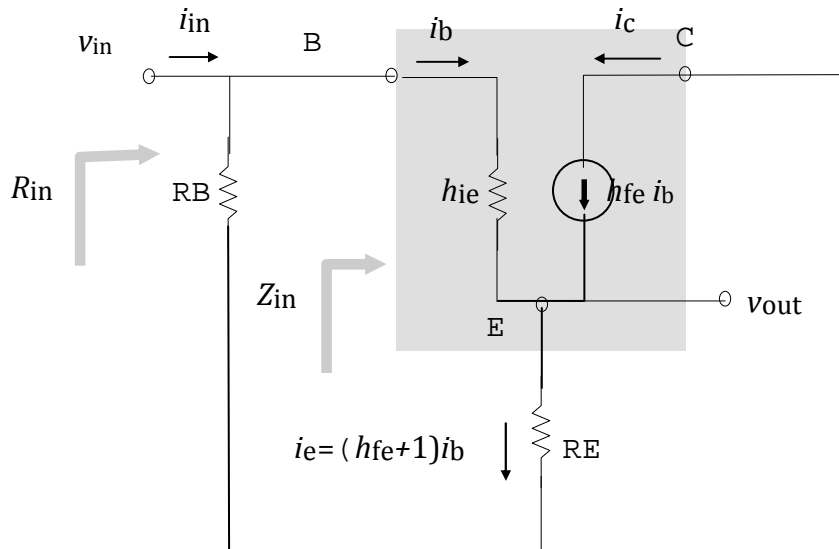
Gambar 5.17 Rangkaian pengikut emitor

Pada gambar 5.17 terlihat bahwa kaki kolektor terhubung ke *ground* untuk analisis ac. Oleh karena itu rangkaian ini sering disebut juga dengan penguat kolektor bersama (common-collector = CC). Namun sebutan pengikut emitor yang sering dipakai.

Sifat lain dari rangkaian ini adalah bahwa impedansi inputnya tinggi dan impedansi output rendah. Penguatan arus (A_i) cukup tinggi, yakni hampir sama dengan A_i pada penguat CE. Oleh karena itu rangkaian ini banyak diterapkan sebagai rangkaian penyesuai impedansi dan juga pada rangkaian penyangga (*buffer*).

Untuk melakukan analisis penguatan sinyal kecil, maka rangkaian tersebut perlu dibuat rangkaian ekivalennya. Rangkaian ekuivalen dengan parameter $-h$ bisa dibuat dengan dua pilihan, yakni dengan mengikuti aturan pada penguat CC (seperti gambar 5.7) atau mengikuti aturan penguat CE (gambar 5.5). Dengan pertimbangan karena parameter h untuk CE lebih banyak dijumpai dalam buku data, maka dalam pembahasan ini akan dibuat sesuai aturan CE.

Rangkaian ekuivalen ac dari pengikut emitor gambar 5.17 dapat dilihat pada gambar 5.18. Seperti halnya pada analisa penguat CE, dalam analisa ini parameter h_{re} dan h_{oe} diabaikan. Terlihat bahwa sinyal output diambil dari kaki emitor, dan kaki kolektor dihubungkan ke *ground*.



Gambar 5.18 Rangkaian ekivalen ac dari gambar 5.15

Analisis pertama adalah menentukan impedansi input (Z_{in}). Seperti terlihat pada rangkaian ekivalen ai atads bahwa istilah Z_{in} dalam pembahasan ini adalah resistansi yang dipandang dari kaki basis ke depan (ke dalam transistor). Dalam hal ini R_B tidak termasuk dalam perhitungan Z_{in} . Sedangkan R_{in} adalah resistansi total dari input rangkaian, yaitu merupakan jumlah paralel R_B dengan Z_{in} . Sesuai dengan hukum Ohm, maka dari rangkaian ekivalen tersebut diperoleh:

$$Z_{in} = \frac{v_b}{i_b}$$

$$Z_{in} = \frac{i_b h_{ie} + i_e R_E}{i_b}$$

$$Z_{in} = \frac{i_b h_{ie} + (h_{fe} + 1) i_b R_E}{i_b}$$

sehingga dengan meniadakan i_b diperoleh:

$Z_{in} = h_{ie} + (h_{fe} + 1) R_E$ (5.26)
--------------------------------------	--------------

Oleh karena umumnya harga h_{fe} jauh lebih besar dari satu, maka secara pendekatan persamaan 5.26 dapat disederhanakan menjadi:

$$Z_{in} \cong h_{ie} + h_{fe} R_E$$

Dari persamaan ini terlihat bahwa impedansi input rangkaian pengikut emitor cukup tinggi. Harga Z_{in} pengikut emitor sama dengan Z_{in} penguat CE dengan R_E (tanpa C by-pass) pada persamaan 5.22.

Adapun besarnya R_{in} atau resistansi input rangkaian adalah:

$R_{in} = (R_B \parallel Z_{in}) \dots\dots\dots (5.27)$
--

Penguatan tegangan (A_v) untuk rangkaian pengikut emitor adalah sebagai berikut:

$$A_v = \frac{v_{out}}{v_{in}}$$

$$A_v = \frac{i_e R_E}{v_b}$$

$$A_v = \frac{(h_{fe} + 1) i_b R_E}{v_b}$$

$$A_v = \frac{(h_{fe} + 1) i_b R_E}{i_b h_{ie} + (h_{fe} + 1) i_b R_E}$$

dengan meniadakan i_b pada pembilang dan penyebut, maka diperoleh:

$$A_v = \frac{(h_{fe} + 1) R_E}{h_{ie} + (h_{fe} + 1) R_E}$$

karena: $Z_{in} = h_{ie} + (h_{fe} + 1) R_E$

maka :

$$A_v = \frac{Z_{in} - h_{ie}}{Z_{in}}$$

$A_v = 1 - \frac{h_{ie}}{Z_{in}}$

..... (5.28)

Oleh karena $Z_{in} \gg h_{ie}$, maka secara pendekatan A_v untuk pengikut emitor adalah $A_v \cong 1$.

