

RANGKAIAN ELEKTRONIKA II

Penguat Diferensial



Mifta Nur Farid, S.T., M.T.
miftanurfarid@lecturer.itk.ac.id

Teknik Elektro
Institut Teknologi Kalimantan
Balikpapan, Indonesia

Februari 22, 2021

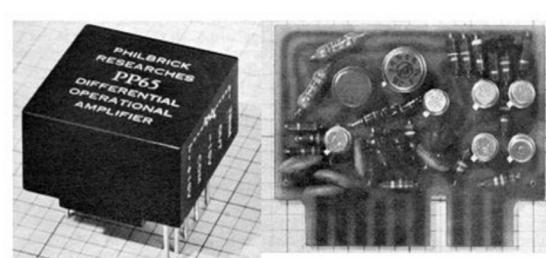
Pengantar

- Istilah Operational amplifier (op-amp) merujuk kepada sebuah amplifier/penguat yang menjalankan suatu operasi matematika.
- Dalam sejarahnya, op-amp pertama digunakan di dalam komputer analog untuk melakukan operasi penjumlahan, perkalian dan lainnya.
- Op-amp dibuat sebagai sirkuit diskrit → sekarang kebanyakan op-amp adalah sirkuit terintegrasi/ integrated circuits (IC).

Brief History of Op-Amp



Vacuum Tube Op-Amps (1930's-1940's)
Dual-supply voltage of +300/-300 V
Output swing +/- 50 volts
Open-loop voltage gain of 15,000 to 20,000,
Slew rate of +/- 12 volts/ μ second
Maximum output current of 1 mA
George Philbrick



Solid State Discrete Op-Amps (1960's)
Dual-supply voltage of +15/-15 V
Output swing +/- 11 volts
Open-loop voltage gain of 40,000,
Slew rate of +/- 1.5 volts/ μ second
Maximum output current of 2.2 mA



Monolithic IC Op-Amp

- First created in 1963 μ A702 by Fairchild Semiconductor
- μ A741 created in 1968, became widely used due to its ease of use 8 pin, dual in-line package (DIP)
- Further advancements include use of field effect transistors (FET), greater precision, faster response, and smaller packaging

Gambar. 1: Perkembangan op-amp

Pengantar

- Op-amp → penguat DC/DC amplifier dengan voltage gain/penguatan tegangan yang sangat besar, impedansi input yang sangat besar, dan impedansi output yang sangat kecil.
(1)
(2)
(3)
- Frekuensi unity gain dari 1 hingga lebih dari 20 Mhz.
- IC op-amp adalah sebuah blok fungsional yang lengkap dengan pin eksternal.
- Hanya dengan menghubungkan pin tersebut ke suplai tegangan dan beberapa komponen, kita dapat dengan cepat membuat segala jenis rangkaian yang berguna.

Pengantar

- Rangkaian input yang paling banyak digunakan di op-amp adalah sebuah penguat diferensial/ differential amplifier. / Diff amp
- Konfigurasi dari penguat ini memberikan banyak karakteristik input di IC.
- Penguat diferensial juga dapat dikonfigurasi dalam bentuk diskrit untuk digunakan dalam komunikasi, instrumentasi, dan rangkaian kontrol industri.
- **Kita akan fokus pada penguat diferensial yang digunakan dalam IC.**

