



**ELEKTRONIKA**  
*Lanjutan*

# Elektronika Lanjut

Herman Dwi Surjono, Ph.D.

# Elektronika Lanjut

Disusun Oleh: **Herman Dwi Surjono, Ph.D.**

© 2009 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 Lanjut**/Herman Dwi Surjono, Penyunting:  
Tim Cerdas Ulet Kreatif, 2009, 104 hlm; 14,8 x 21 cm.

**ISBN 978-602-98174-6-1**

1. Hukum Administrasi	I. Judul
II. Tim Cerdas Ulet Kreatif	104

Distributor:

**Penerbit CERDAS ULET KREATIF**

Website : [www.cerdas.co.id](http://www.cerdas.co.id) - email : [buku@cerdas.co.id](mailto: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 bermacam-macam regulator tegangan beserta prinsip kerjanya. Bab 2 membahas tanggapan frekuensi beserta analisis frekuensi rendah dan frekuensi tinggi. Selanjutnya pada bab 3 dibahas berbagai rangkaian bertingkat mulai dari kaskade, darlington hingga CMOS. Pembahasan tentang penguat operasi yang didahului dengan penguat beda dan dilanjutkan dengan berbagai penggunaan Op-Amp seperti penguat inverting dan non-

inverting terdapat pada bab 4. Dan akhirnya bab 5 dari buku ini membahas umpan balik yang dimulai dari konsep dasar hingga analisis berbagai jenis umpan balik.

Semoga buku ini bermanfaat bagi siapa saja. Saran-saran dari pembaca sangat diharapkan.

Yogyakarta, Agustus 2009

Penulis,

**Herman Dwi Surjono, Ph.D.**

Dosen Jurusan Pendidikan Teknik Elektronika, FT- UNY

# Daftar Isi

<b>KATA PENGANTAR</b>	iii
<b>DAFTAR ISI</b>	v
<b>1. REGULATOR TEGANGAN</b>	1
1.1. Pendahuluan	1
1.2. Regulator Tegangan Seri	2
1.3. Regulator Tegangan Paralel	6
1.4. Regulator Tegangan IC	8
1.5. Ringkasan	10
1.6. Soal Latihan	10
<b>2. RESPON FREKUENSI</b>	11
2.1. Pendahuluan	11
2.2. Tanggapan Frekuensi	12
2.3. Analisis Frekuensi Rendah	14
2.4. Respon Frekuensi Rendah	16
2.5. Respon Frekuensi Tinggi	22
2.6. Ringkasan	32
2.7. Soal Latihan	32
<b>3. RANGKAIAN BERTINGKAT</b>	35
3.1. Pendahuluan	35
3.2. Hubungan Kaskade	36
3.3. Hubungan Cascode	39
3.4. Hubungan Darlington	42
3.5. Hubungan Pasangan Umpan Balik ( <i>Feedback Pair</i> )	45
3.6. Rangkaian CMOS	49
3.7. Ringkasan	51
3.8. Soal Latihan	52
<b>4. PENGUAT OPERASI</b>	53
4.1. Pendahuluan	53
4.2. Penguat Beda	53
4.3. Penguat Operasi ( <i>Op-Amp</i> ) Ideal	61
4.4. Penguat Inverting	63
4.5. Penguat Non-Inverting	64
4.6. Ringkasan	66
4.7. Soal Latihan	67
<b>5. UMPAN BALIK</b>	69
5.1. Pendahuluan	69
5.2. Konsep dan Jenis Umpan Balik	69
5.3. Analisis Penguat Umpan Balik Tegangan-Seri	73
5.4. Analisis Penguat Umpan Balik Arus-Paralel	79

5.5. Analisis Penguat Umpan Balik Tegangan-Paralel	81
5.6. Analisis Penguat Umpan Balik Arus-Seri	83
5.7. Ringkasan	85
5.8. Soal Latihan	86
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	<b>87</b>
<b>LAMPIRAN</b>	<b>89</b>
<b>INDEKS</b>	<b>91</b>

# Bab 4

## PENGUAT OPERASI

### **4.1 Pendahuluan**

Penguat Operasi atau disebut dengan Op-Amp (*Operational Amplifier*) adalah suatu penguat beda (penguat diferensial) yang mempunyai penguatan tegangan sangat tinggi dengan impedansi masukan tinggi dan impedansi keluaran rendah. Op-Amp merupakan rangkaian terintegrasi yang dikemas dalam bentuk chip, sehingga sangat praktis penggunaannya. Penggunaan Op-Amp sangat luas, termasuk diantaranya sebagai osilator, filter, rangkaian instrumentasi.

Pada bab ini akan dibahas berbagai penggunaan Op-Amp baik analisis maupun desain. Akan tetapi sebelum masuk ke Op-Amp, perlu dibicarakan terlebih dahulu pembahasan tentang penguat beda. Karena penguat beda merupakan rangkaian penyusun utama dari Op-Amp.

### **4.2 Penguat Beda**

Penguat beda atau *Differential Amplifier* merupakan rangkaian yang banyak dipakai dalam rangkaian terintegrasi termasuk Op-Amp. Pada prinsipnya rangkaian penguat beda terdiri atas dua buah transistor yang emitornya dihubungkan jadi satu. Umumnya masukan penguat beda ada dua buah (berasal dari masing-masing transistor) dan keluarannya ada satu atau dua buah (berasal dari salah satu atau kedua transistor). Rangkaian dasar penguat beda dapat dilihat pada gambar 41.