Penguatan arus (A_i) dari rangkaian pengikut emitor adalah sebagai berikut:

$$A_i = \frac{i_e}{i_{in}}$$

$$A_i = \frac{(h_{fe}+1) i_b}{i_{in}}$$

karena : $i_b = i_{in} \cdot RB / (RB + Z_{in})$

maka : $i_{in} = i_b (RB + Z_{in}) / RB$

dimana :

$$RB = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \quad \text{dan} \quad Z_{in} = h_{ie} + (h_{fe} + 1) R_E$$

selanjutnya dengan memasukkan harga i_{in} diperoleh:

$$A_i = \frac{(h_{fe}+1) i_b}{i_b (RB + Z_{in}) / RB}$$

$$A_i = \frac{(h_{fe}+1) i_b \cdot RB}{i_b (RB + Z_{in})}$$

dengan meniadakan i_b pada pembilang dan penyebut, maka diperoleh:

$$A_i = \frac{(h_{fe}+1)R_B}{R_B + Z_{in}} \dots\dots\dots (5.29)$$

Harga A_i pada pengikut emitor ini hampir sama dengan A_i pada CE (persamaan 5.25).

Untuk mendapatkan impedansi output (Z_o), maka sebagaimana dijelaskan dalam sub-bab 5.2 yaitu dengan membuat input = 0 (hubung singkat) dan impedansi beban tak terhingga (dalam hal ini R_E dilepas), kemudian V_{in} dimasukkan dari output. Dengan menerapkan hukum Ohm diperoleh:

$$Z_o = \frac{v_o}{i_e}$$

$$Z_o = \frac{i_b h_{ie}}{(h_{fe}+1) i_b}$$

← karena: input hubung singkat

dengan meniadakan i_b pada pembilang dan penyebut, maka diperoleh:

$$Z_o = \frac{h_{ie}}{(h_{fe}+1)} \dots\dots\dots (5.30)$$

Harga ini adalah impedansi output transistor dalam kondisi beban terbuka. Impedansi output rangkaian (R_o) adalah Z_o paralel dengan beban dalam hal ini adalah R_E , yakni:

$$R_o = (Z_o \parallel R_E) \dots\dots\dots (5.31)$$

Contoh 5.3.

Diketahui rangkaian pengikut emitor seperti pada gambar 5.17 dengan spesifikasi komponen: $R_B = 470 \text{ K}\Omega$, $R_E = 1 \text{ K}\Omega$, $h_{fe} = 200$ dan $h_{ie} = 1 \text{ K}\Omega$. Tentukan: Z_{in} , A_v , A_i , dan Z_o dari rangkaian tersebut.

Penyelesaian:

- menentukan Z_i dengan persamaan 5.26:

$$Z_i = h_{ie} + (h_{fe} + 1) R_E$$

$$Z_i = 1K + (200 + 1)1K = \mathbf{202 \text{ k}\Omega}$$

- menentukan A_v dengan persamaan

$$A_v = 1 - \frac{h_{ie}}{Z_i}$$

$$A_v = 1 - \frac{1K}{202K} = \mathbf{0,995}$$

- menentukan A_i dengan persamaan 5.29

$$A_i = \frac{(h_{fe}+1)R_B}{R_B + Z_i}$$

$$A_i = \frac{(200 + 1) 470K}{470K + 202K} = \mathbf{140,58}$$

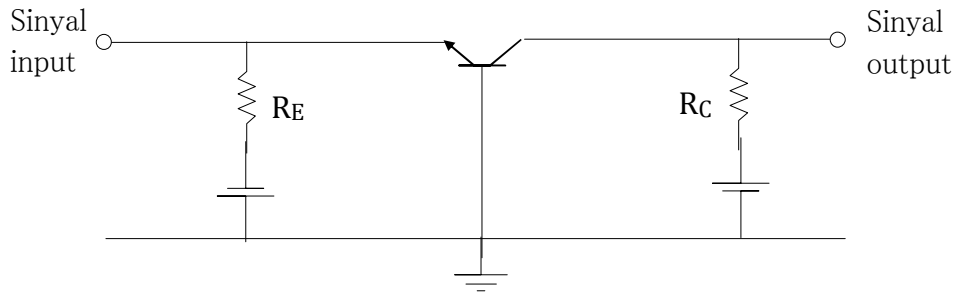
- menentukan Z_o dengan persamaan 5.30

$$Z_o = \frac{h_{ie}}{(h_{fe}+1)}$$

$$Z_o = \frac{1K}{(200 + 1)} = \mathbf{4,9 \text{ }\Omega}$$

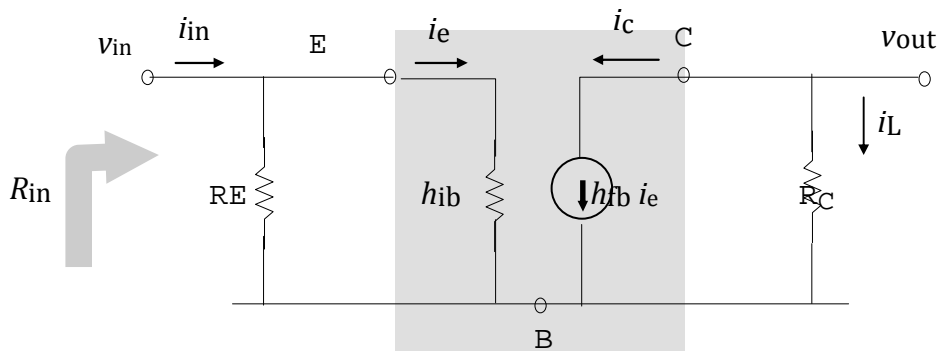
5.8 Penguat Basis Bersama (CB)

Konfigurasi terakhir yang dibahas adalah penguat basis bersama (common-base = CB). Rangkaian penguat CB terlihat pada gambar 5.19.



