

PENGUAT OPERASIONAL

① Pendahuluan

② Karakteristik dan Pemodelan

③ Operasi pada Daerah Linear

- Model Virtual Short Circuit
- Metoda Inspeksi
- Metoda Sistematis

④ Operasi pada Daerah NonLinear

- Rangkaian Ekuivalen Saturasi
- Metoda Inspeksi
- Metoda Sistematis

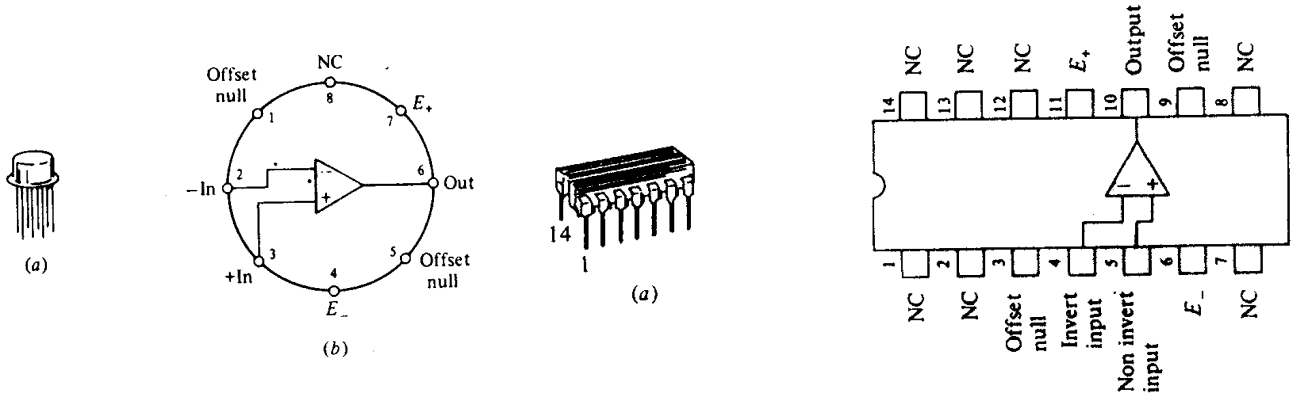
⑤ Model Ideal vs Model Finite Gain

0 PENDAHULUAN

- ◆ Op Amp merupakan divais semikonduktor sangat popular, dengan aplikasi sangat luas.
- ◆ Pada penggunaan frekuensi rendah, Op Amp bersifat sebagai resistor 4-terminal nonlinear, sering dimodelkan sebagai Op Amp ideal.
- ◆ Model ideal membuat analisis menjadi sangat mudah.
- ◆ Op Amp beroperasi pada daerah linear atau nonlinear, tergantung pada cakupan sinyal inputnya.
- ◆ Pada daerah operasi linear, model ideal Op Amp yang nonlinear dapat dilinearkan (model hubung singkat virtual).

1 KARAKTERISTIK DAN PEMODELAN

- ◆ Op Amp yang multi terminal tersedia dalam berbagai kemasan standard.



- ◆ Terdapat lebih dari 2000 jenis Op Amp dalam IC, salah satu yang populer adalah μ A741.

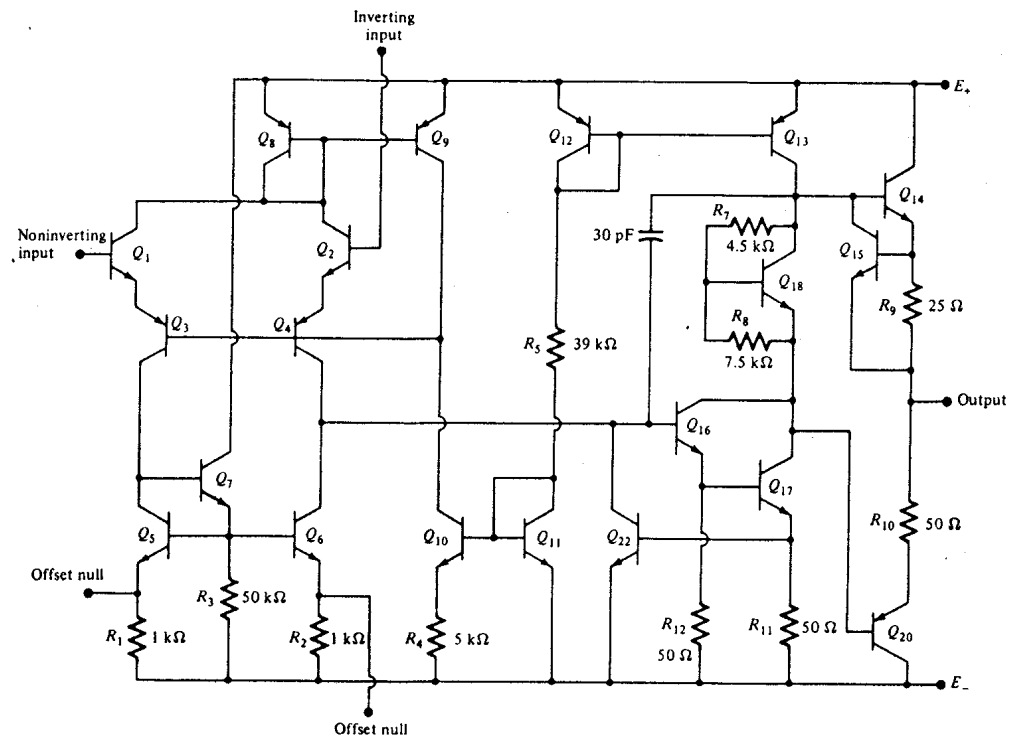
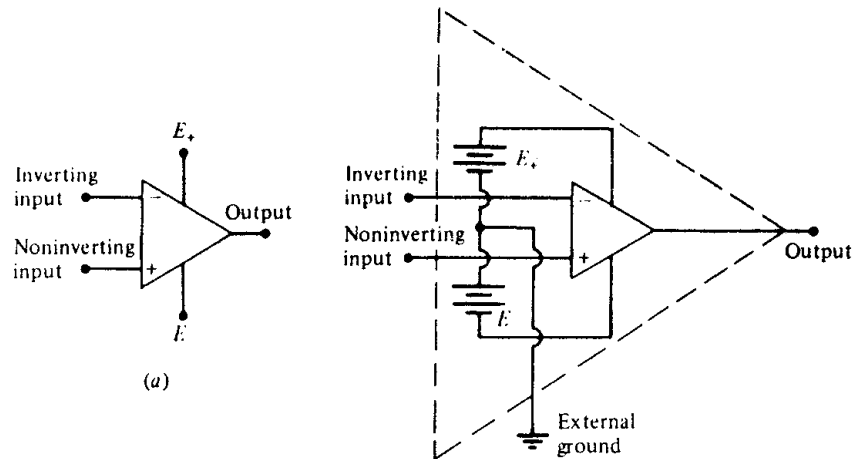


Figure 1.3 Schematic of the μ A741 op amp.

- ◆ Terminal supply E_+ dan E_- digunakan untuk biasing transistor dalam Op Amp agar Op Amp dapat berfungsi baik.

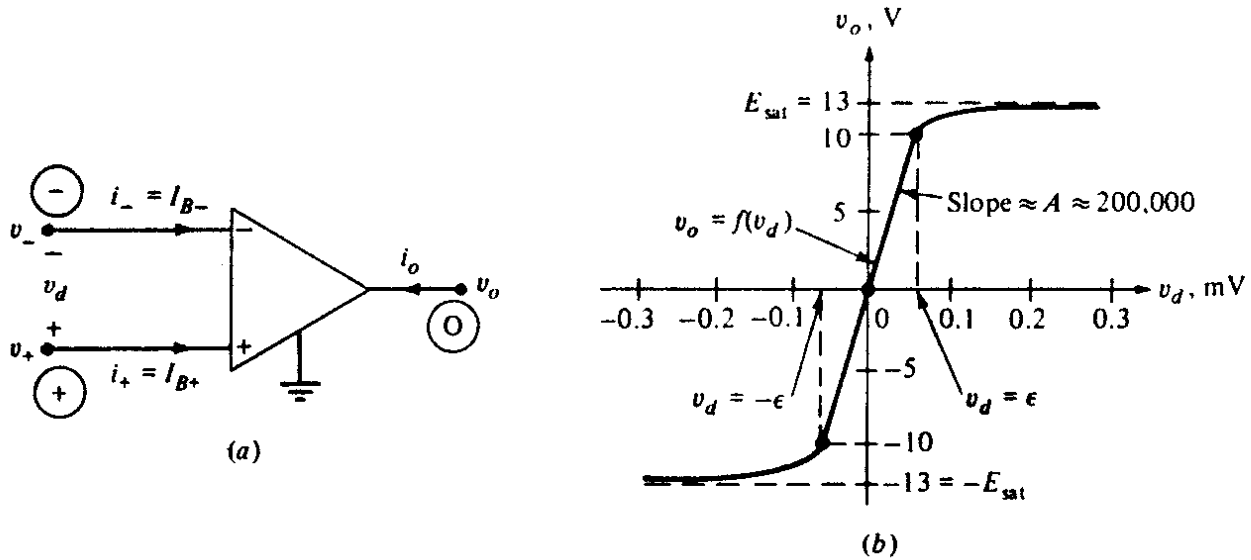


- ◆ Setelah diberi sumber tegangan, rangkaian nulling dan kompensasi luar dilengkapi, maka Op Amp dapat dipandang sebagai divais 4-terminal input +, input -, output, Gnd.
- ◆ Karakteristik akurat Op Amp hanya dapat diturunkan dengan menganalisis seluruh rangkaian IC.
- ◆ Tetapi untuk aplikasi frekuensi rendah, karakteristik pendekatan Op Amp diturunkan secara eksperimen:

$$\begin{aligned}
 i_- &= I_{B-} \\
 i_+ &= I_{B+} \\
 v_o &= f(v_d)
 \end{aligned}$$

I_{B-} : arus bias input –
 I_{B+} : arus bias input +
 $f(v_d)$: karakteristik transfer
 v_o terhadap v_d
 $V_d = V_+ - V_-$

- ◆ Karakteristik transfer memiliki sifat fungsi simetri ganjil, dan tak terlalu peka terhadap perubahan arus output.

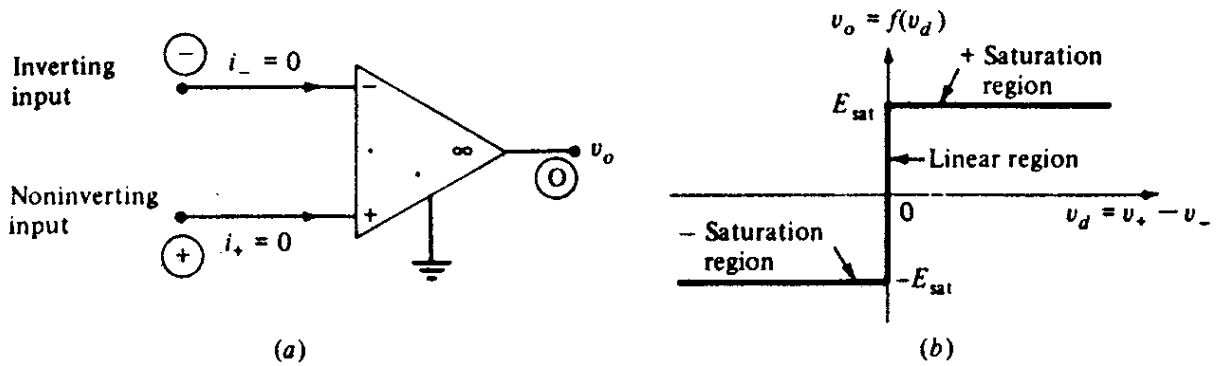


- ◆ Tiga sifat yang diperoleh:

1. Tegangan v_o dan v_d berskala berbeda: volt dan milivolt.
2. Untuk interval sempit disekitar titik asal: $-\epsilon < v_d < \epsilon$, $f(v_d) \gg Av_d$ (linear) dengan slope A : penguatan tegangan loop terbuka.
3. Kurva $f(v_d)$ saturasi pada $v_o = -E_{sat}$ dengan $E_{sat} \gg V_{DD} - 2$.