Dalam penguat beda yang ideal berlaku persamaan sebagai berikut:

$$v_o = A_d (v_1 - v_2),$$

dimana  $A_d$  = faktor penguatan dari penguat beda

$v_1$  = sinyal masukan pertama

$v_2$  = sinyal masukan kedua

Dari persamaan tersebut terlihat bahwa apabila kedua sinyal masukan adalah sama atau selisih kedua masukan adalah nol ( $v_d = v_1 - v_2 = 0$ ), maka sinyal keluaran  $v_o$  adalah nol. Akan tetapi dalam kenyataannya (dalam praktek) tidaklah demikian, karena keluaran penguat beda tidak hanya dipengaruhi oleh masukan sinyal beda ( $v_d$ ) tetapi juga oleh masukan sinyal common-mode ( $v_c$ ).

dalam hal ini:  $v_d = v_1 - v_2$

$$v_c = (v_1 + v_2) / 2$$

dengan demikian sinyal keluaran penguat beda menjadi:

$$v_o = A_d.v_d + A_c.v_c$$

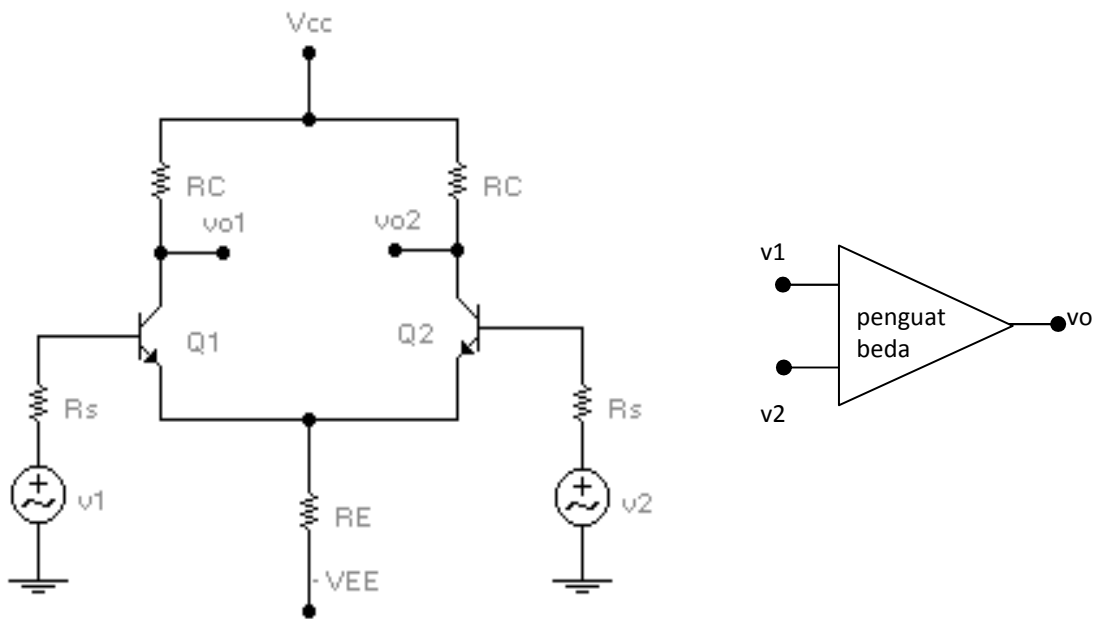
dimana  $A_d$  = faktor penguatan dalam differential-mode

$A_c$  = faktor penguatan dalam common-mode

Oleh karena kualitas penguat beda ditentukan oleh harga  $A_d$  dan  $A_c$  (penguat beda yang baik adalah yang mempunyai  $A_d$  besar dan  $A_c$  kecil), maka perbandingan antara  $A_d$  dan  $A_c$  disebut dengan CMRR atau *Common-mode rejection ratio* dengan persamaan sebagai berikut.

$$CMRR = | A_d/A_c |$$

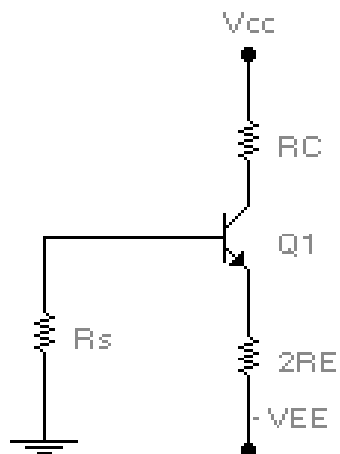
Dalam praktek, untuk mendapatkan  $A_d$ , maka dibuat  $v_1 = -v_2$ , sehingga  $v_c = 0$ . Dengan demikian sinyal keluaran yang diperoleh  $v_o = A_d.v_d$ . Sedangkan untuk mendapatkan  $A_c$ , maka dibuat  $v_1 = v_2$ , sehingga  $v_d = 0$ . Dengan demikian sinyal keluaran yang diperoleh  $v_o = A_c.v_c$ .



Gambar 41. Rangkaian dasar penguat beda dan simbolnya

Analisis DC:

Analisis dc dilakukan pada satu sisi transistor, dengan asumsi bahwa kedua transistor adalah identik (kedua  $\beta$  sama). Rangkaian ekivalen dc untuk satu sisi transistor adalah terlihat pada gambar 42.