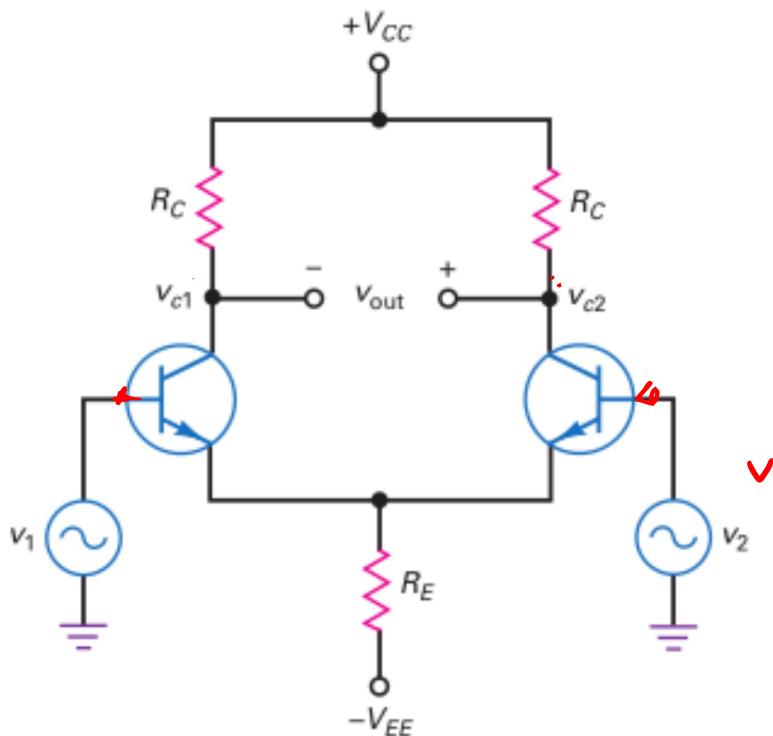
Pengantar

- Sub-CPMK:
 - Mahasiswa mampu menganalisis rangkaian penguat diferensial (C4, P3, A3)
 - Bahan Kajian
 - 1. Konsep dasar penguat diferensial;
 - 2. Analisis DC dari penguat diferensial;
 - 3. Analisis AC dari penguat diferensial;
 - 4. Common-mode gain;
- dff. awp.

Penguat Diferensial

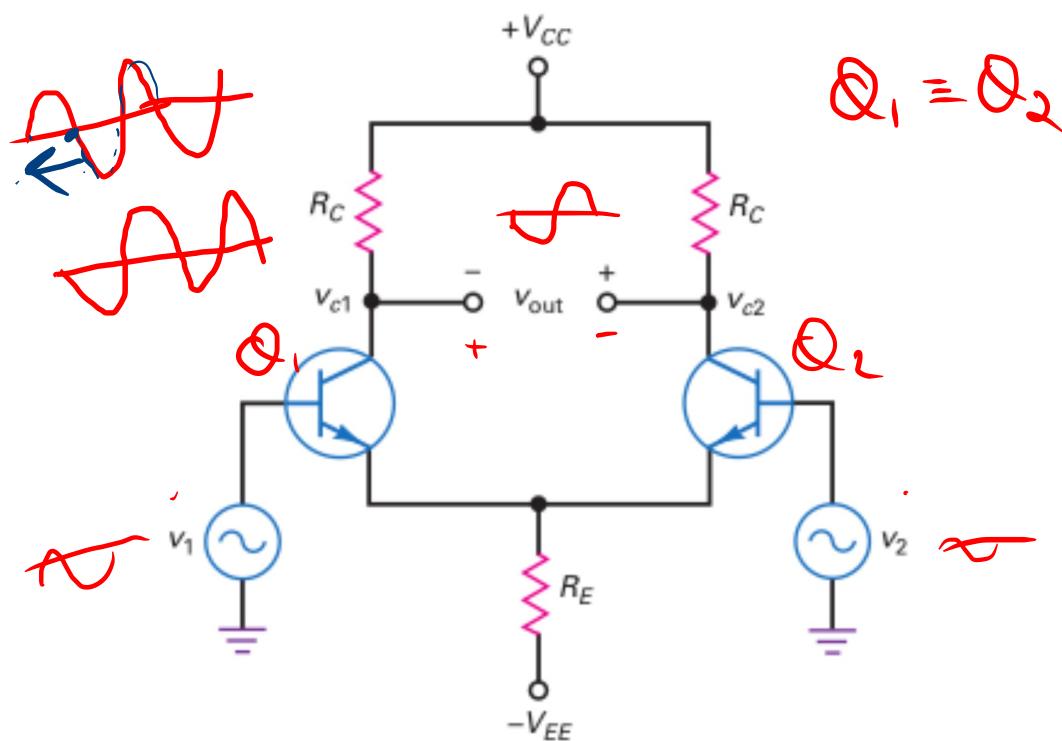
1. Transistor, dioda, dan resistor adalah komponen-komponen praktis yang ada di dalam IC.
2. Kapasitor mungkin dapat digunakan, tapi ukurannya sangat kecil, $< 50 \text{ pF}$.
3. Sehingga tidak bisa menggunakan kapasitor kopling dan kapasitor bypass seperti pada rangkaian diskret.
4. Harus menggunakan kopling langsung antara stage-nya + menghilangkan kapasitor bypass emitter.
5. Solusinya? → penguat diferensial
6. Penguat diferensial → menghilangkan kebutuhan terhadap kapasitor bypass emitter
7. Penguat diferensial ← banyak digunakan sebagai input stage hampir di setiap IC op-amp