◆ Model Op Amp Ideal

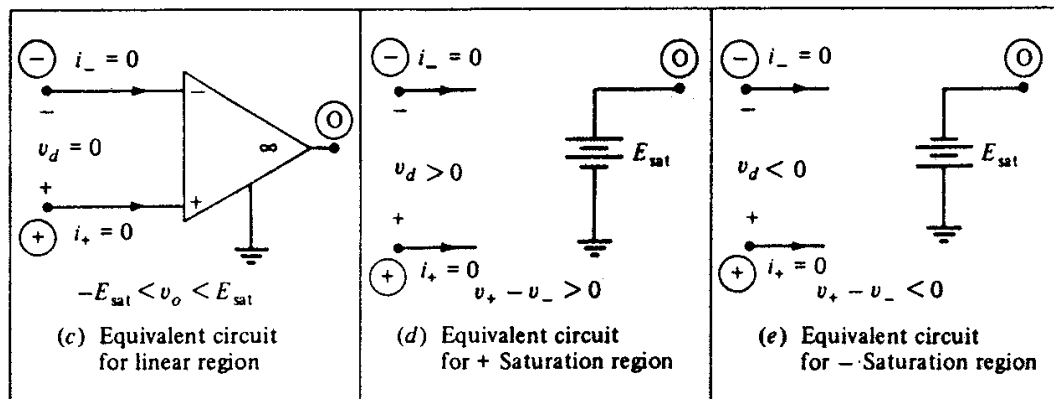
- ◆ Model ideal diturunkan dengan asumsi: $I_{B-} = I_{B+} = \epsilon = 0$ dan $A = \infty$



- ◆ Model ideal secara analitis:

$$\begin{aligned}
 & i_- = 0 \\
 & i_+ = 0 \\
 & v_o = E_{sat} \frac{|v_d|}{v_d}, \quad v_d \neq 0 \\
 & v_d = 0, \quad -E_{sat} < v_o < E_{sat}
 \end{aligned}$$

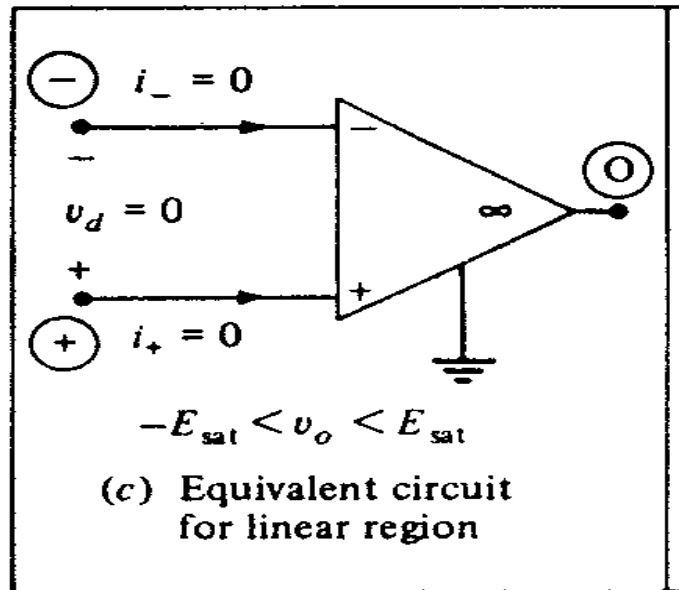
- ◆ Secara grafis persamaan diatas dapat digambarkan sbb:



2 OPERASI PADA DAERAH LINEAR

- ◆ Syarat Op Am beroperasi didaerah linear:

$$-E_{\text{sat}} < v_o(t) < E_{\text{sat}} \text{ untuk semua } t$$



o Model Virtual Short Circuit

- ◆ Analogi dengan resistor 4-terminal / 3-port, maka Op Amp ideal dicirikan:

$$i_- = 0$$

$$i_+ = 0$$

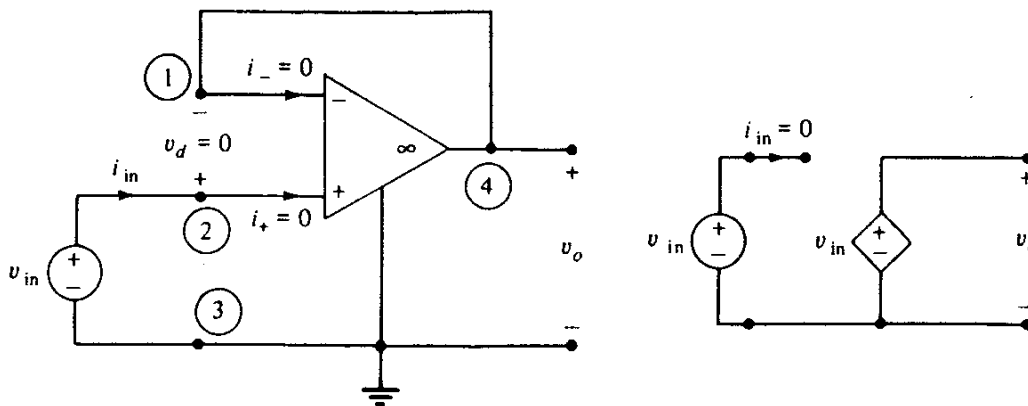
$$v_+ - v_- = 0$$

- o Analisis rangkaian dapat menggunakan metoda inspeksi dan metoda sistematis.

Metoda Inspeksi

- ◆ Sederhana dengan menggunakan KCL dan Persamaan Op Amp ideal.

A. Voltage Follower / Buffer



KCL pada Node 2: $i_{in} = i_{+} = 0$

KVL pada loop 4-3-2-1-4:

$$v_o - v_{in} + v_d = 0 \quad \text{dengan } v_d = 0, \quad \text{diperoleh } v_o = v_{in}$$

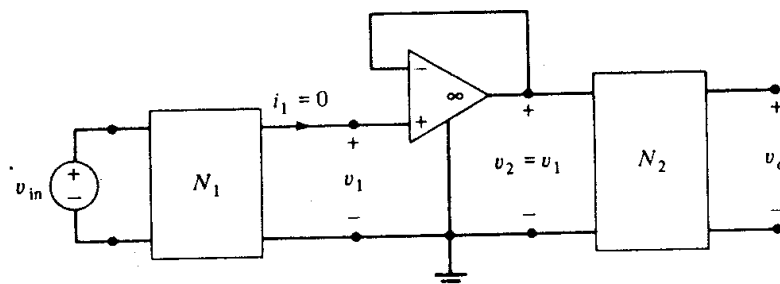
(unity gain VCVS)

Terapkan syarat beroperasi pada daerah linear:

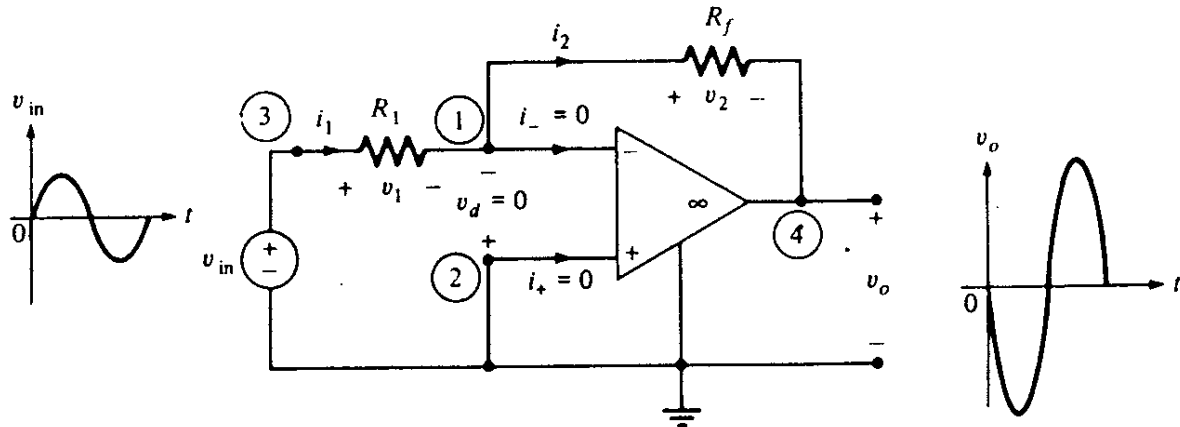
$$-E_{sat} < v_{in} < E_{sat}$$

Sifat rangkaian:

- Resistansi input tak terhingga, karena $i_{in} = 0$
- Output mengikuti tegangan yang sama dengan input tak tergantung pada beban luar
- Sebutan: voltage follower, buffer, isolation amplifier.



B. Inverting Amplifier



Mengingat $v_d = 0$, maka $v_1 = v_{in}$, dan $i_1 = v_{in}/R_1$.

Karena $i_- = 0$, diperoleh

$$i_2 = i_1 \text{ dan } v_2 = R_f i_1 = R_f (v_{in}/R_1)$$

Gunakan KVL pada loop 4-2-1-4:

$$v_o = -\left[\frac{R_f}{R_1}\right]v_{in}$$

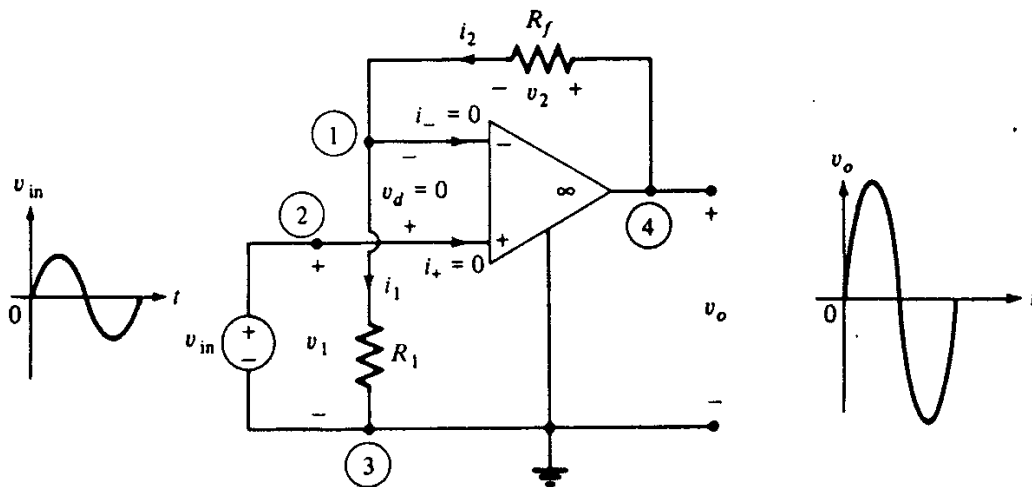
Substitusikan persamaan terakhir ke syarat Op Amp beroperasi didaerah linear:

$$-\left(\frac{R_1}{R_f}\right)E_{sat} < v_{in} < \left(\frac{R_1}{R_f}\right)E_{sat}$$

Catatan:

- Untuk input sinus, fasa output tergeser 180 terhadap input
- Untuk $R_1 = R_f$, rangkaian disebut phase inverter
- Arus $i_- = i_+ = 0$ dipaksakan dari karakteristik v-i nya
- Tegangan $v_d = 0$ dicapai dari luar dengan mengumpanbalikan tegangan output v_o ke terminal - melalui R_f .

C. Noninverting Amplifier



Mengingat $v_d = 0$,

maka $v_1 = v_{in}$, dan $i_1 = v_{in}/R_1$.