Gambar 42. Rangkaian ekivalen DC

Tegangan pada titik emitor (E1 maupun E2):

$$V_{E1} = V_{E2} = (I_{E1} + I_{E2}) \cdot R_E - V_{EE}$$

oleh karena  $I_{E1} = I_E$ , maka:

$$V_{E1} = V_{E2} = I_E (2R_E) - V_{EE}$$

atau

$$V_{E1} = V_{E2} = I_{E2} (2R_E) - V_{EE}$$

sehingga dalam gambar 42 terlihat bahwa pada emitor terdapat resistor sebesar  $2R_E$  dengan arus yang mengalir sebesar  $I_E$ .

Loop input gambar 42:

$$I_B \cdot R_s + V_{BE} + I_E \cdot 2R_E - V_{EE} = 0$$

$$I_B \cdot R_s + I_B \cdot (\beta + 1) \cdot 2R_E = V_{EE} - V_{BE}$$

$$I_B = (V_{EE} - V_{BE}) / \{(\beta + 1) \cdot 2R_E + R_s\}$$

dan  $I_C = \beta \cdot I_B$

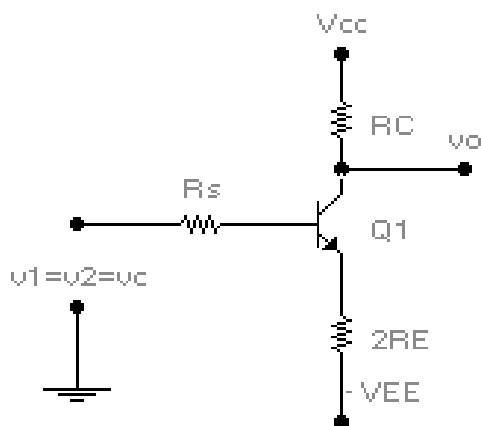
Loop output gambar 42:

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C \cdot R_C - I_E \cdot 2R_E + V_{EE}$$

$$V_{CE} = V_{CC} + V_{EE} - I_C \cdot (R_C + 2R_E) - I_B \cdot 2R_E$$

Analisis AC:

Pertama, analisis ac dilakukan untuk menentukan faktor penguatan common-mode ( $A_c$ ). Untuk itu kedua masukan harus dibuat sama, yakni  $v_1 = v_2$ . Rangkaian satu sisi transistor untuk common-mode adalah pada gambar 43.



Gambar 43. Rangkaian pada common-mode

Oleh karena sinyal  $v_1$  dan  $v_2$  sama (amplitudo maupun fasanya sama), maka sinyal pada emitor adalah sama, yakni:  $v_e = i_e \cdot 2R_E$ . Artinya adalah bahwa pada kaki emitor terdapat beban sebesar  $2R_E$ .

$$v_1 = v_2$$

maka:  $v_d = v_1 - v_2 = 0$

$$v_c = (v_1 + v_2) / 2 = v_1 = v_2$$

Sinyal keluaran,  $v_o$  :

$$v_o = A_d \cdot v_d + A_c \cdot v_c$$

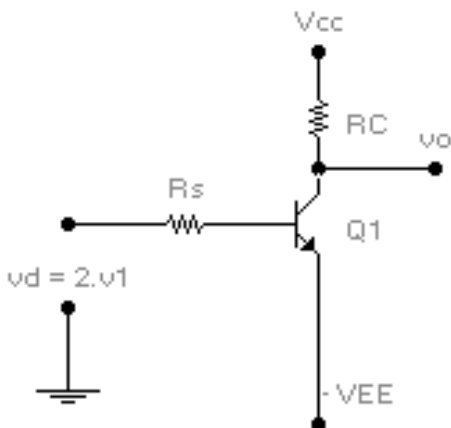
$$v_o = A_d \cdot 0 + A_c \cdot v_c$$

dengan demikian:

$$A_c = v_o / v_c$$

$$A_c = - (h_{fe} \cdot R_C) / \{R_s + h_{ie} + (h_{fe} + 1) \cdot 2R_E\}$$

Kedua, analisis ac diperlukan untuk menentukan faktor penguatan pada differential-mode ( $A_d$ ). Untuk itu masukan penguat beda harus  $v_1 = -v_2$ , artinya amplitudo kedua masukan adalah sama tetapi fasanya berlawanan. Rangkaian satu sisi transistor untuk mode beda (differential-mode) terlihat pada gambar 44. Pada gambar tersebut sinyal masukannya adalah  $v_d = 2 \cdot v_1$  (atau boleh juga  $v_d = -2 \cdot v_2$ ). Dalam hal ini  $v_c$  adalah nol.