Gambar 5.19 Rangkaian penguat CB

Rangkaian ekivalen ac dengan parameter-h terlihat pada gambar 5.20.



Gambar 5.20 Rangkaian ekivalen ac penguat CB

Impedansi input rangkaian penguat CB (R_{in}) adalah:

$$R_{in} = (R_B \parallel h_{ib}) \dots \dots \dots (5.32)$$

Penguatan tegangan rangkaian penguat CB adalah:

$$A_v = \frac{v_{out}}{v_{in}}$$

$$A_v = \frac{- h_{fb} i_e R_C}{v_e}$$

$$A_v = \frac{- h_{fb} i_e R_C}{i_e h_{ib}}$$

dengan meniadakan i_e pada pembilang dan penyebut, maka diperoleh:

$A_v = - \frac{h_{fb} R_C}{h_{ib}}$ (5.33)
-------------------------------------	----------------

Penguatan arus pada penguat CB adalah:

$$A_i = \frac{i_L}{i_{in}}$$

$$A_i = \frac{- h_{fb} i_e}{i_{in}}$$

karena : $i_e = i_{in} R_E / (R_E + h_{ib})$

maka : $i_{in} = i_e (R_E + h_{ib}) / R_E$

selanjutnya dengan memasukkan harga i_{in} diperoleh:

$$A_i = \frac{- h_{fb} i_e}{i_e (R_E + h_{ib}) / R_E}$$

$$A_i = \frac{- h_{fb} i_e R_E}{i_e (R_E + h_{ib})}$$

dengan meniadakan i_e pada pembilang dan penyebut, maka diperoleh:

$A_i = - \frac{h_{fb} R_E}{(R_E + h_{ib})}$ (5.34)
---	----------------

Impedansi output dari rangkaian penguat CB adalah:

$$Z_o = R_C \dots\dots\dots (5.35)$$

Persamaan tersebut diperoreh dengan asumsi bahwa parameter h_{ob} dalam pembahasan ini diabaikan. Apabila tidak diabaikan maka Z_o adalah paralel antara $1/h_{ob}$ dengan R_C .

Contoh 5.4

Diketahui rangkaian penguat CB seperti gambar 5.19 dengan spesifikasi komponen: $h_{ob} = 0,5 \mu A/V$, $h_{fb} = -0,99$, $h_{ib} = 14,3 \Omega$, $R_E = 2,2 K \Omega$ dan $R_C = 3,3 K \Omega$. Tentukan R_{in} , A_v , A_i , dan R_o dari rangkaian tersebut.

Penyelesaian:

(a) $R_{in} = (R_B \parallel h_{ib}) = 2,2K \parallel 14,3 = \mathbf{14,21 \Omega}$

(b) $A_v = - \frac{h_{fb}R_C}{h_{ib}} = - \frac{(-0,99)(3,3K)}{14,3} = \mathbf{228,46}$

(c) $A_i = - \frac{h_{fb}R_E}{(R_E + h_{ib})} = \frac{(-0,99)(2,2K)}{(2,2K + 14,3)} = \mathbf{-0,983}$

(d) $r_o = 1/h_{ob} = 1/0,5 \mu = 2 M\Omega$

$R_o = 2M \parallel 3,3K \cong \mathbf{3,3 K\Omega}$

5.9 Perencanaan Penguat Transistor

Prosedur perencanaan rangkaian penguat merupakan kebalikan dari prosedur analisis. Pembahasan di depan merupakan analisis penguat, dimana rangkaian penguat sudah diketahui secara lengkap termasuk spesifikasi komponennya kemudian menentukan berbagai parameter penguatan seperti A_v dan A_i berdasarkan data tersebut. Berdasarkan beberapa konsep dan

formula yang sudah diturunkan pada pembahasan tersebut, maka akan dapat dilakukan prosedur yang sebaliknya, yaitu perancangan.

Prosedur perancangan dimulai dari kebutuhan akan suatu rangkaian penguat dengan *performance* tertentu, yakni misalnya dengan A_v atau Z_o tertentu. Selanjutnya bergerak ke belakang sampai akhirnya diperoleh rangkaian penguat beserta nilai komponennya. Penguasaan atas konsep dasar rangkaian ekivalen ac dan dc serta pemahaman hukum Ohm dan Kirchhoff merupakan syarat mutlak untuk dapat melakukan perancangan. Disamping itu melakukan pendekatan praktis dan logis juga amat membantu.