Karena $i_- = 0$, diperoleh $i_2 = i_1 = v_{in}/R_1$ dan $v_2 = (R_f/R_1) v_{in}$

Gunakan KVL pada loop 4-3-2-1-4:

$$v_o = \left[1 + \frac{R_f}{R_1}\right] v_{in}$$

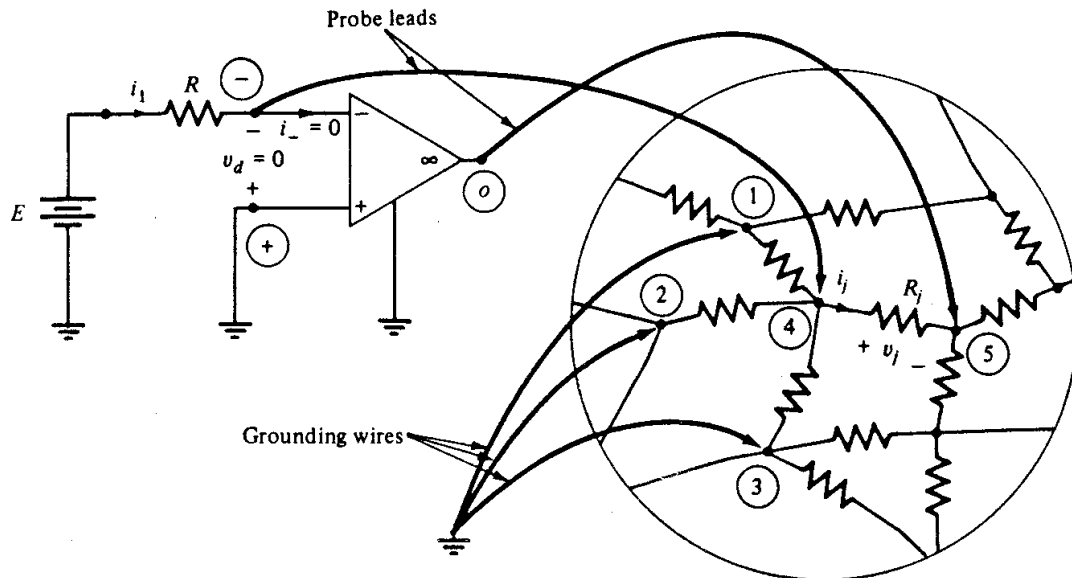
Substitusikan persamaan terakhir ke syarat Op Amp beroperasi didaerah linear:

$$-\left(\frac{R_1}{R_1 + R_f}\right) E_{sat} < v_{in} < \left(\frac{R_1}{R_1 + R_f}\right) E_{sat}$$

Catatan:

Bila $R_1 = \infty$ dan $R_f = 0$, maka rangkaian menjadi voltage follower.

D. Pengukuran Resistansi Tanpa Memotong Kabel



Anggap resistor R_j yang akan diukur.

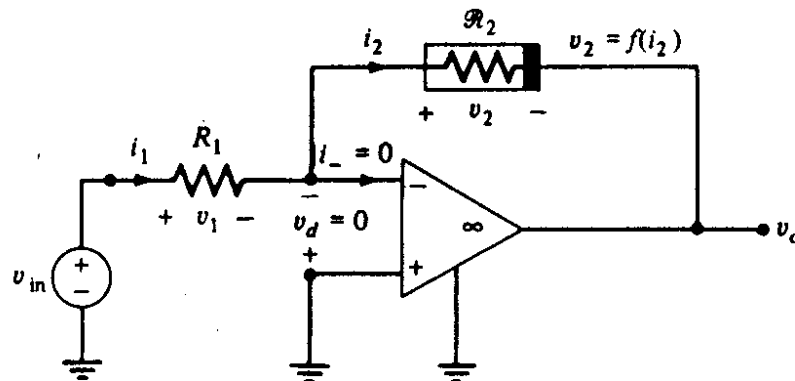
Langkah-langkah pengukuran:

- Hubungkan terminal – Op Amp kesalah satu terminal R_j (node 4) dan hubungkan ke Gnd terminal lain dari semua resistor yang terhubung pada node tsb (node 1, 2, dan 3).
- Hubungkan terminal o Op Amp pada terminal kedua resistor R_j (node 5).
- Dari sifat virtual short circuit, jumlah arus yang melalui semua resistor yang terhubung pada node 4 kecuali resistor R_j adalah nol.
- Mengingat $i_1 = E/R$ dan $i_- = 0$, diperoleh $I_j = E/R$ dan $v_j = (e/R)R_j$. Dengan mengukur tegangan V_j , resistansi R_j dapat

$$\text{dihitung: } R_j = \frac{R}{E} v_j$$

- Tanpa rangkaian virtual short, R_j harus dipotong agar nilainya dapat diukur.

E. Umpan Balik NonLinear



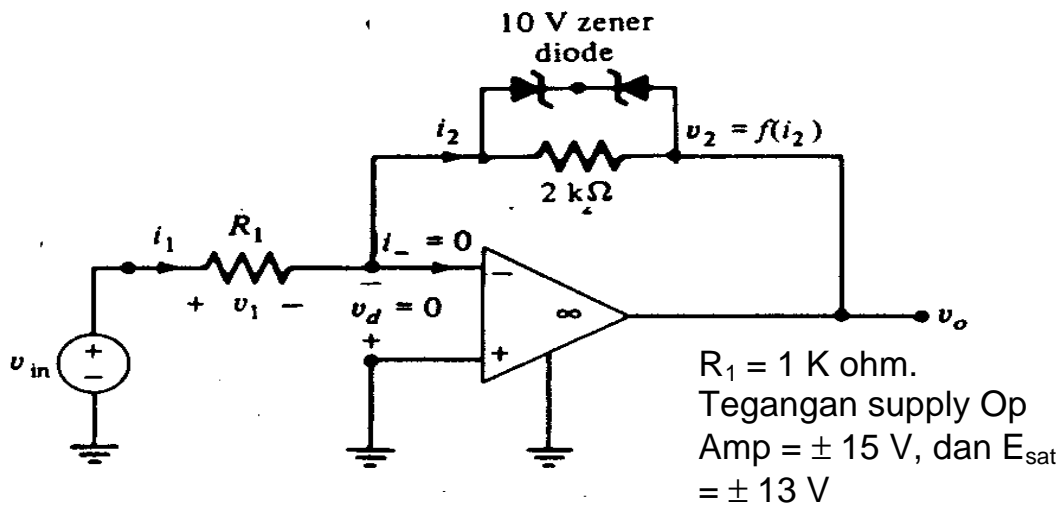
Dari rangkaian, diperoleh:

$$i_2 = i_1 = v_{in} / R_1 \quad \text{dan} \quad v_o = -v_2 \quad \text{sehingga} \quad v_o = -f\left(\frac{v_{in}}{R_1}\right)$$

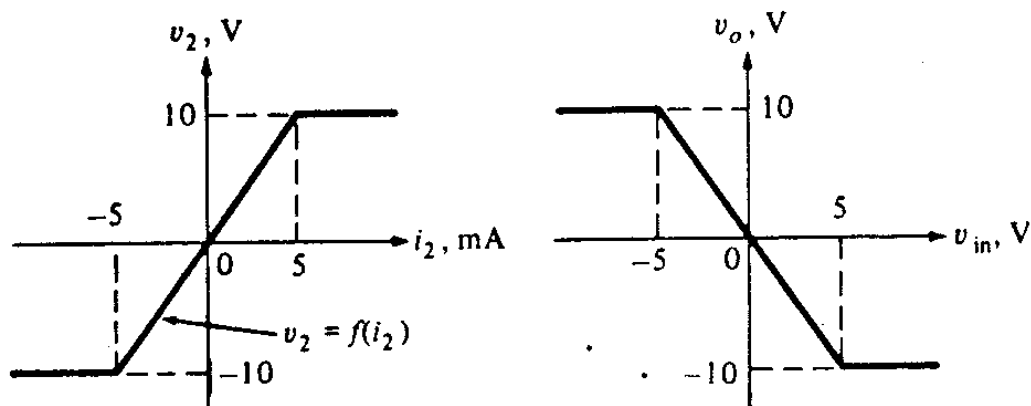
Substitusikan persamaan tsb ke syarat Op Amp bekerja linear:

$$-E_{\text{sat}} < -f\left(\frac{v_{in}}{R_1}\right) < E_{\text{sat}}$$

Contoh: Rangkaian Limiter / Clipper



Dengan menggunakan metoda grafik, diperoleh karakteristik titik driving rangkaian :



Dari Persamaan $v_o = -f\left(\frac{v_{in}}{R_1}\right)$, terlihat bahwa karakteristik transfer dapat diperoleh dengan mencerminkan kurva diatas terhadap sumbu horizontal dan mengganti $v_2 \Rightarrow v_o$ dan $i_2 \Rightarrow v_{in}$.

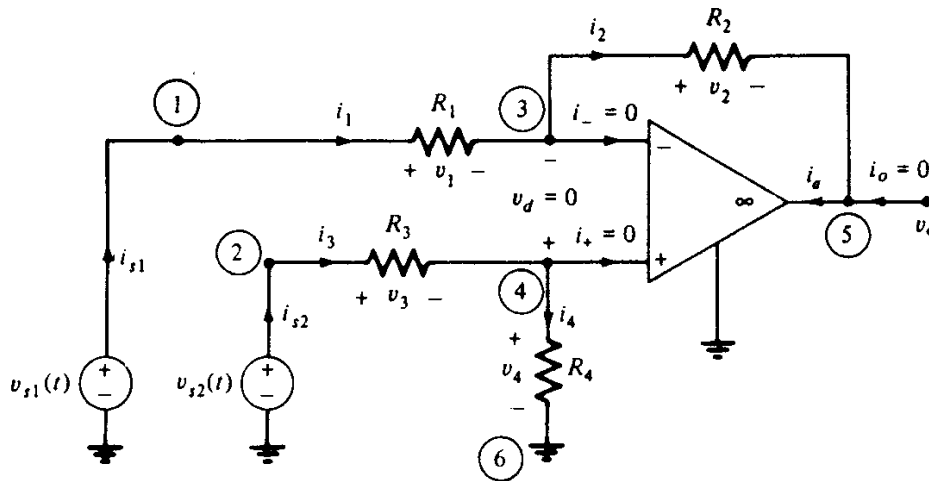
Dengan anggapan $E_{\text{sat}} = \pm 13 \text{ V}$, maka syarat Op Amp bekerja didaerah linear terpenuhi, mengingat: $|-f(v_{in} / R_1)| < 10 \text{ V}$

Catatan:

Untuk amplitudo sinyal input $> 5 \text{ V}$, output = $\pm 10 \text{ V}$, sehingga digunakan untuk proteksi tegangan lebih.

◆ Metoda Sistematis

- ◆ Metoda inspeksi seringkali gagal menyelesaikan lebih dari satu persamaan simultan.
- ◆ Metoda sistematis menentukan persamaan-persamaan independen linear yang menggunakan jumlah variabel minimum.

Contoh:

Tentukan tegangan output.

Langkah 1: Nomori node berurutan, dan gunakan KVL :

$$v_1 = e_1 - e_3 \quad v_3 = e_2 - e_4$$

$$v_2 = e_3 - e_5 \quad v_4 = e_4$$

$$v_d = e_4 - e_3$$

Langkah 2: Nyatakan arus cabang pada setiap resistor linear :

$$i_1 = \frac{e_1 - e_3}{R_1} \quad i_2 = \frac{e_3 - e_5}{R_2}$$

$$i_3 = \frac{e_2 - e_4}{R_3} \quad i_4 = \frac{e_4}{R_4}$$

Langkah 3: Tentukan semua variabel arus lain yang belum tercakup :

i_{s1} , i_{s2} , dan i_a .