Gambar 44. Rangkaian pada differential-mode

Perhatikan bahwa pada kaki emitor tidak terdapat beban  $R_E$ . Dalam mode beda (differential-mode) pada kaki emitor memang tidak dirasakan adanya beban. Hal ini bisa dije-

laskan karena sinyal masukan kedua transistor mempunyai fasa yang berlawanan dengan amplitudo yang sama, sehingga pada kaki emitor kedua sinyal akan saling meniadakan dan akibatnya drop sinyal pada beban emitor menjadi nol. Dengan demikian pada ekivalen ac tidak digambarkan beban RE, karena seolah-olah terjadi hubung singkat (tidak ada drop sinyal).

$$v_1 = -v_2$$

maka:  $v_d = v_1 - v_2$   
 $= 2.v_1 = -2.v_2$

dan  $v_c = (v_1 + v_2) / 2$   
 $= 0$

Sinyal keluaran,  $v_o$  :

$$v_o = A_d.v_d + A_c.v_c$$

$$v_o = A_d.(2.v_1) + A_c.0$$

dengan demikian:

$$A_d = v_o / (2.v_1)$$

$$A_d = - (h_{fe}.R_C) / 2.(R_s + h_{ie})$$

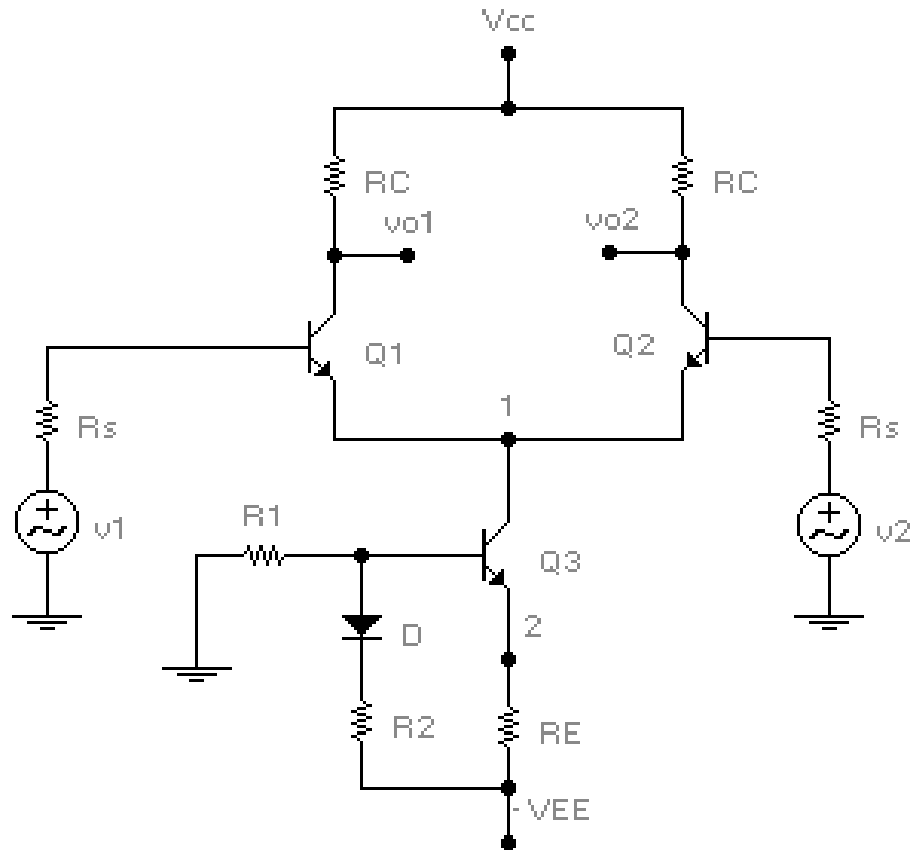
Setelah  $A_c$  dan  $A_d$  ditentukan, maka selanjutnya dapat dihitung CMRR (*common-mode rejection ratio*), yakni:

$$CMRR = | A_d / A_c |$$

### Penguat Beda dengan Sumber Arus Konstan

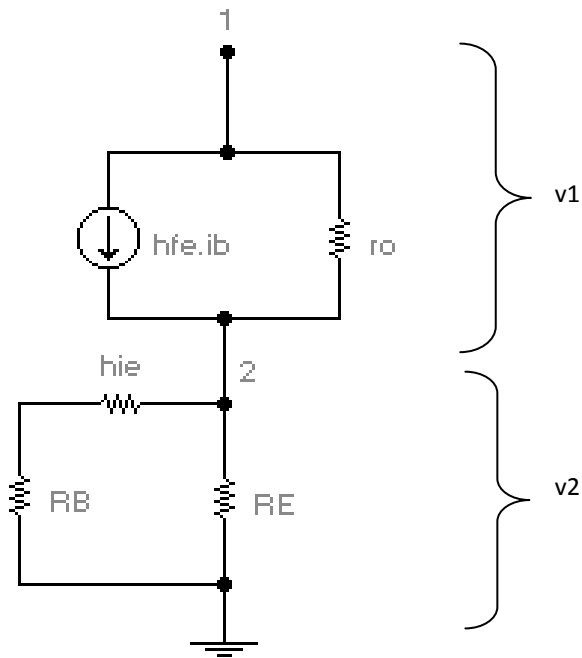
Dengan mencermati persamaan pada  $A_c$  dan  $A_d$ , ternyata penguatan dalam mode beda ( $A_d$ ) tidak dipengaruhi besarnya RE (karena RE seolah-oleh hubung singkat) sedangkan penguatan dalam mode common ( $A_c$ ) sangat dipengaruhi oleh RE (semakin besar RE semakin kecil  $A_c$ ). Sebagaimana telah dijelaskan bahwa semakin besar nilai CMRR, semakin baik kualitas penguat beda. Oleh karena itu untuk memperbaiki kualitas penguat beda, maka pengaruh beban RE harus diperbesar. Dengan demikian  $A_d$  akan tetap dan  $A_c$  menjadi semakin kecil, akibatnya CMRR akan meningkat. Akan tetapi perlu diingat bahwa dengan memperbesar RE, maka stabilitas titik kerja akan menjadi terganggu.