Beberapa formula yang sering digunakan dalam prosedur perancangan adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 V_{BE\text{aktif}} &= 0,7 \text{ Volt} \\
 I_C &\cong I_E \\
 R_B &\leq 0,1 \beta R_E \quad (\text{persamaan 4.27})
 \end{aligned}$$

Apabila parameter h_{ie} tidak diketahui, maka bisa digunakan formula pendekatan:

$$h_{ie} \cong \frac{h_{fe} V_T}{|I_{CQ}|}$$

dimana V_T adalah tegangan ekivalen temperatur yang diperoleh dari persamaan 1.3. Pada temperatur ruang harga $V_T \cong 26 \text{ mV}$. Bila harga V_T ini dimasukkan, maka diperoleh:

$ h_{ie} \cong \frac{h_{fe} 26}{ I_{CQ} } $ (5.36)
---	--------------

dimana:

h_{ie} dalam Ohm (Ω)

I_{CQ} dalam mA

Persamaan 5.36 tersebut berlaku juga untuk konfigurasi CB, dengan mengingat bahwa:

$$h_{ie} \cong h_{ib} h_{fe} \quad (\text{tabel 5.2})$$

sehingga diperoleh:

$$h_{ib} \cong \frac{26}{|I_{CQ}|} \dots\dots\dots (5.37)$$

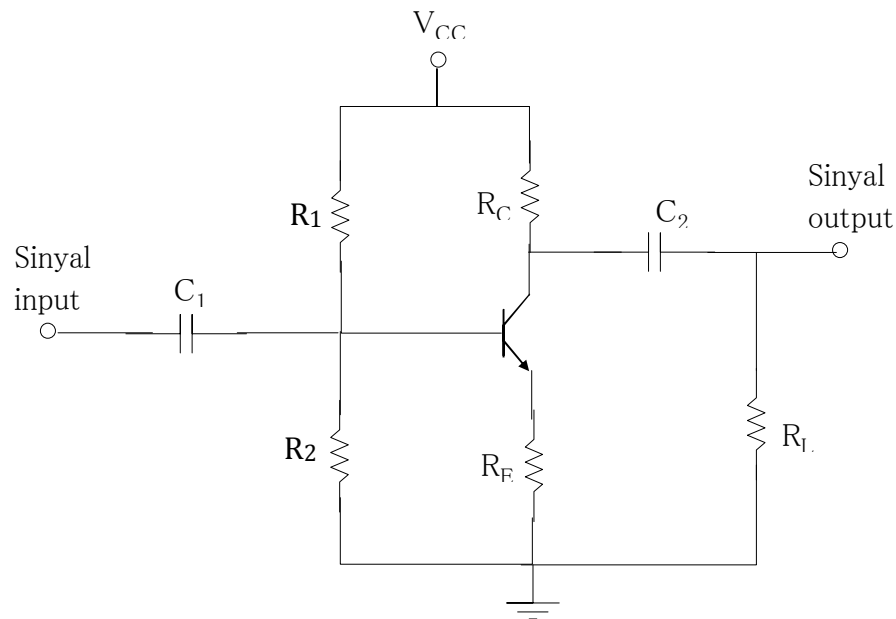
dimana :

h_{ib} dalam Ohm (Ω)

I_{CQ} dalam mA

Contoh 5.5

Apabila diinginkan suatu penguat CE yang dapat menghasilkan ayunan sinyal output simetris maksimum dengan $A_v = - 5$, rencanakan penguat tersebut (gambar 5.21). Beberapa hal yang sudah diketahui adalah $V_{CC} = 12$ Volt, $R_L = 1$ K Ω dan $h_{fe} = 200$.



Gambar 5.21 Rangkaian penguat CE

Penyelesaian:

Data yang diberikan dalam perencanaan ini sangat terbatas, sehingga dengan terpaksa harus menentukan salah satu harga RE atau RC. Data yang berkaitan dengan dua harga ini

adalah $A_v = -10$. Agar diperoleh penyesuaian impedansi yang baik, maka harga RC dibuat sama dengan RL yaitu $1\text{ K}\Omega$.

Penguatan tegangan (A_v) rangkaian tersebut adalah (secara pendekatan):

$$A_v \cong - \frac{RC \parallel RL}{R_E}$$
$$- 5 \cong - \frac{0,5\text{K}\Omega}{R_E}$$

$$R_E = 100 \Omega$$

Setelah diperoleh harga R_E , maka selanjutnya adalah mencari harga R_1 dan R_2 . R_1 dan R_2 ini adalah resistor yang menentukan titik kerja transistor. Oleh karena itu perlu dilihat pada permintaan di atas bahwa penguat harus dapat menghasilkan ayunan sinyal output simetris maksimum. Dengan demikian berlaku persamaan 4.25 dan 4.26.

$$R_{dc} = R_E + R_C = 100 + 1000 = 1100 \Omega$$

$$R_{ac} = R_E + R_C \parallel R_L = 100 + 500 = 600 \Omega$$

$$I_{CQ} = \frac{V_{CC}}{(R_{ac} + R_{dc})} = \frac{12}{(1100 + 500)} = 7,5 \text{ mA}$$

$$V_{CEQ} = I_{CQ} R_{ac} = (7,5\text{m})(0,6\text{K}) = 4,5 \text{ Volt.}$$

Harga V_{CEQ} dan I_{CQ} ini menentukan lokasi titik kerja transistor yakni tepat di tengah garis beban ac.

Untuk mendapatkan stabilitas bias yang mantap, maka $R_B \leq 0,1 \beta R_E$. R_B diambil harga maksimumnya adalah:

$$R_B = 0,1 \beta R_E = 0,1 (200)(100) = 2 \text{ K}\Omega$$

Selanjutnya adalah:

$$V_{BB} = V_{BE} + I_{CQ} \{ (R_B/h_{fe}) + R_E \}$$

$$V_{BB} = 0,7 + (7,5\text{m}) \{ (2\text{K}/200) + 0,1\text{K} \} = 1,525 \text{ Volt}$$

$$R1 = \frac{R_B \cdot V_{CC}}{V_{BB}} = \frac{(2K)(12)}{(1,525)} = 15,7 \text{ K}\Omega$$

$$R2 = \frac{R_B \cdot V_{CC}}{V_{CC}-V_{BB}} = \frac{(2K)(12)}{12 - 1,525} = 2,29 \text{ K}\Omega$$