Langkah 4: Tulis KCL untuk setiap node:

$$\begin{aligned} \text{Node ①: } \frac{e_1 - e_3}{R_1} - i_{s1} &= 0 & \text{Node ③: } \frac{e_3 - e_5}{R_2} - \frac{e_1 - e_3}{R_1} &= 0 \\ \text{Node ②: } \frac{e_2 - e_4}{R_3} - i_{s2} &= 0 & \text{Node ④: } \frac{e_4}{R_4} - \frac{e_2 - e_4}{R_3} &= 0 \\ \text{Node ⑤: } i_a - \frac{e_3 - e_5}{R_2} &= 0 \end{aligned}$$

Langkah 5: Lengkapi persamaan diatas (5 persamaan dengan 8 variabel) dengan 3 persamaan lain dari langkah 1 dan 2:

$$\begin{aligned} \text{Voltage sources: } & \begin{cases} e_1 = v_{s1} = v_{s1}(t) \\ e_2 = v_{s2} = v_{s2}(t) \end{cases} \\ \text{Op amp:}^3 & e_4 - e_3 = 0 \end{aligned}$$

Langkah 6: Cari solusi $v_o(t)$ dari 8 persamaan diatas:

$$v_o = e_5 = \left[\frac{R_4(1 + R_2/R_1)}{R_3 + R_4} \right] v_{s2}(t) - \left(\frac{R_2}{R_1} \right) v_{s1}(t)$$

Langkah 7: Tentukan cakupan tegangan input agar Op Amp bekerja didaerah linear:

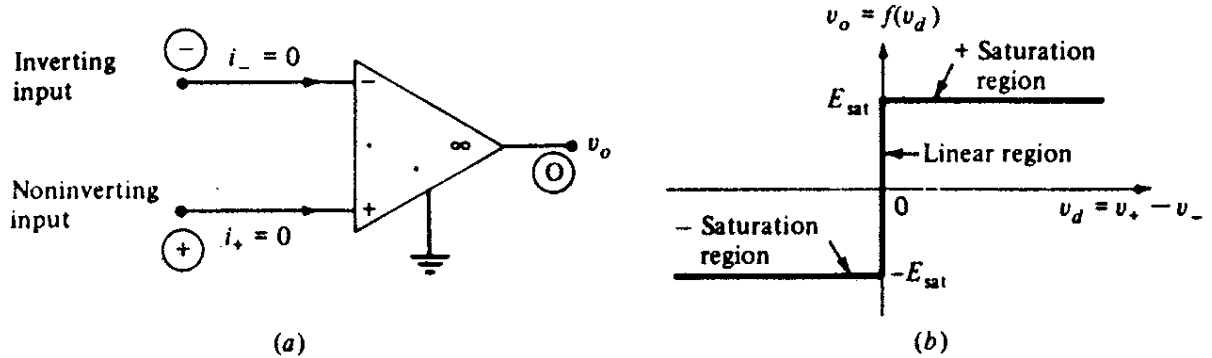
$$-E_{\text{sat}} < \left[\frac{R_4(1 + R_2/R_1)}{R_3 + R_4} \right] v_{s2}(t) - \left(\frac{R_2}{R_1} \right) v_{s1}(t) < E_{\text{sat}}$$

Kasus Khusus: Differential dc amplifier

Ambil kasus: $R_1/R_2 = R_3/R_4$, maka solusinya menjadi sbb:

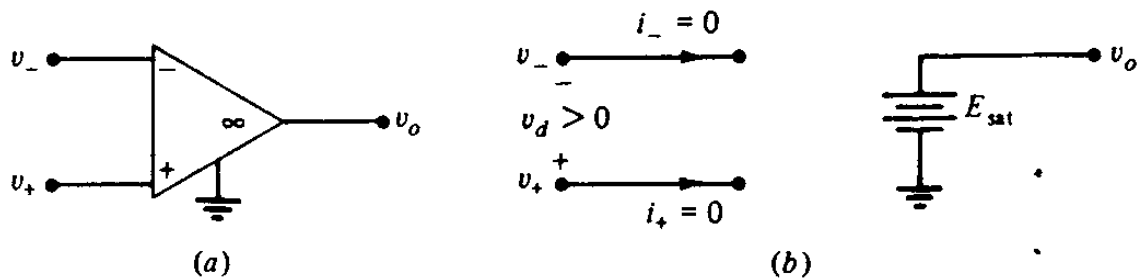
$$\begin{aligned} v_o &= \frac{R_2}{R_1} [v_{s2}(t) - v_{s1}(t)], \\ -\frac{R_1}{R_2} E_{\text{sat}} &< v_{s2}(t) - v_{s1}(t) < \frac{R_1}{R_2} E_{\text{sat}} \end{aligned}$$

③ OPERASI PADA DAERAH NONLINEAR



- Apabila amplitudo sinyal input tak memenuhi syarat operasi linear, maka Op Amp akan masuk ke daerah saturasi.
- Banyak aplikasi yang memerlukan Op Amp beroperasi pada seluruh daerah untuk model Op Amp ideal.
- Pendekatan piecewise linear memudahkan analisis linear untuk setiap daerah.

- Rangkaian Ekuivalen Saturasi +



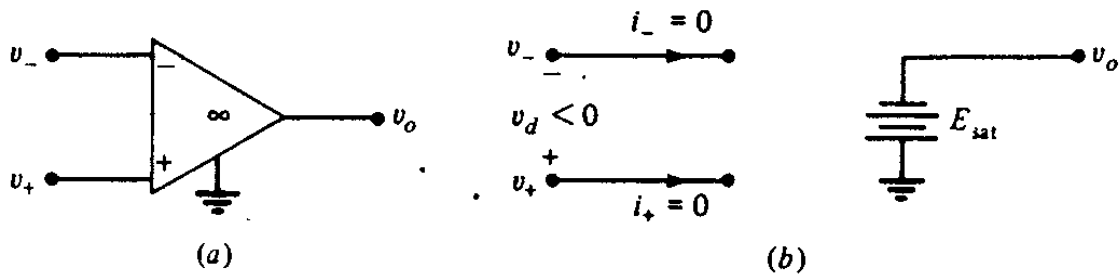
- Pada daerah saturasi +, model Op Amp ideal dicirikan:

$$\begin{aligned} i_- &= 0 \\ i_+ &= 0 \\ v_o &= E_{\text{sat}} \end{aligned}$$

- Syarat:

$$v_d = v_+ - v_- > 0$$

◆ Rangkaian Ekuivalen Saturasi –



- Pada daerah saturasi +, model Op Amp ideal dicirikan:

$$\begin{aligned} i_- &= 0 \\ i_+ &= 0 \\ v_o &= -E_{\text{sat}} \end{aligned}$$

- Syarat:

$$v_d = v_+ - v_- < 0$$

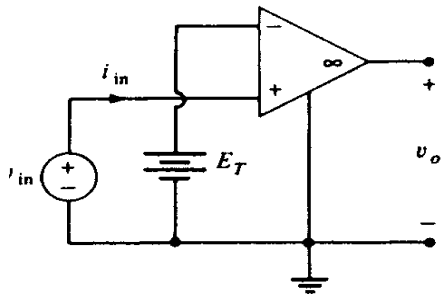
Catatan:

- Untuk menentukan daerah kerja Op Amp model ideal hanya dilihat dari beda tegangan inputnya v_d :
- Bila $v_d = 0$, Op Amp bekerja di daerah linear,
- Bila $v_d > 0$, Op Amp bekerja di daerah saturasi +,
- Bila $v_d < 0$, Op Amp bekerja di daerah saturasi -.

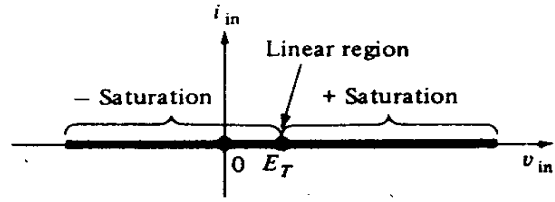
o Metoda Inspeksi

- o Kebanyakan rangkaian Op Amp yang bekerja didaerah nonlinear memiliki satu input dan satu output.
- o Sehingga masalah utama adalah menurunkan karakteristik titik driving atau karakteristik transfer.
- o Bentuk gelombang output dapat ditentukan secara grafis atau substitusi langsung melalui kurva karakteristik tsb.

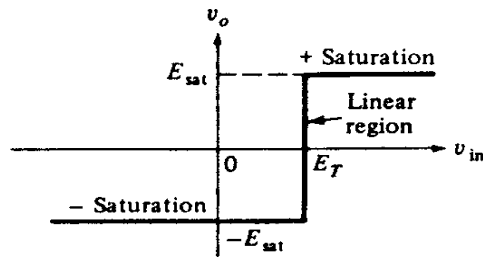
A. Komparator (Detektor Threshold)



(a)



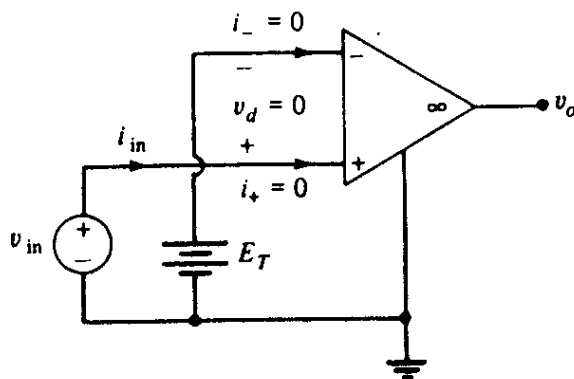
(b)



(c)

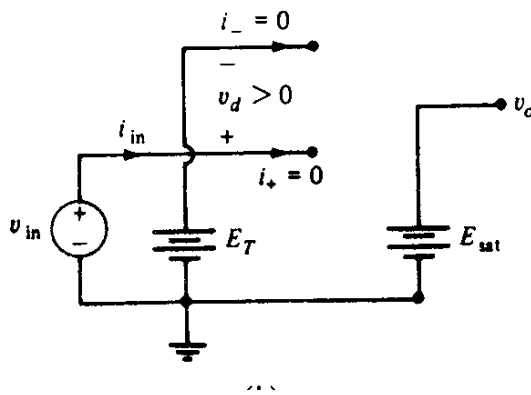
Detektor threshold : $E_T \neq 0$
 Detektor zero crossing :
 $E_T = 0$

- o Ganti model ideal Op Amp dengan virtual short circuit::



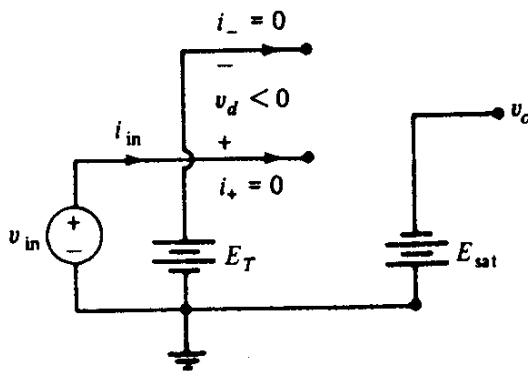
$v_d = v_{in} - E_T = 0$.
 Op Amp di daerah linear, bila:
 $v_{in} = E_T$,
 diperoleh
 $i_{in} = 0$
 dan
 $-E_{sat} < v_o < E_{sat}$.

- o Ganti model ideal Op Amp dengan saturasi + :



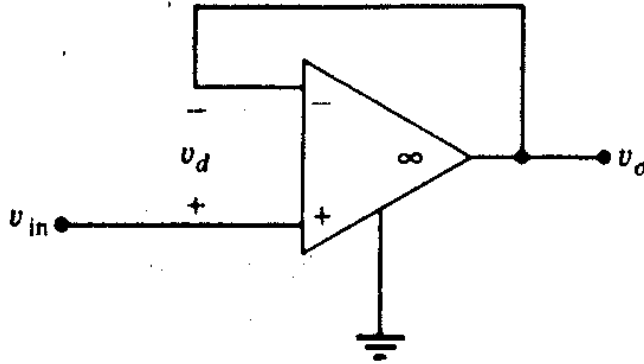
$V_d = v_{in} - E_T > 0$.
 Op Amp di daerah saturasi +,
 bila:
 $v_{in} > E_T$,
 diperoleh
 $i_{in} = 0$
 dan
 $V_o = E_{sat}$.