Oleh karena itu diperlukan suatu rangkaian yang bisa memperbesar pengaruh beban RE pada penguat beda, yakni dengan menggunakan rangkaian sumber arus konstan. Rangkaian penguat beda dengan sumber arus konstan dapat dilihat pada gambar 45.



Gambar 45. Rangkaian penguat beda dengan sumber arus konstan

Analisis untuk rangkaian ini terutama adalah untuk menentukan besarnya beban atau impedansi dari rangkaian sumber arus konstan yang dirasakan oleh penguat beda sebagai beban RE. Impedansi inilah yang nantinya dipakai dalam persamaan  $A_c$  sebagai pengganti variabel RE dalam persamaan tersebut. Untuk perlu dibuat rangkaian ekuivalen dari rangkaian sumber arus konstan saja (dari titik 1 ke ground), yakni terlihat pada gambar 46.



Gambar 46. Rangkaian ekivalen sumber arus konstan

Impendansi sumber arus konstan yang akan dicari ( $R_{th}$ ) merupakan tahanan antara titik 1 dan ground, yakni:

$$R_{th} = (v_1 + v_2) / i_{th}$$

dimana:

$i_{th}$  adalah arus yang mengalir pada titik 1 ke bawah.

pada titik 1 berlaku persamaan:

$$i_{th} = h_{fe}.i_b + v_1/r_o$$

pada titik 2 berlaku persamaan:

$$h_{fe}.i_b + v_1/r_o + i_b - v_2/RE = 0$$

dimana:

$$v_1 = (i_{th} - h_{fe}.i_b).r_o$$

$$v_2 = - i_b (h_{ie} + R_B)$$

maka,

$$h_{fe}.i_b + v_1/r_o + i_b - v_2/RE = 0$$

$$i_{th} + i_b - v_2/RE = 0$$

$$i_{th} + i_b - (- i_b (h_{ie} + R_B))/RE = 0$$

$$i_{th} + i_b (1 + (h_{ie} + R_B)/R_E) = 0$$

$$i_{th} = - i_b (1 + (h_{ie} + R_B)/R_E)$$

Dengan demikian:

$$R_{th} = (v_1 + v_2) / i_{th}$$

nilai  $v_1$ ,  $v_2$ , dan  $i_{th}$  dimasukkan, menjadi:

$$R_{th} = \{(i_{th} - h_{fe} \cdot i_b) \cdot r_o + (- i_b (h_{ie} + R_B))\} / \{- i_b (1 + (h_{ie} + R_B)/R_E)\}$$

$$R_{th} = \{((- i_b (1 + (h_{ie} + R_B)/R_E)) - h_{fe} \cdot i_b) \cdot r_o + (- i_b (h_{ie} + R_B))\} / \{- i_b (1 + (h_{ie} + R_B)/R_E)\}$$

Akhirnya diperoleh:

$$R_{th} = \{h_{ie} + R_B + r_o (1 + (h_{ie} + R_B)/R_E) + h_{fe} \cdot r_o\} / \{(1 + (h_{ie} + R_B)/R_E)\}$$

Secara pendekatan persamaan ini dapat disederhanakan menjadi:

$$R_{th} \cong 11 \cdot r_o$$

dimana:

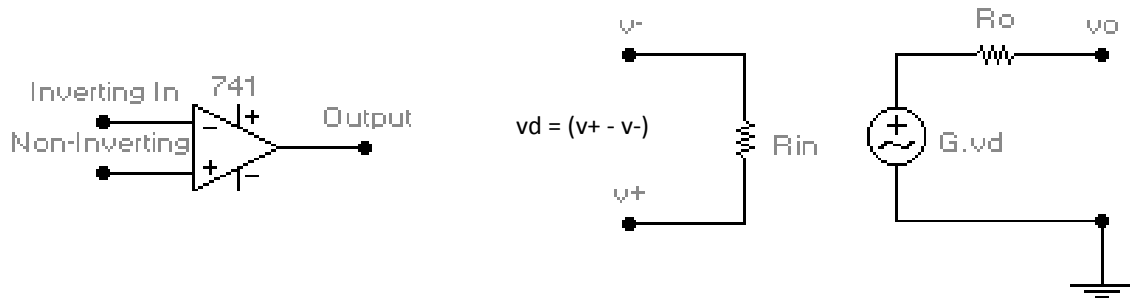
$$r_o = 1/h_{oe}$$

$$R_B = R_1 // R_2$$

### 4.3 Penguat Operasional (Op-Amp) Ideal

Op-Amp merupakan rangkaian terintegrasi yang terdiri atas transistor, resistor, kapasitor, sedemikian sehingga membentuk suatu sistem penguat yang reliabel, berukuran kecil dalam suatu chip. Bagian masukan dari Op-Amp umumnya berupa rangkaian beda seperti yang sudah dijelaskan dalam sub-bab yang lalu. Pada pembicaraan ini, Op-Amp dianggap sebagai sebuah kotak (chip) yang mempunyai dua buah terminal masukan dan sebuah terminal keluaran. Simbol Op-Amp dan rangkaian ekuivalen untuk OP-Amp ideal adalah seperti gambar 47.