Hasil perencanaan tersebut diperoleh harga-harga komponen sebagai berikut:

$$R_E = 100 \text{ }\Omega \qquad R_C = 1 \text{ K}\Omega$$

$$R1 \text{ (atas)} = 15,7 \text{ K}\Omega \qquad R2 \text{ (bawah)} = 2,29 \text{ K}\Omega$$

Karena penentuan harga R_E pertama kali dengan formula pendekatan, maka ada baiknya apabila sekarang dihitung A_v dengan formula tepat. Oleh karena itu perlu ditentukan dahulu parameter h_{ie} dari harga I_{CQ} yang sudah dicari (persamaan 5.36).

$$h_{ie} \cong \frac{h_{fe} \cdot 26}{|I_{CQ}|} = \frac{(200)(26)}{7,5} = 693 \text{ }\Omega$$

Penguatan tegangan (A_v) adalah:

$$A_v = - \frac{h_{fe} R_C \parallel R_L}{h_{ie} + (h_{fe} + 1) R_E}$$

$$A_v = - \frac{(200)(500)}{693 + (201)(100)} = - 4,8$$

Perbedaan antara kedua A_v tidak begitu besar, yakni hasil pendekatan adalah -5 dan hasil tepat adalah -4,8.

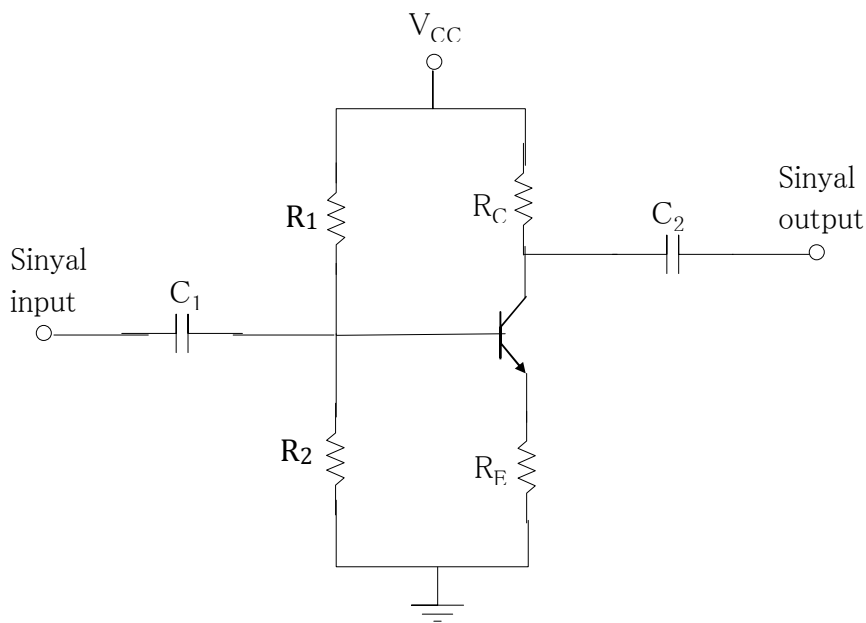
5.10 Ringkasan

Analisis sinyal kecil pada rangkaian penguat transistor didasarkan atas linieritas kurva transistor di sekitar titik kerja, sehingga transistor bisa diganti dengan rangkaian ekuivalen atau model. Rangkaian ekuivalen ac dengan parameter-h banyak dipakai baik di kalangan industri maupun akademisi.

Pemahaman atas konsep rangkaian ekivalen sangat diperlukan baik dalam analisis parameter penguat seperti A_v , A_i , Z_i , Z_o maupun dalam perencanaan rangkaian penguat. Karena prosedur perencanaan pada dasarnya merupakan kebalikan dari prosedur analisis.

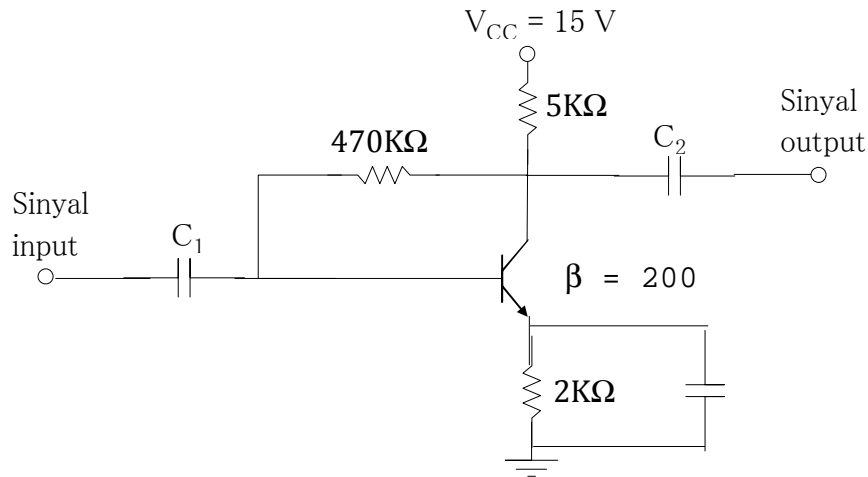
5.11 Soal Latihan

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 A_v , A_i , Z_i , dan Z_o rangkaian tersebut.