Differential Input dan Output



- Ada 2 CE stage yang paralel terhadap resistor *common emitter* R_E
- Meskipun ada 2 tegangan *input* (v_1, v_2) dan 2 tegangan *collector* (v_{c1}, v_{c2}), keseluruhan rangkaian dianggap 1 stage.
- Tidak ada kapasitor kopling dan bypass
 \rightarrow tidak ada lower cutoff frequency

Diferential Input dan Output

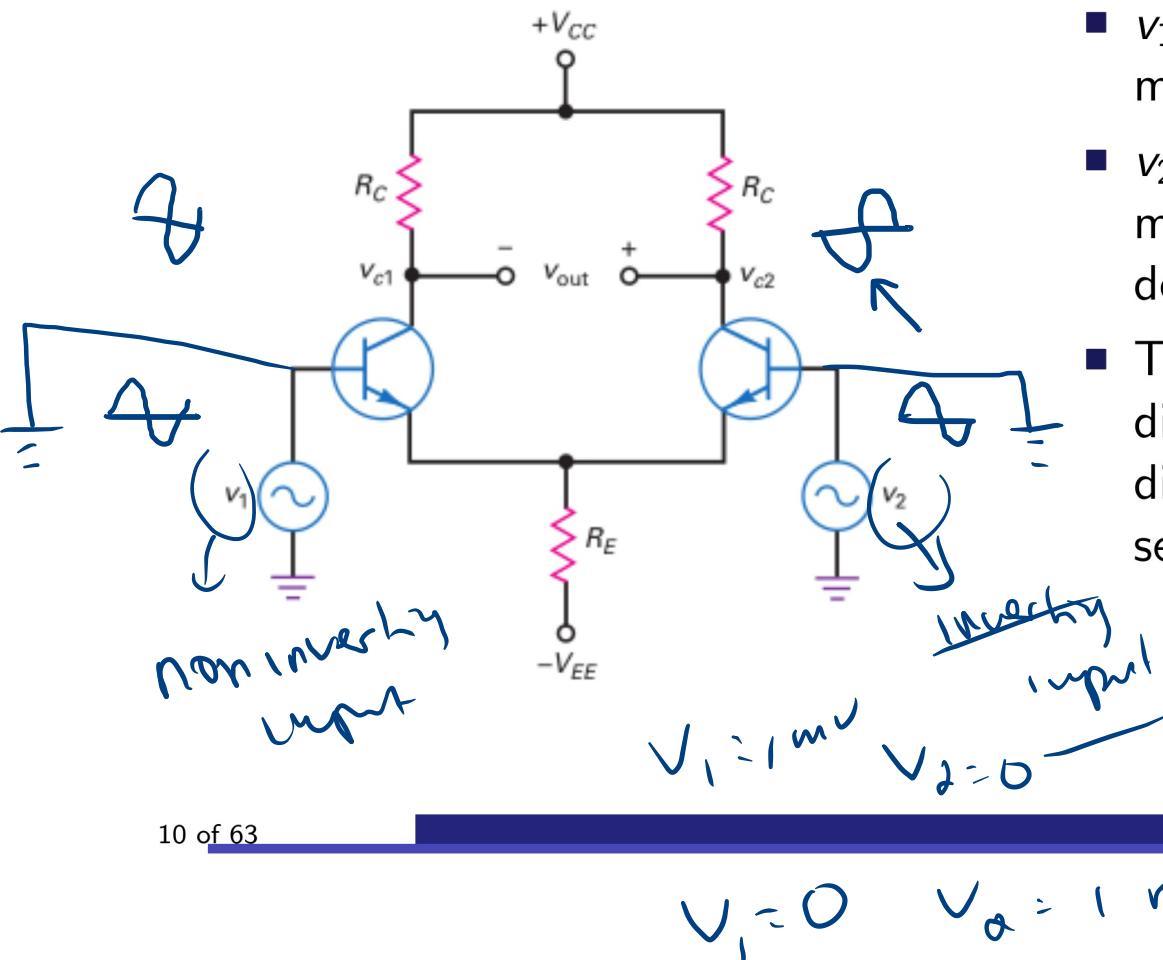


- Tegangan output AC :