Gambar 47. Simbol dan rangkaian ekivalen Op-Amp ideal

Model Op-amp seperti yang digambarkan dalam rangkaian ekivalen tersebut terdiri atas sumber tegangan yang tergantung atas sinyal masukan. Kedua terminal masukan adalah masukan inverting dengan tanda (-) dan masukan non-inverting dengan tanda (+). Beberapa karakteristik Op-Amp ideal adalah sebagai berikut:

1. Resistansi Input,  $R_{in} \rightarrow \infty$  (tak terhingga)
2. Resistansi Output,  $R_o = 0$
3. Penguatan Tegangan Loop Terbuka,  $G \rightarrow \infty$
4. Bandwidth  $\rightarrow \infty$
5.  $v_o = 0$ , jika  $v_+ = v_-$  (artinya:  $A_c = 0$  dan  $CMRR \rightarrow \infty$ )

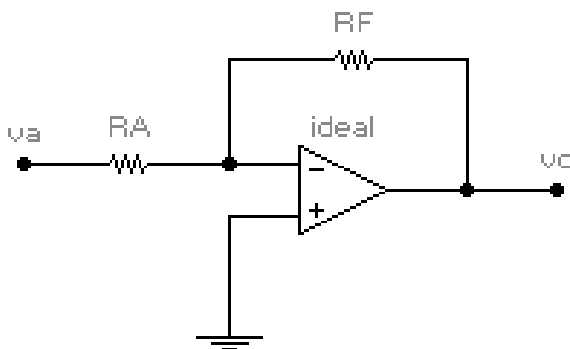
Dengan menganggap bahwa Op-Amp ideal mempunyai penguatan tegangan loop terbuka tak terhingga, maka berapapun nilai sinyal output yang dihasilkan tentunya nilai  $v_d$  tetap nol. Yaitu:  $v_d = v_o/G$  dan  $v_d = v_o/\infty = 0$ . Hal ini berarti bahwa selisih tegangan pada kedua terminal masukan adalah nol. Dan karena  $R_{in}$  adalah tak terhingga, maka arus yang masuk kedalam kedua terminal input adalah nol. Op-Amp dengan loop terbuka (artinya tanpa umpan balik luar) ini terutama dipakai sebagai komparator. Sedangkan Op-Amp dengan loop tertutup (dengan umpan balik luar) banyak dipakai dalam berbagai rangkaian analog.

Pada sub-bab berikut akan dibahas beberapa penggunaan umum dari Op-Amp, seperti penguat inverting dan non-inverting. Analisis yang akan dilakukan tetap mendasarkan kepada asumsi bahwa Op-Amp adalah ideal. Oleh karena itu untuk pegangan dalam menganalisis perlu diingat beberapa hal sebagai berikut:

1. tegangan antara terminal  $v_+$  dan terminal  $v_-$  adalah nol, atau  $v_+ = v_-$  (terjadi virtual ground, bila salah satu terminal digroundkan)
2. arus menuju terminal  $v_+$  dan terminal  $v_-$  adalah nol

#### 4.4 Penguat Inverting

Penguat inverting berarti suatu penguat yang keluarannya selalu berlawanan fasa dengan masukannya. Op-Amp yang berfungsi sebagai penguat inverting terlihat pada gambar 48.



Gambar 48. Penguat inverting

Dengan memperhatikan karakteristik Op-Amp ideal, maka:

pada titik  $v_-$  dengan hukum Kirchoff diperoleh:

$$i_A + i_F = 0 \quad (\text{karena arus yang masuk ke terminal masukan} = 0)$$

$$(v_a - v_-)/R_A + (v_o - v_-)/R_F = 0$$

karena  $v_- = v_+ = 0$ ,

maka:

$$v_a/R_A + v_o/R_F = 0$$

$$v_a/R_A = -v_o/R_F$$

jadi:

$$\mathbf{v_o = - (R_F/R_A) \cdot v_a}$$

atau  $A_v = v_o/v_a$

$$\mathbf{A_v = - R_F/R_A}$$

Dengan cara yang sama, maka analisis untuk penguat inverting dengan masukan lebih dari satu dapat pula dilakukan.

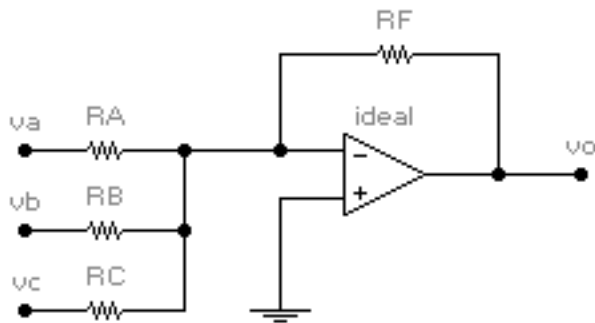
Persamaan outputnya dapat ditulus sebagai berikut:

$$v_o = - R_F (v_a/R_A + v_b/R_B + v_c/R_C)$$

Apabila  $R_A = R_B = R_C = R_F = R$ , maka keluaran dari penguat inverting tersebut adalah:

$$v_o = - (v_a + v_b + v_c)$$

Dengan melihat outputnya, maka rangkaian ini disebut juga dengan rangkaian penjumlah inverting.