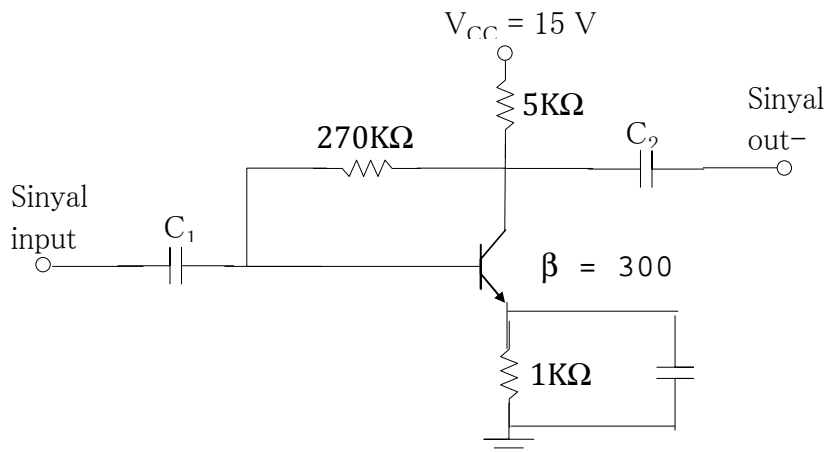
Gambar 5.22 Gambar untuk soal latihan no 1.

2. Perhatikan soal no.1, apabila diinginkan agar rangkaian tersebut dapat menghasilkan ayunan sinyal output yang simetris maksimum, hitung kembali harga R_1 dan R_2 dan tentukan kembali A_v , A_i , Z_i , dan Z_o .
3. Perhatikan gambar rangkaian penguat di bawah. Apabila pada input diberi sinyal $V_s = 10\text{ mVp-p}$ dengan $R_S = 1\text{ K}$, maka tentukan V_o !



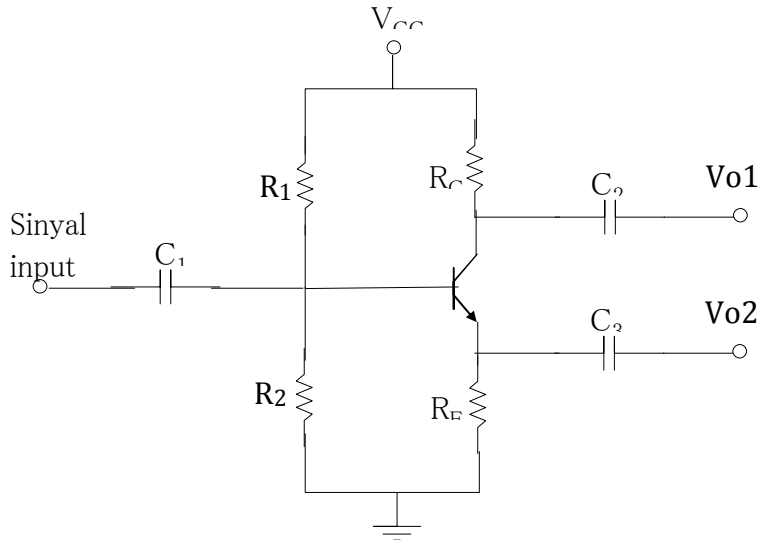
Gambar 5.23 Rangkaian untuk soal latihan no 3.

4. Perhatikan gambar rangkaian penguat di bawah. Apabila pada input diberi sinyal $V_s = 1 \text{ mVp-p}$ dengan $R_S = 2\text{K}$, maka tentukan V_o !



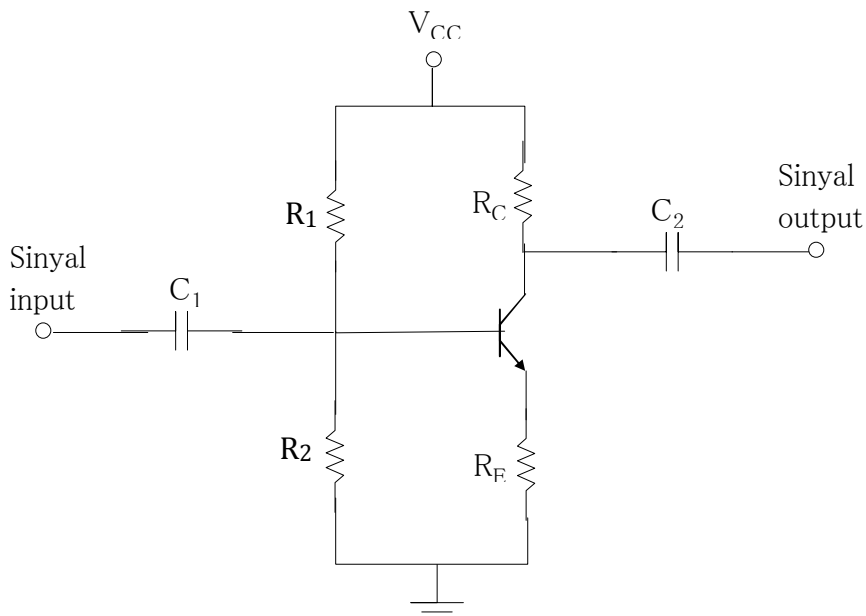
Gambar 5.24 Rangkaian untuk soal latihan no. 4

5. Perhatikan gambar 5.22 (pada soal no 1). Diketahui $R_1=68\text{K}\Omega$, $R_2=27\text{K}\Omega$, $R_C=1,2\text{K}\Omega$, $R_E=680\Omega$, $h_{fe}=200$, $V_{CC}=12\text{V}$. Agar diperoleh tegangan output dengan ayunan simetris maksimum tidak cacat, tentukan berapa V_i yang harus dimasukkan.
6. Perhatikan rangkaian di bawah. Diketahui $R_1=47\text{K}\Omega$, $R_2=20\text{K}\Omega$, $R_C=1\text{K}\Omega$, $R_E=1\text{K}\Omega$, $h_{ie}=1\text{K}\Omega$, dan $h_{fe}=200$. Tentukan A_{v1} dan A_{v2} . Sebutkan manfaat rangkaian tersebut.