$$V_{out} = v_{c2} - v_{c1} \quad (1)$$

- V_{out} = differential output, karena menggabungkan 2 tegangan collector.
- Transistor yang identik + resistor collector yang sama \rightarrow ideal
- $v_1 = v_2 \rightarrow V_{out} = 0$
- $v_1 > v_2 \rightarrow V_{out}$ memiliki polaritas seperti gambar di samping.
- $v_1 < v_2 \rightarrow V_{out}$ inverted + polaritas yang berkebalikan

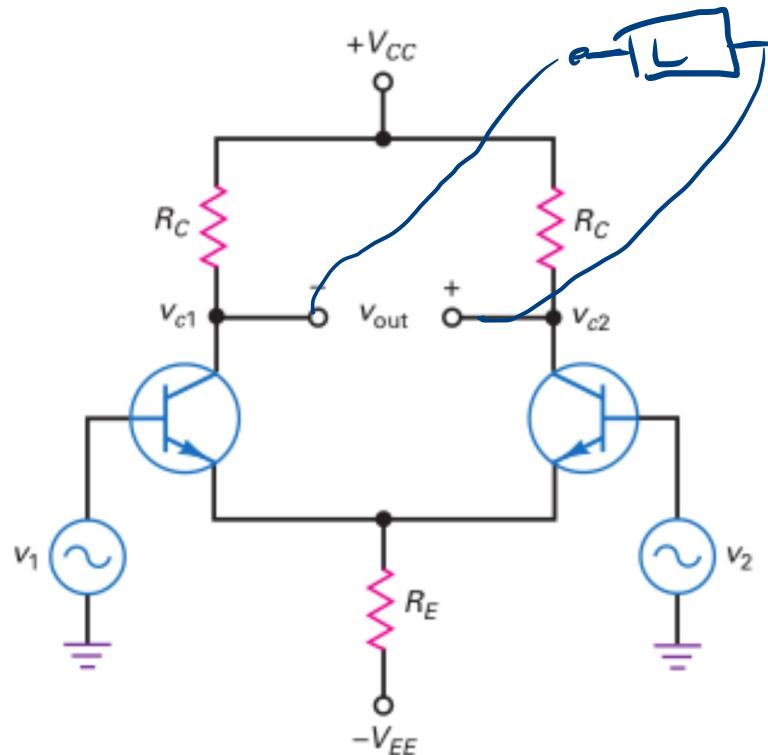
Diferential Input dan Output



- v_1 = noninverting input karena v_{out} memiliki fasa yang sama dengan v_1
- v_2 = inverting input karena v_{out} memiliki fasa yang berbeda 180° dengan v_2
- Terkadang, noninverting input yang digunakan dan inverting input di-grounding, terkadang juga sebaliknya.

$$\Delta\phi = 180^\circ \approx \pi$$

Diferential Input dan Output



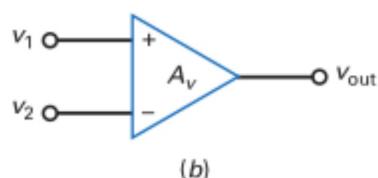
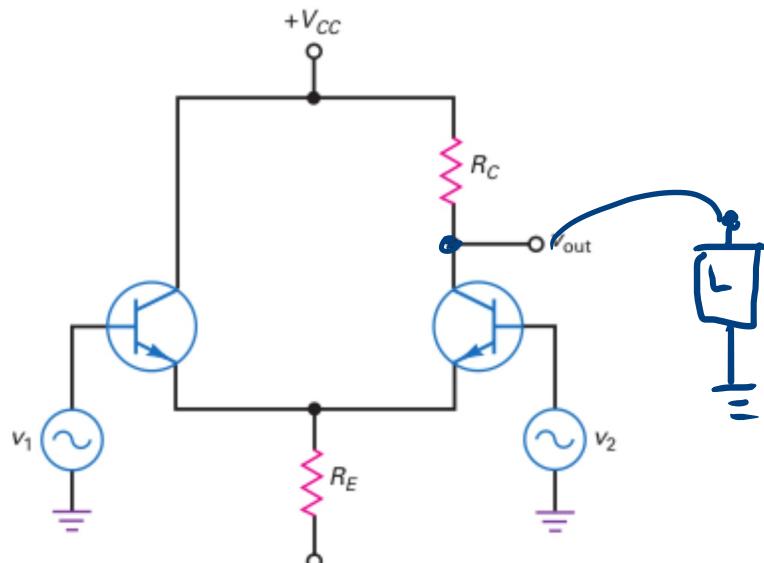
- Jika kedua input-nya ada, input totalnya disebut differential input karena tegangan output sama dengan penguatan tegangan (voltage gain) \times selisih dari kedua tegangan input.