Gambar 49. Penguat inverting dengan input banyak

#### 4.5 Penguat Non-Inverting

Penguat non-inverting berarti suatu penguat yang keluarannya tidak berlawanan fasa dengan masukannya (sefasa). Op-Amp yang berfungsi sebagai penguat non-inverting terlihat pada gambar 50. Masukan penguat ( $v_i$ ) diberikan kepada terminal  $v_+$  (terminal masukan non-inverting).

Dengan memperhatikan karakteristik Op-Amp ideal, maka: pada titik  $v_-$  dengan hukum Kirchoff diperoleh:

$$i_A + i_F = 0 \quad (\text{karena arus yang masuk ke terminal masukan} = 0)$$

$$(v_- - 0)/R_A + (v_- - v_o)/R_F = 0$$

karena  $v_- = v_+ = v_i$ ,

maka:

$$v_i/R_A + (v_i - v_o)/R_F = 0$$

$$v_i/R_A + v_i/R_F - v_o/R_F = 0$$

$$v_i/R_A + v_i/R_F = v_o/R_F$$

jadi diperoleh:

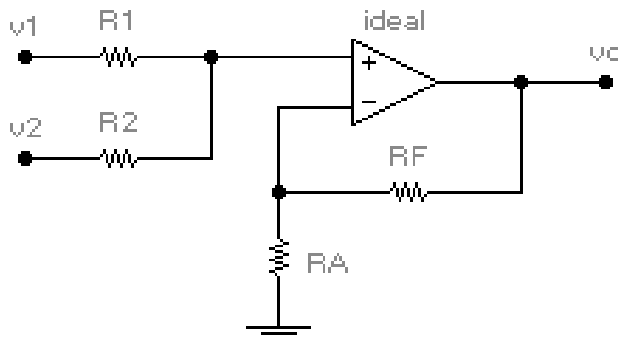
$$v_o = (1 + R_F/R_A).v_i$$

atau

$$A_v = (1 + R_F/R_A)$$

Dengan memperhatikan persamaan ini, terlihat bahwa keluaran penguat non-inverting selalu lebih besar dari satu.

Untuk penguat non-inverting yang berinput lebih dari satu, maka rangkaiannya adalah seperti gambar 51.



Gambar 51. Penguat non-inverting dengan dua input

Pada terminal masukan  $v_+$  perlu diberi resistor tambahan agar tidak terjadi hubung singkat antar sinyal masukan.

pada masukan  $v_+$ , berlaku:

$$i_1 + i_2 = 0 \quad (\text{karena arus yang masuk ke terminal masukan} = 0)$$

$$(v_1 - v_+)/R_1 + (v_2 - v_+)/R_2 = 0$$

$$(v_1 - v_+)/R_1 = - (v_2 - v_+)/R_2$$

$$v_1.R_2 - v_+.R_2 = v_+.R_1 - v_2.R_1$$

$$v_+. (R_1 + R_2) = v_1.R_2 + v_2.R_1$$

sehingga:

$$v_+ = \{(R_1.R_2)/(R_1 + R_2)\} \cdot \{v_1/R_1 + v_2/R_2\}$$

atau  $v_+ = (R_1/R_2) \cdot (v_1/R_1 + v_2/R_2)$

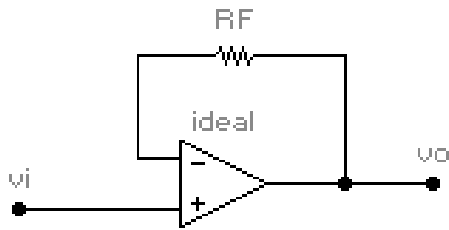
pada masukan  $v_-$ , diperoleh:

$$v_- = (R_A/(R_A + R_F)) \cdot v_o$$

karena  $v_- = v_+$ , maka akhirnya diperoleh persamaan output:

$$v_o = (R_1/R_2) \cdot (v_1/R_1 + v_2/R_2) \cdot (1 + R_F/R_A)$$

Beberapa contoh rangkaian penguat non-inverting lainnya adalah seperti gambar berikut.

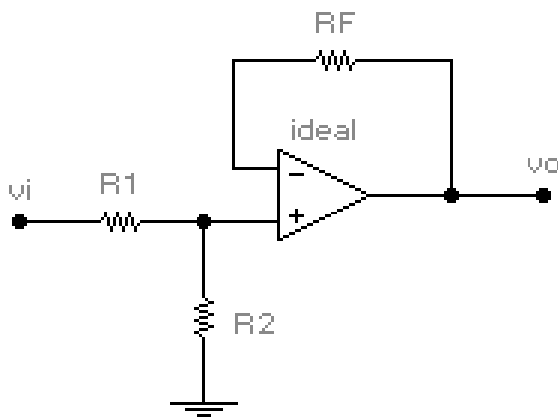


**Gambar 52. Beberapa contoh penguat non-inverting**

Ini merupakan penguat non-inverting, dimana RA dibuat tak terhingga, sehingga:

$$v_o = (1 + 0) \cdot v_i$$

$$v_o = v_i$$



Keluarannya adalah:

$$v_o = (1 + 0) \cdot (R_2 / (R_1 + R_2)) \cdot v_i$$

hal ini karena pada input terdapat pembagi tegangan.

sehingga:

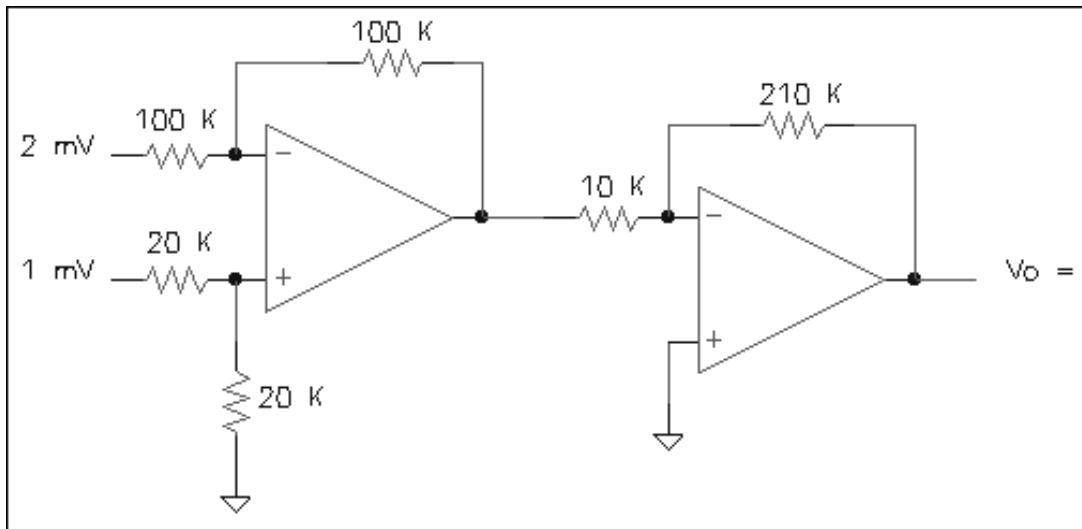
$$v_o = (R_2 / (R_1 + R_2)) \cdot v_i$$

#### 4.6 Ringkasan

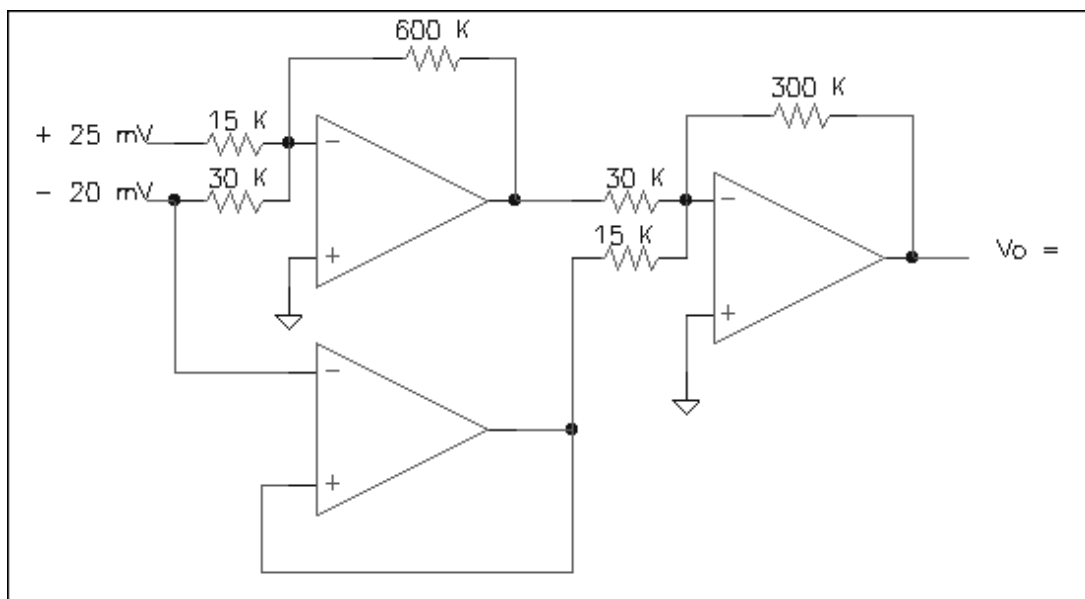
Penguat operasi atau Op-Amp merupakan IC yang banyak digunakan karena aplikasinya sangat luas. Bagian masukan dari Op-Amp umumnya berupa penguat beda yang bisa tersusun atas transistor BJT atau FET. Dalam operasi penguat beda terdapat dua mode yang disebut dengan common-mode dan differential-mode. Dengan mengetahui faktor penguatan masing-masing mode operasi tersebut, maka ukuran kualitas penguat beda, CMRR, dapat ditentukan. Semakin besar nilai CMRR, semakin baik kualitas penguat beda tersebut. Untuk memperbesar nilai CMRR, dapat digunakan sumber arus konstan dalam penguat beda tersebut. Penggunaan Op-Amp yang paling mendasar adalah sebagai penguat inverting, non-inverting, dan komparator.

**4.7 Soal Latihan**

1. Tentukan sinyal output ( $V_o$ ) dari rangkaian berikut:



2. Tentukan sinyal output ( $V_o$ ) dari rangkaian berikut:



3. Dengan menggunakan Op-Amp ideal dan resistor seperti pada gambar, tentukan output rangkaian tersebut untuk  $R_P = \text{min}$  dan  $R_P = \text{maks}$ .