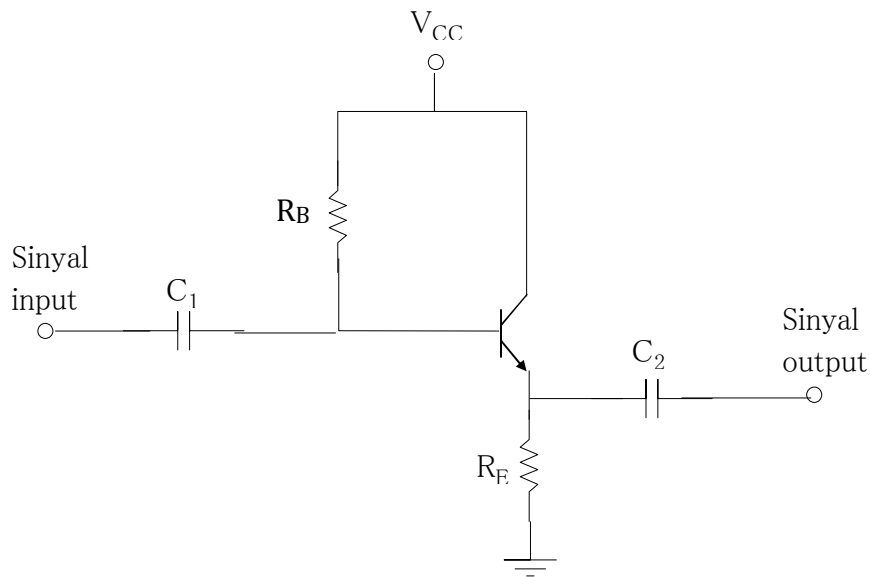
Gambar 5.25 Gambar untuk soal latihan no.6

7. Perhatikan rangkaian penguat CE seperti gambar di bawah. Spesifikasi yang diketahui adalah $V_{CC} = 12$ Volt, $h_{fe} = 200$. Apabila rangkaian tersebut diharapkan mempunyai $V_{CEQ} = 6$ Volt, $A_v \cong -5$, dan $Z_o = 1$ K Ω .
- Tentukanlah R_1 , R_2 , R_C dan R_E .
 - Bila AFG dengan $R_s = 1$ K Ω dan $V_s = 1$ Vp-p diumpan kan ke terminal input, maka tentukan V_o -nya



Gambar 5.26 Rangkaian untuk soal latihan no. 7

8. Perhatikan rangkaian penguat CE seperti pada gambar untuk soal no 7. Spesifikasi yang diketahui adalah $V_{CC} = 12$ Volt, $h_{fe} = 200$. Agar diperoleh ayunan sinyal output simetris maksimum tidak cacat dengan $A_v \cong -5$, dan $Z_o = 1$ K Ω .
- Tentukanlah R_1 , R_2 , R_C dan R_E .
 - Bila AFG dengan $R_s = 1$ K Ω dan $V_s = 1$ V_{p-p} diumpankan ke terminal input, maka tentukan V_o -nya.
9. Perhatikan rangkaian penguat CE seperti pada gambar untuk soal no 7. Bila diketahui $R_1 = 82$ K Ω , $R_2 = 33$ K Ω , $R_C = 1,5$ K Ω , $R_E = 470$ Ω , $\beta = 110$, V_{BE} aktif = 0,7 V, $V_{CC} = 12$ Volt, dan $R_s = 1$ K Ω , maka tentukan:
- Titik kerja transistor
 - A_v , A_i , Z_i , dan Z_o rangkaian tersebut.
10. Diketahui rangkaian pengikut emitor seperti pada gambar di bawah dengan spesifikasi komponen: $R_B = 270$ K Ω , $R_E = 3,9$ K Ω , $h_{fe} = 200$ dan $h_{ie} = 1$ K Ω . Tentukan: Z_{in} , A_v , A_i , dan Z_o dari rangkaian tersebut.



Gambar 5.27 Rangkaian pengikut emitor untuk soal no.10

Sumber Pustaka

Boylestad and Nashelsky. (1992). *Electronic Devices and Circuit Theory*, 5th ed. Engelwood 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.

Lampiran

A

Daftar Resistor Standar Toleransi 5 %

Daftar resistor karbon standar dengan toleransi 5 % yang tersedia di pasaran adalah seperti pada tabel A.1. Harga resistor tersedia dalam kelipatan puluhan dari daftar tersebut mulai dari 0.01 Ω hingga 100 M Ω . Sebagai contoh dari daftar 1.2 berarti tersedia harga-harga 1.2 Ω , 12 Ω , 120 Ω , 1200 Ω , 12000 Ω , dan seterusnya.

Tabel A.1 Daftar resistor standar toleransi 5%

1.0	1.1	1.3	1.5	1.6	1.8
2.0	2.2	2.4	2.7		
3.0	3.3	3.6	3.9		
4.3	4.7				
5.1	5.6				
6.2	6.8				
7.5					
8.2					
9.1					

Lampiran

B

Karakteristik Berbagai Jenis Kapasitor

Tabel B.1 menunjukkan beberapa jenis kapasitor yang sering dipakai dalam rangkaian elektronika. Beberapa karakteristik yang menyertai kapasitor tersebut adalah: (a) nilai kapasitansi yang tersedia di pasaran, (b) toleransi nilai kapasitansi, (c) tegangan maksimum yang diijinkan, (d) temperatur kerja maksimum yang diijinkan, dan (e) resistansi isolasi antara terminalnya.