- o Ganti model ideal Op Amp dengan saturasi - :



$V_d = v_{in} - E_T < 0$.
 Op Amp di daerah saturasi - , bila:
 $v_{in} < E_T$,
 diperoleh
 $i_{in} = 0$
 dan
 $V_o = - E_{sat}$.

B. Rangkaian Umpanbalik Negatif

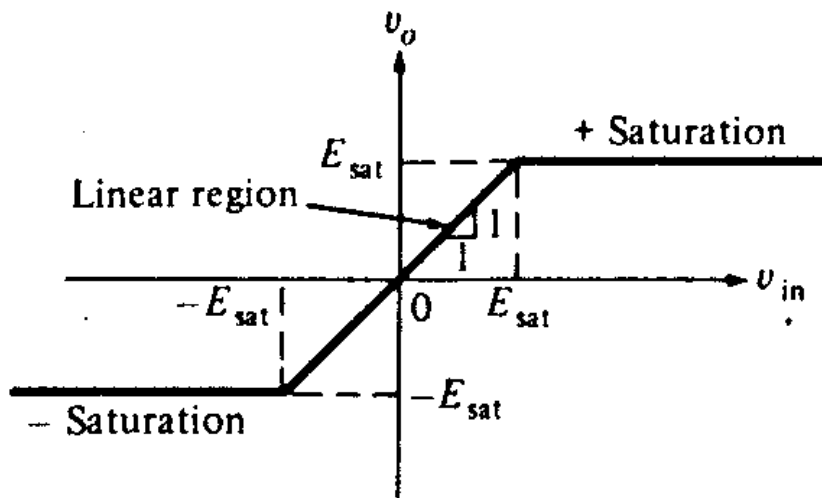


Rangkaian voltage follower: $v_o = v_{in}$ untuk $|v_{in}| < E_{sat}$

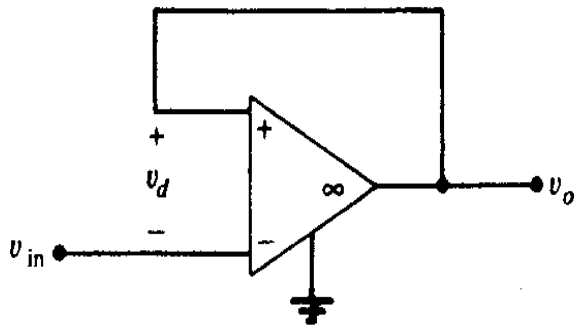
Dari rangkaian, diperoleh:

$$v_o = E_{sat} \quad \text{bila} \quad v_{in} > E_{sat}$$

$$v_o = -E_{sat} \quad \text{bila} \quad v_{in} < -E_{sat}$$



C. Rangkaian Umpanbalik Positif

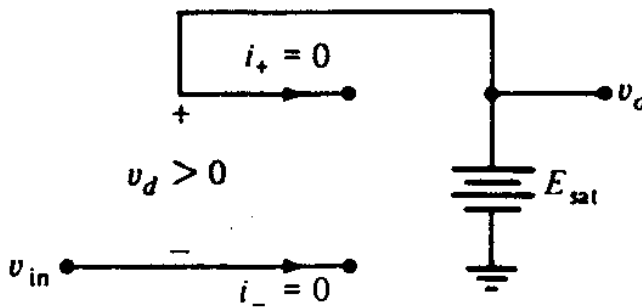


Dari rangkaian, diperoleh:

$$v_o = v_{in} \quad \text{untuk} \quad |v_{in}| < E_{sc}$$

(sama dengan UB negatif untuk daerah linear)

Untuk daerah saturasi +:



Syarat beroperasi:

$$v_d = E_{sat} - v_{in} > 0$$

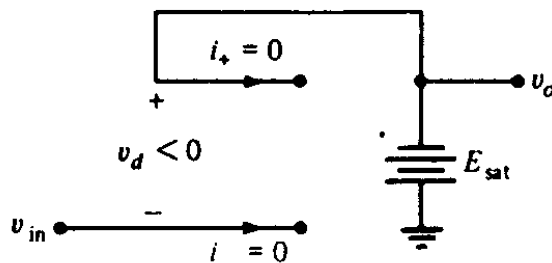
atau:

$$v_{in} < E_{sat}$$

Sehingga:

$$v_o = E_{sat}$$

Untuk daerah saturasi -:



Syarat beroperasi:

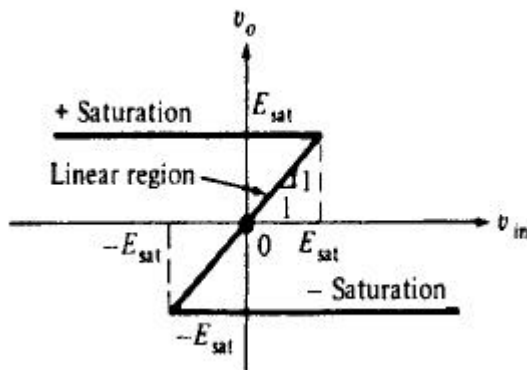
$$v_d = -E_{sat} - v_{in} < 0$$

atau:

$$v_{in} > -E_{sat}$$

Sehingga:

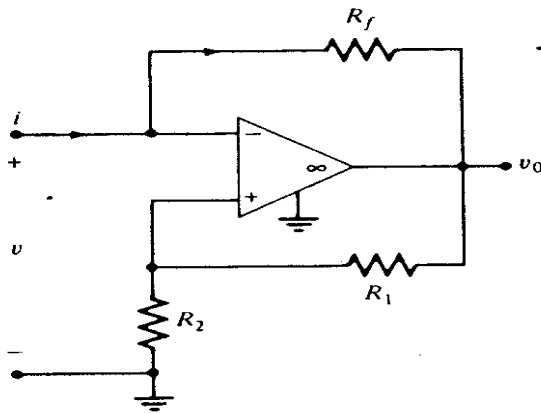
$$v_o = -E_{sat}$$



Catatan:

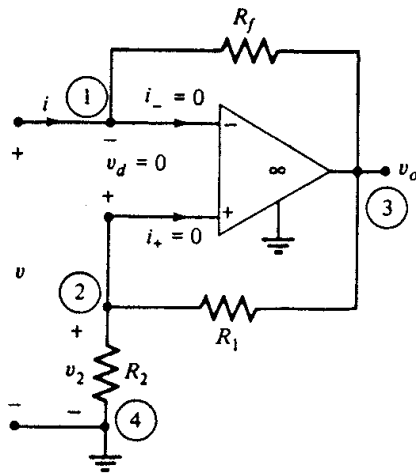
Untuk model Op Amp tak ideal, semua titik operasi daerah linear akan **tak stabil**: akan berpindah ke daerah saturasi + atau saturasi -, tergantung pada perubahan sinyal input.

D. Konverter Resistansi Negatif



- ◆ Tentukan titik driving dan karakteristik transfer nya.

- ◆ Analisis Daerah Linear:



Dari Rangkaian, diperoleh:

$$v_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} v_o = \beta v_o$$

dengan $v_2 = v$, diperoleh:

$$v_o = \frac{1}{\beta} v$$

KVL pada 4-1-3-4:

$$v = R_f i + v_o$$

Dari 2 persamaan, diperoleh:

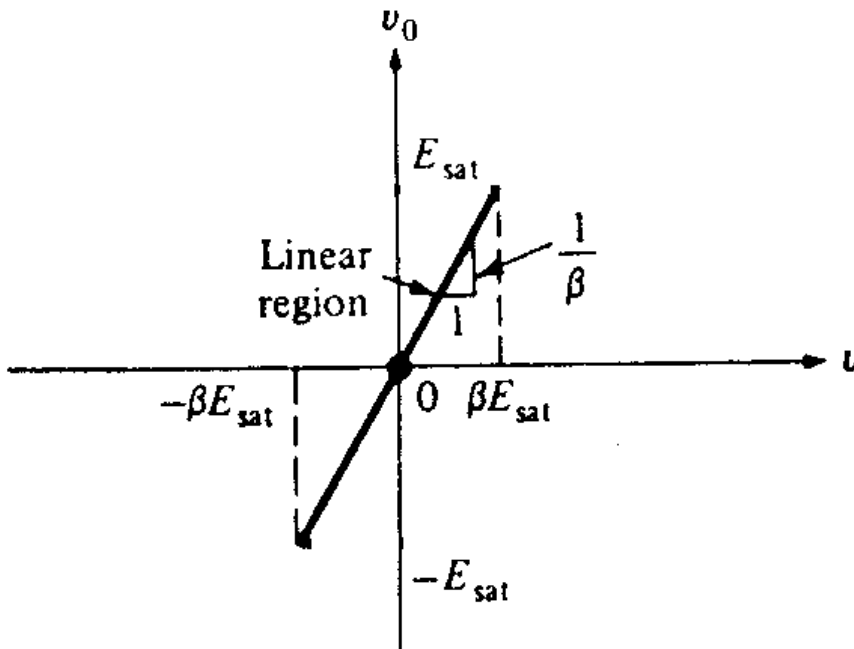
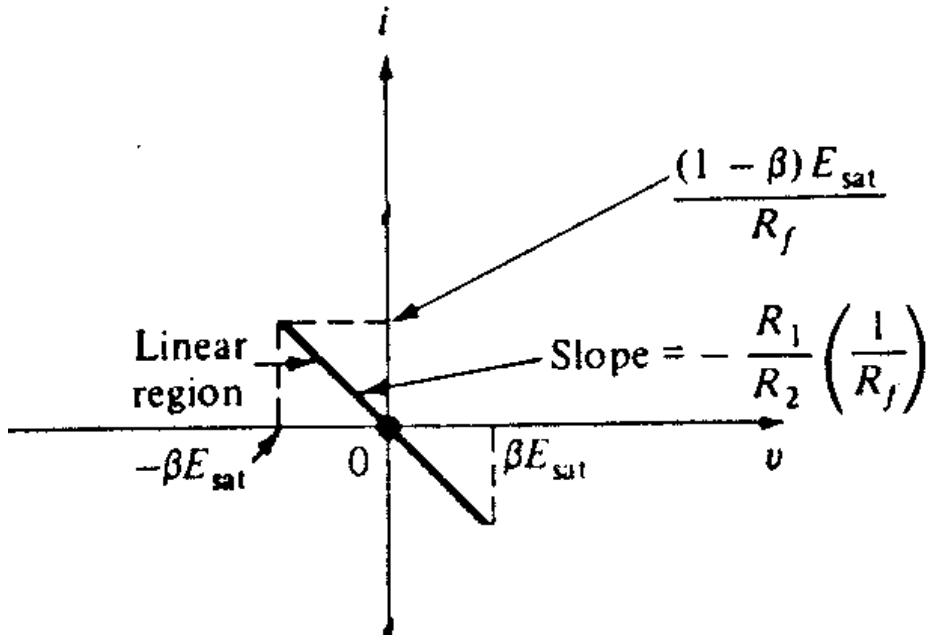
$$i = - \left(\frac{R_1}{R_2} \right) \left(\frac{1}{R_f} \right) v$$

Syarat Op Amp beroperasi di daerah linear:

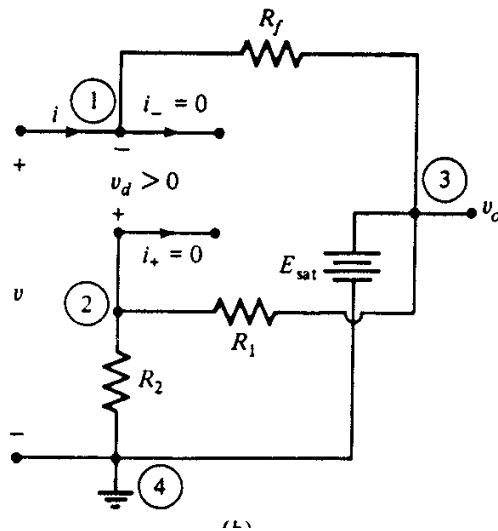
$$-E_{\text{sat}} < v_o(t) < E_{\text{sat}},$$

atau

$$-\beta E_{\text{sat}} < v < \beta E_{\text{sat}}$$



◆ Analisis Daerah Saturasi +



Dari rangkaian, diperoleh:

$$v = R_f i + E_{sat}$$

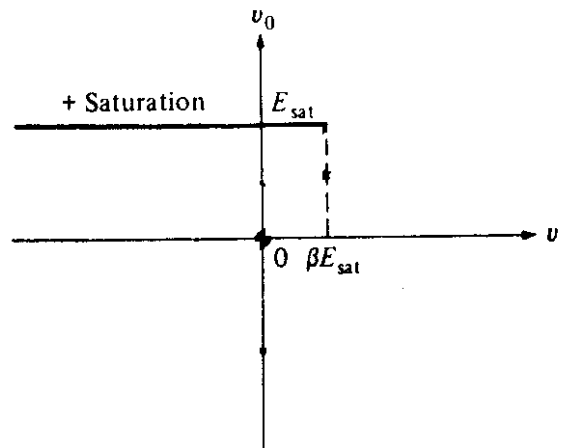
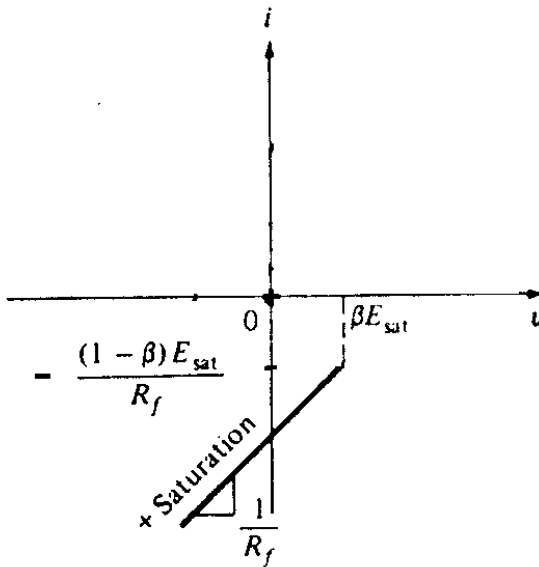
$$v_o = E_{sat}$$

KVL pada 4-1-2-4:

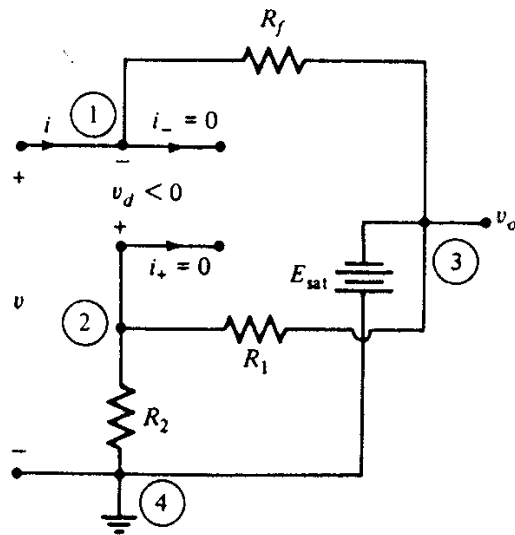
$$v_d = \frac{R_2}{R_1 + R_2} E_{sat} - v = \beta E_{sat} - v$$

Syarat Op Amp di saturasi +:

$$v < \beta E_{sat}$$



◆ Analisis Daerah Saturasi –



Dari rangkaian, diperoleh:

$$v = R_f i - E_{sat}$$

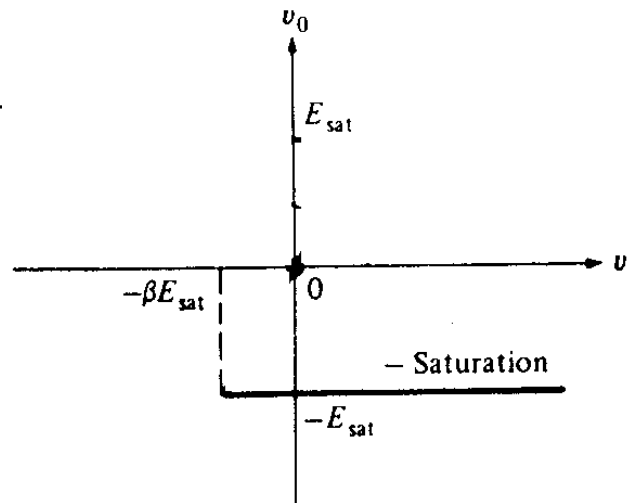
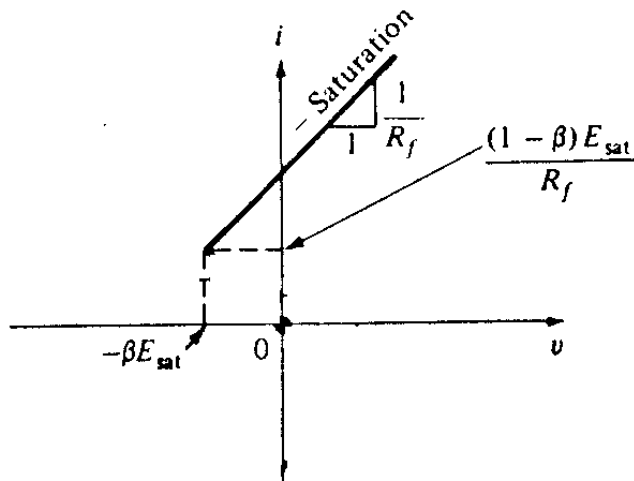
$$v_o = -E_{sat}$$

KVL pada 4-1-2-4:

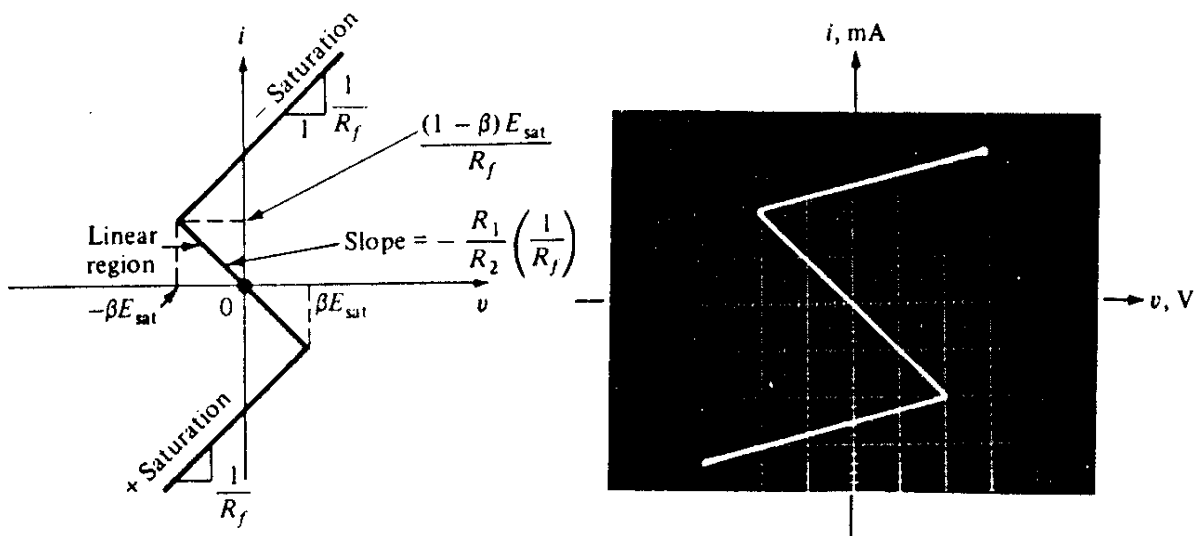
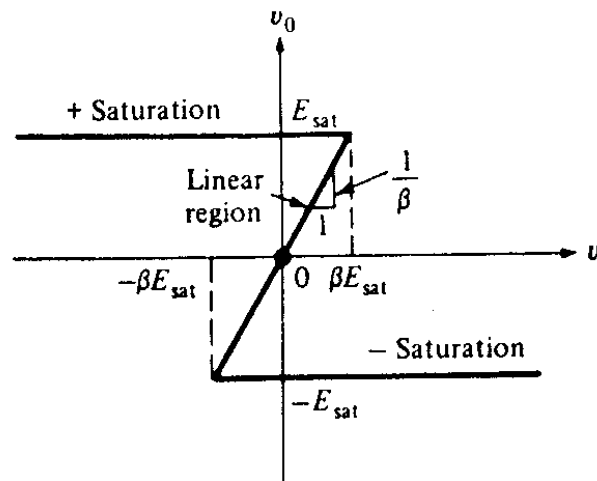
$$v_d = -\frac{R_2}{R_1 + R_2} E_{sat} - v = -b E_{sat} - v$$

Syarat Op Amp di saturasi -:

$$v > -\beta E_{sat}$$

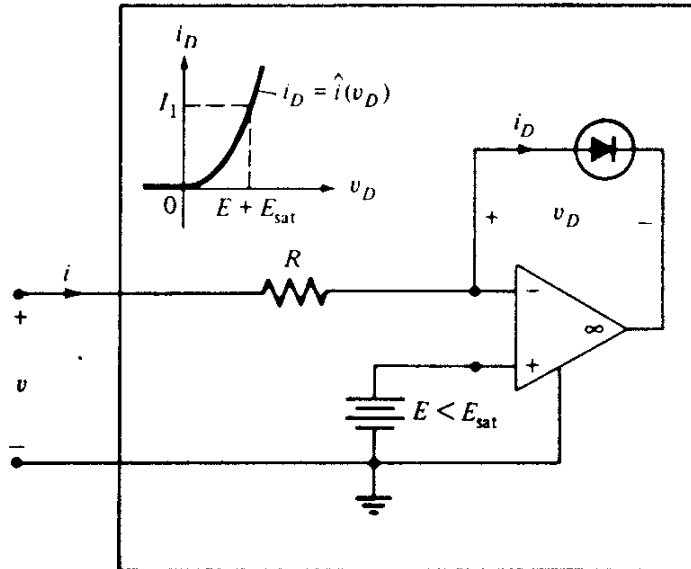


- ◆ Karakteristik transfer dan karakteristik titik driving total:



- ◆ Pengukuran menunjukkan hasil yang sesuai dengan perhitungan.
- ◆ Rangkaian mengubah resistansi positif R_1 , R_2 dan R_f menjadi resistansi negatif $-(R_2 R_f / R_1)$ pada daerah linear nya.
- ◆ Flip flop / osilator dapat diperoleh dari rangkaian ini (bab6).

E. Resistor Konkaf dan Konveks



Karakteristik dioda pn-junction nya:

$$i_D = \hat{i}(v_D) = \begin{cases} I_s \left(\exp \frac{v_D}{V_T} - 1 \right) & v_D \geq 0 \\ 0 & v_D < 0 \end{cases}$$

- ◆ Bila Op Amp bekerja di daerah linear dan saturasi +, maka karakteristik titik drivingnya sama dengan milik resistor konkaf untuk semua $v < E_1$, dengan:

$$E_1 \triangleq E + RI_s \underbrace{\left\{ \exp \left[\frac{1}{V_T} (E + E_{sat}) \right] - 1 \right\}}_{I_1}$$

Dengan $\hat{i}(E + E_{sat}) =$ arus dioda pada $v_D = E + E_{sat}$.

$$0 \leq i < I_1$$

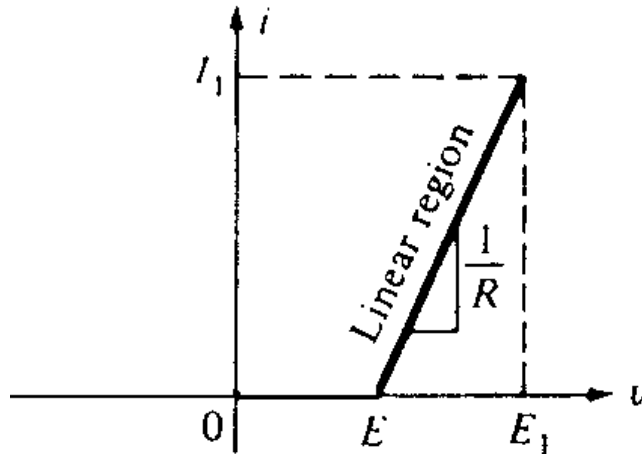
Sehingga

Dalam batas tegangan, diperoleh:

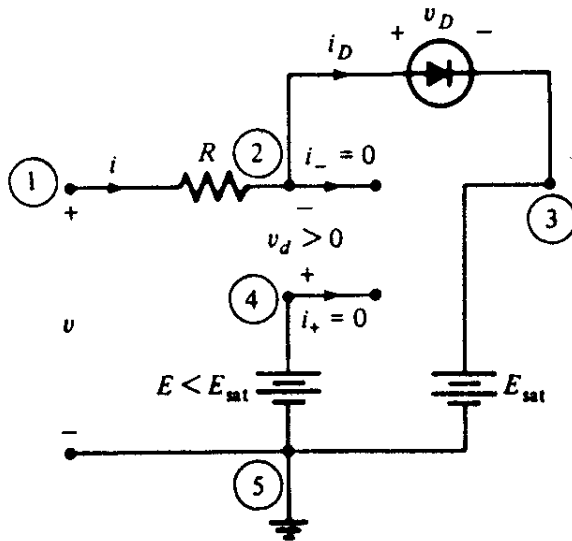
$$E \leq v < E_1$$

dengan

$$E_1 \triangleq E + RI_1 = E + R\hat{i}(E + E_{sat})$$



Analisis Daerah Saturasi +



Dari rangkaian:

$$v_d = E - v + Ri$$

Syarat saturasi + :

$$v_d > 0,$$

maka:

$$v < E + Ri$$

KVL pada 2-1-5-3-2:

$$\begin{aligned} v_D &= v - Ri - E_{\text{sat}} < (E + Ri) - Ri - E_{\text{sat}} \\ &= E - E_{\text{sat}} < 0 \end{aligned}$$

(Anggap $E < E_{\text{sat}}$).

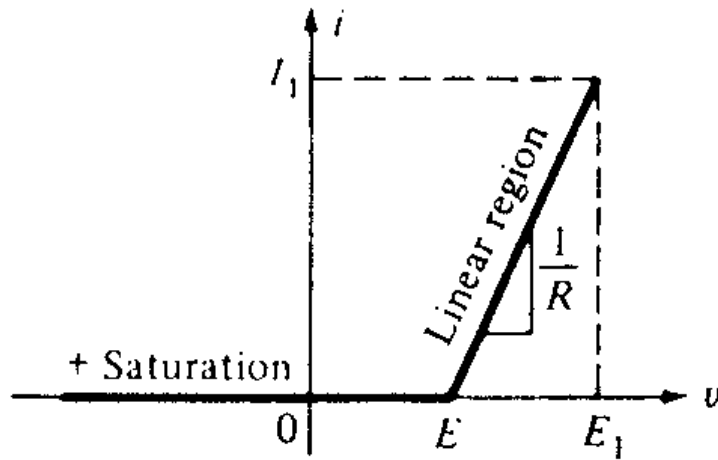
Dengan demikian dioda reversed bias bila Op Amp pada daerah saturasi +.

Diperoleh:

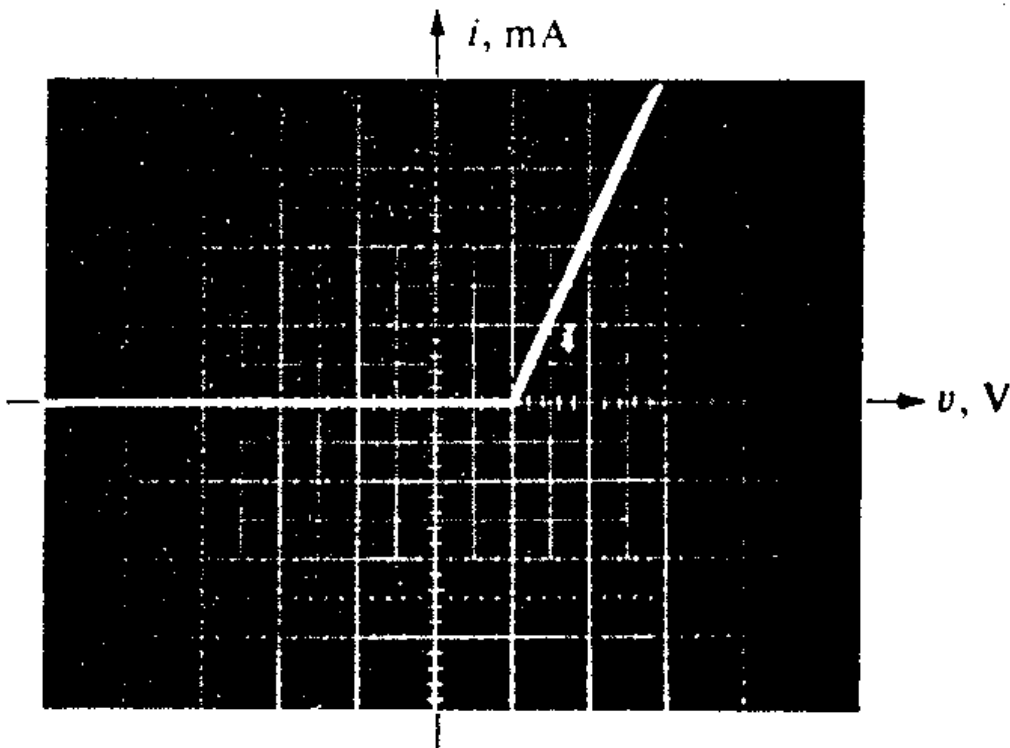
$$i = 0$$

$$v < E$$

Karakteristik total untuk kedua daerah operasi Op Am:

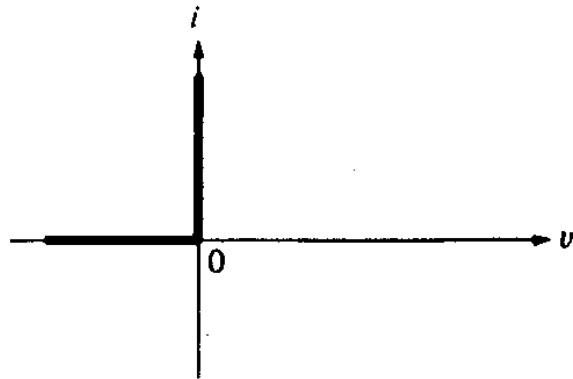


Karakteristik hasil pengukuran:

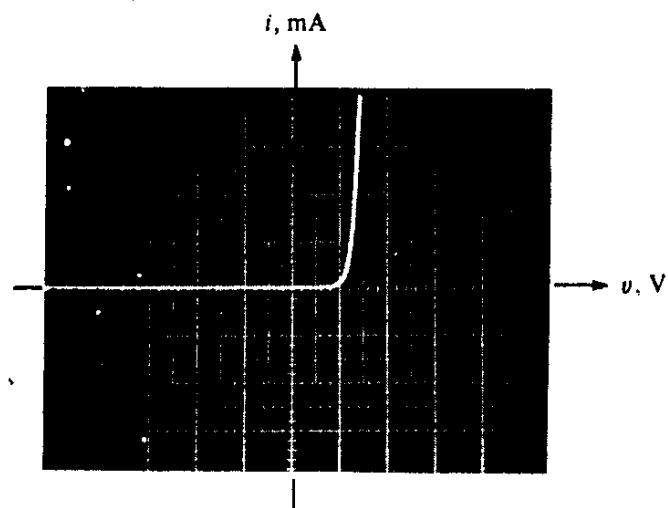


Kasus Khusus:

- ◆ Bila $R \rightarrow 0$ dan $E \rightarrow 0$, maka karakteristik titik driving berubah menjadi milik dioda ideal:

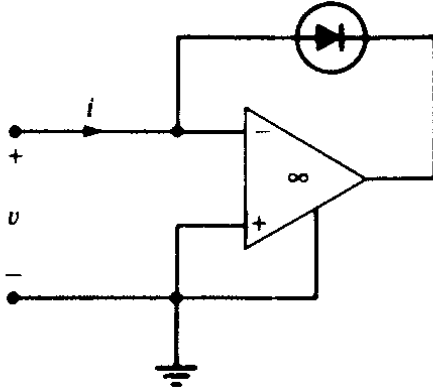


- ◆ Pengukuran kurva karakteristik dioda pn-junction:

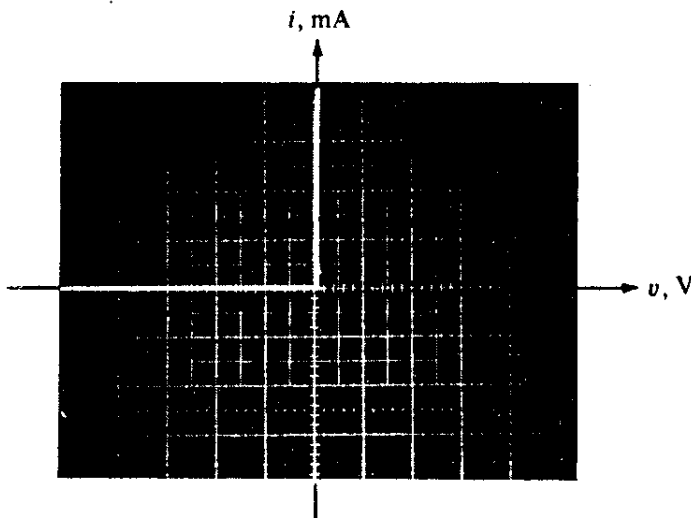


Realisasi Dioda Ideal

- ◆ Rangkaian Op Amp untuk realisasi dioda ideal:

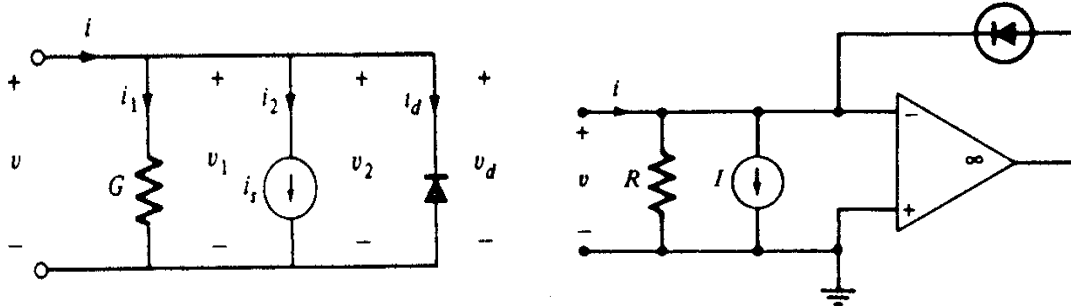


- ◆ Pengukuran karakteristik titik driving rangkaian dioda ideal:

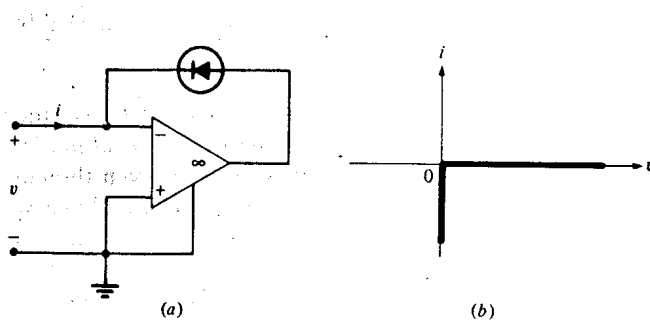


Realisasi Resistor Konveks

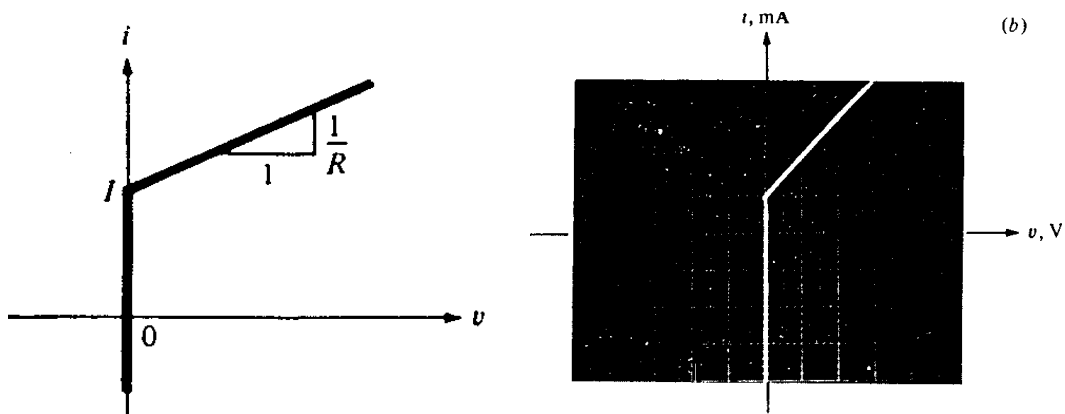
- ◆ Rangkaian resistor konveks pada bab 2:



- ◆ Ganti dioda pada gambar kiri dengan rangkaian dioda menggunakan Op Amp, diperoleh rangkaian kanan.
- ◆ Balik arah dioda pada rangkaian dioda ideal sebelumnya:



- ◆ Karakteristiknya berdasarkan perhitungan dan pengukuran:



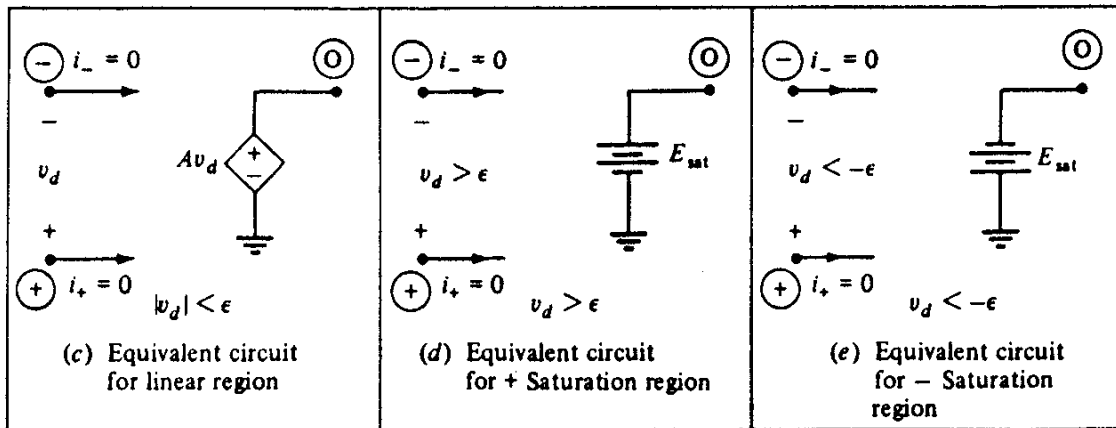
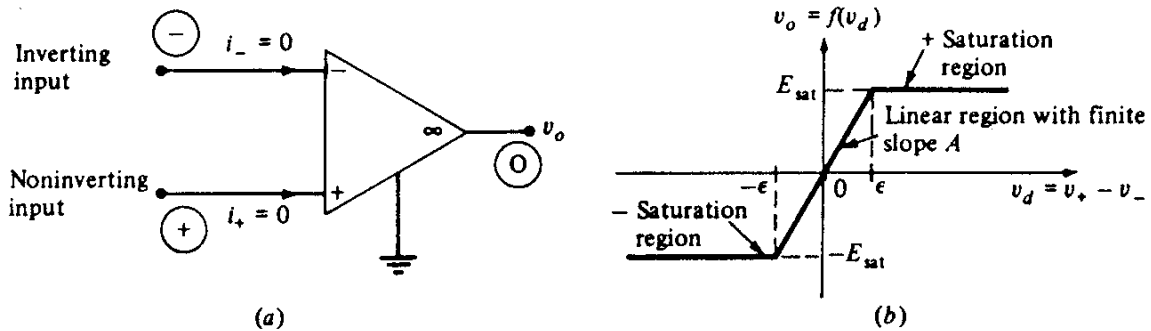
- ◆ Dengan 2 rangkaian resistor konfak dan konveks tsb, dapat didesain rangkaian apapun yang memiliki karakteristik titik driving piecewise linear yang naik secara monoton.

◆ Metoda Sistematis

- ◆ Gunakan metoda sistematis untuk rangkaian lebih kompleks yang tak dapat dianalisis dengan metoda sebelumnya (dibahas pada bab 8)
- ◆ Segmen titik driving atau karakteristik transfer pada saat Op Amp didaerah linear, dapat diturunkan menggunakan metoda ini.
- ◆ Untuk daerah saturasi + dan -, prosedur yang sama dapat dilakukan dengan mengingat Op Amp dimodelkan sebagai suatu battery.

4 MODEL IDEAL vs MODEL FINITE GAIN

- ◆ Model Op Amp ideal menganggap $A = \infty$.
- ◆ Bila $A \neq \infty$, maka model ideal harus diganti dengan model Op Amp penguatan berhingga.

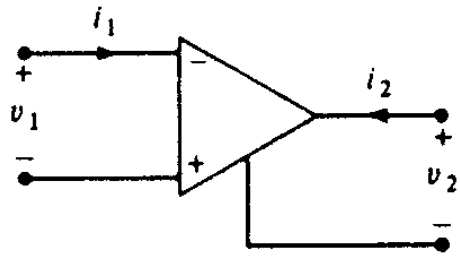


- ◆ Dengan menggunakan representasi piecewise linear, model analitisnya sbb:

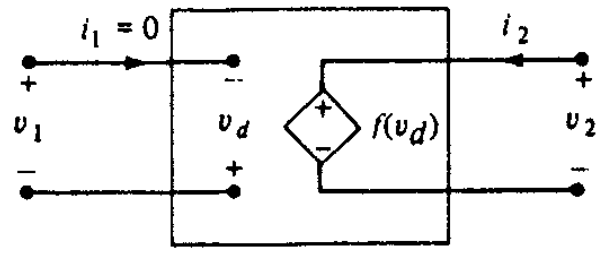
$$\begin{aligned}
 & i_- = 0 \\
 & i_+ = 0 \\
 & v_o = f(v_d) \triangleq \frac{A}{2} |v_d + \epsilon| - \frac{A}{2} |v_d - \epsilon|
 \end{aligned}$$

- ◆ Mengingat $i_- = 0$ dan $i_+ = 0$, maka $i_- = i_+$, maka kedua model Op Amp dipandang sebagai 2-port.

- ◆ 2-port nonlinear untuk model penguatan berhingga:

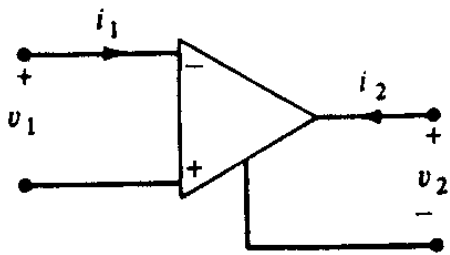


(a)

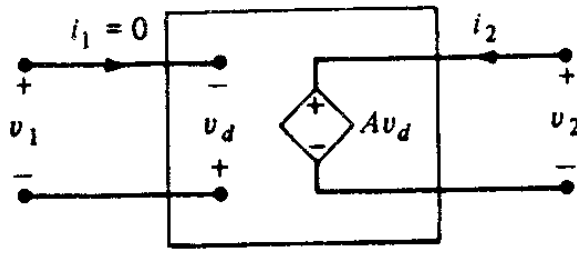


(b)

- ◆ 2-port linear untuk model penguatan berhingga: VCVS



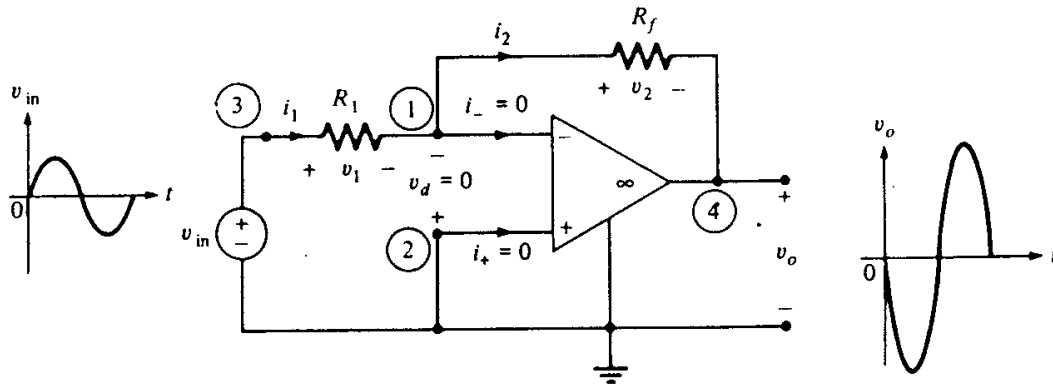
(a)



(b)

Contoh : Perbandingan Analisis menggunakan 2 model.

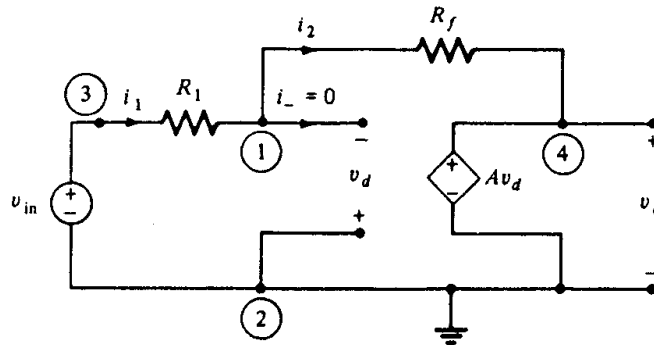
- ◆ Gunakan model penguatan berhingga:



- ◆ Dari Analisis sebelumnya: rangkaian bekerja di daerah linear dengan cakupan dinamis:

$$-\left(\frac{R_1}{R_f}\right) E_{sat} < v_{in} < \left(\frac{R_1}{R_f}\right) E_{sat}$$

- ◆ Ganti Op Amp dengan model 2-port linear, sehingga rangkaian menjadi:



KCL pada node 1:

$$i_2 = \frac{v_{in} + v_d}{R_1}$$

KVL pada urutan node tertutup 1-4-2-1:

$$R_f \left[\frac{v_{in} + v_d}{R_1} \right] + Av_d + v_d = 0$$

Diperoleh:

$$v_d = - \left[\frac{1}{(R_1/R_f)A + (1 + R_1/R_f)} \right] v_{in}$$

Dengan $v_o = Av_d$, maka:

$$v_o = - \left[\frac{1}{(R_1/R_f) + (1/A)(1 + R_1/R_f)} \right] v_{in}$$

Catatan:

- ◆ Bila $A \rightarrow \infty$, maka $v_d \rightarrow 0$ pada persamaan diatas, sehingga v_o

menjadi:
$$v_o = - \left[\frac{R_f}{R_1} \right] v_{in}$$

- ◆ Untuk $A > 10^5$, maka perhitungan v_d dan v_o akan menghasilkan nilai yang sangat dekat dengan model Op Amp ideal.
- ◆ Kesimpulan sama berlaku juga untuk rangkaian lain.
- ◆ Pengukuran karakteristik titik driving pada Gb 3.9, 3.10, 3.12 dan 3.14 sesuai sekali dengan yang diperkirakan pada model Op Amp ideal.
- ◆ Model Op Amp ideal tepat digunakan karena analisisnya menjadi jauh lebih sederhana.