Tabel B.1 Karakteristik berbagai jenis kapasitor

Jenis	Range Kapasitansi	Toleransi (%)	Tegangan Maks.	Temp	Resistansi Isolasi
				Maks (°C)	
Keramik					
k rendah	5 pF - 0.001 μ F	$\pm 5 - \pm 20$	6 kV	125	1000 M Ω
k tinggi	100 pF - 2.2 μ F	+ 100, - 20	100 V	85	100 M Ω
Elektrolit					
Aluminium	1 μ F - 1 F	+ 100, - 20	700 V	85	< 1 M Ω
Tantalum	0.001 μ F - 1 nF	$\pm 5 - \pm 20$	100 V	125	> 1 M Ω
Mika	1 pF - 0.1 μ F	$\pm 0.25 - \pm 5$	50 kV	150	> 1 G Ω
Kertas	500 pF - 50 μ F	$\pm 10 - \pm 20$	0.1 MV	125	100 M Ω
Polikarbonat	0.001 - 5 μ F	± 1	600 V	140	10 G Ω
Polister	0.001 - 15 μ F	± 10	1 kV	125	10 G Ω
Polistren	100 pF - 10 μ F	± 0.5	1 kV	85	10 G Ω
Mika perak	5 pF - 0.1 μ F	$\pm 1 - \pm 20$	75 kV	125	1000 M Ω

Index

A

anoda, 13
antimoni, 7
arsenik, 7
arus jenuh mundur, 13
atom, 1
atom akseptor, 10
atom donor, 7
atom dopan, 10

B

basis, 55
bias maju, 14
bias mundur, 13
bias pembagi tegangan, 89
bias tetap transistor, 77
bias umpan balik, 86
boron, 10

C

C by-pass, 129
clamper (penggeser), 39
clipper (pemotong), 36
common base, 61
common emitter, 62

D

daerah aktif, 65
daerah jenuh, 65
daerah mati, 65
daerah pengosongan, 12
desain titik kerja, 106
dioda ideal, 22
dioda zener, 41

E

E_g, 5
ekstrinsik, 7
elektron, 1
elektron volt, 4
emitor, 55
eV, 5

G

galium, 9
garis beban ac, 96
garis beban dc, 96
germanium, 2

H

hole, 6

I

I_{CBO}, 60
ikatan kovalen, 2, 7
impedansi input, 101
impedansi output, 116
indium, 9
intrinsik, 3, 7
isolator, 1

K

karakteristik kapasitor, 160
karakteristik transistor, 64
katoda, 13
ketidakmurnian (impuritas), 7
kolektor, 55
konduktor, 1
konfigurasi transistor, 60
konversi parameter-h, 122

L

level energi, 3

M

model Bohr, 1
model dioda, 22

N

neutron, 1

O

orbit, 4

P

parameter-h (hibrid), 118, 120
pelipat tegangan, 48
pembawa mayoritas, 8
pembawa minoritas, 8
pengikut emitor, 140
penguat CB, 146
penguat CE, 122, 128
penguatan arus, 117
penguatan tegangan, 117
penta-valens, 7
penyearah gelombang penuh, 32
penyearah setengah gelombang, 27
perencanaan penguat, 149
pita konduksi, 5
PIV, 31
pospor, 7
proton, 1

R

rangkaian ekuivalen ac, 99
regulator tegangan, 52
resistansi dioda, 19
resistor standar, 159

S

sambungan P-N, 12
semikonduktor, 1
semikonduktor tipe n, 7
semikonduktor tipe p, 9
silikon, 2

T

tegangan cut-in V_γ, 68
tegangan efektif, 28
tegangan ekuivalen temperatur, 16
tegangan patah (break-down), 15
tegangan patah (breakdown), 41
tegangan penghalang, 13
tetra-valent, 2
titik kerja (titik Q), 75
transistor bipolar, 55
trivalent, 10
two-port network, 115

V

valensi, 2

TENTANG PENULIS



Herman Dwi Surjono,
dilahirkan di
Sidourjo 5
Februari 1984.
Menyelesaikan
pendidikan S1
di Jurusan
Pendidikan
Teknik

Elektronika FPTK IKIP Yogyakarta (Drs., 1988). Menyelesaikan S2 di *Department of Industrial Education and Technology Iowa State University USA* (M.Sc., 1994) dan S2 di Teknik Elektro Sistem Komputer dan Informatika Pascasarjana UGM (MT., 2000). Menyelesaikan S3 di School of Multimedia and Information Technology Southern Cross University (Ph.D., 2006). Bidang keahlian antara lain: E-Learning, Multimedia Pembelajaran, dan Adaptive Hypermedia.

Menjadi dosen di Jurusan Pendidikan Teknik Elektronika Prodi Pendidikan Teknik Informatika FT UNY sejak tahun 1987 dan dosen di Program Pascasarjana UNY sejak tahun 2006. Sejak tahun 2006 menjabat sebagai Kepala Puskom UNY. Sering menjadi nara sumber dalam pelatihan, workshop, seminar, technical assistance tentang e-learning dan multimedia pembelajaran di berbagai tempat baik lokal, nasional maupun internasional.

Sebagai pengembang dan pemelihara portal e-learning <http://elearning-jogja.org> dan <http://elearning-diy.org> secara swadaya. Sebagai inisiatif dan penanggung jawab portal e-learning UNY (Besmart) <http://besmart.uny.ac.id>. Memberi bimbingan kepada para mahasiswa S1, S2, dan S3 serta para guru yang sedang mengembangkan e-learning.

Kontak:

hermansurjono@staff.uny.ac.id
<http://blog.uny.ac.id/hermansurjono>
<http://herman.elearning-jogja.org>

Penerbit CERDAS ULET KREATIF

E-mail : publisher@cerdas.co.id

Website : www.cerdas.co.id

Elektronika Teori dan Penerapan

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.

CERDAS
**ULET
KREATIF**
PUBLISHER

ISBN 978-602-98174-7-8



9 786029 817478