$$v_{out} = A_v(v_1 - v_2) \quad (2)$$

- A_v = penguatan tegangan/ voltage gain

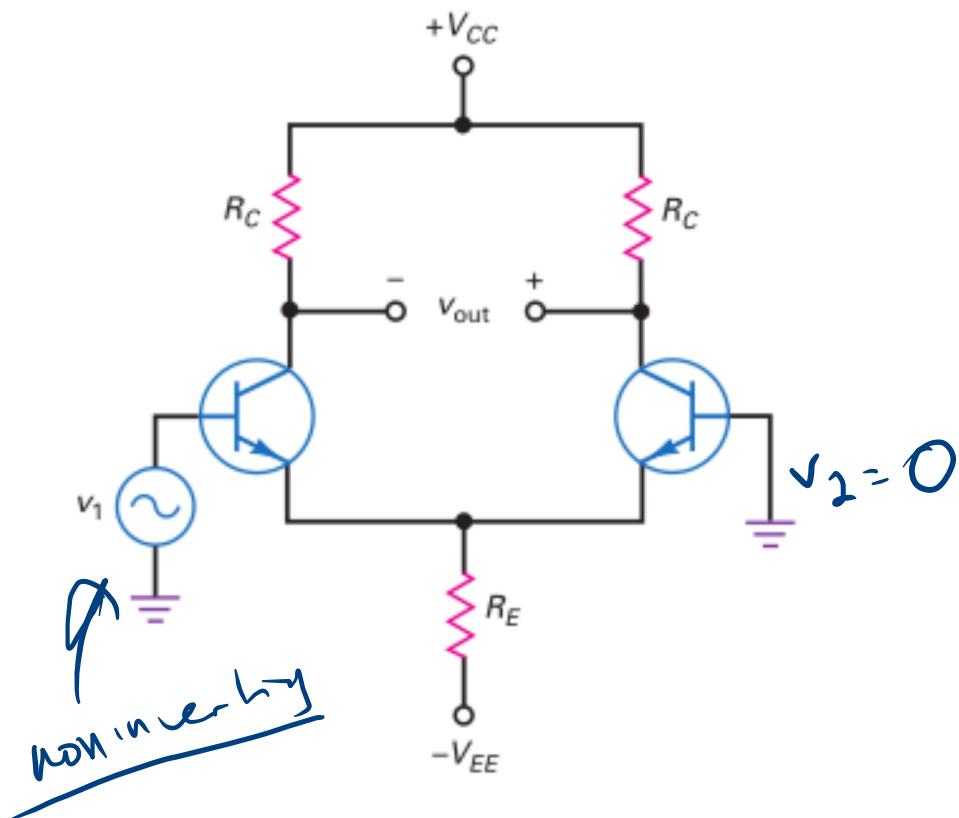
Single-Ended Output

$$A_v = 200 \rightarrow A_v = 100$$



- Differential output (gambar sebelumnya) membutuhkan floating load, karena kedua ujung dari load tidak ke ground.
- Umumnya, load/ beban adalah single-ended, salah satu ujungnya ke ground. Seperti pada gambar (a).
- $V_{out} = A_v(v_1 - v_2)$, tapi voltage gain (A_v) hanya setengah
- Blok-diagram, gambar (b), sama dengan op-amp

Konfigurasi Noninverting-Input



$$V_{out} = A_v (v_1 - v_2)$$

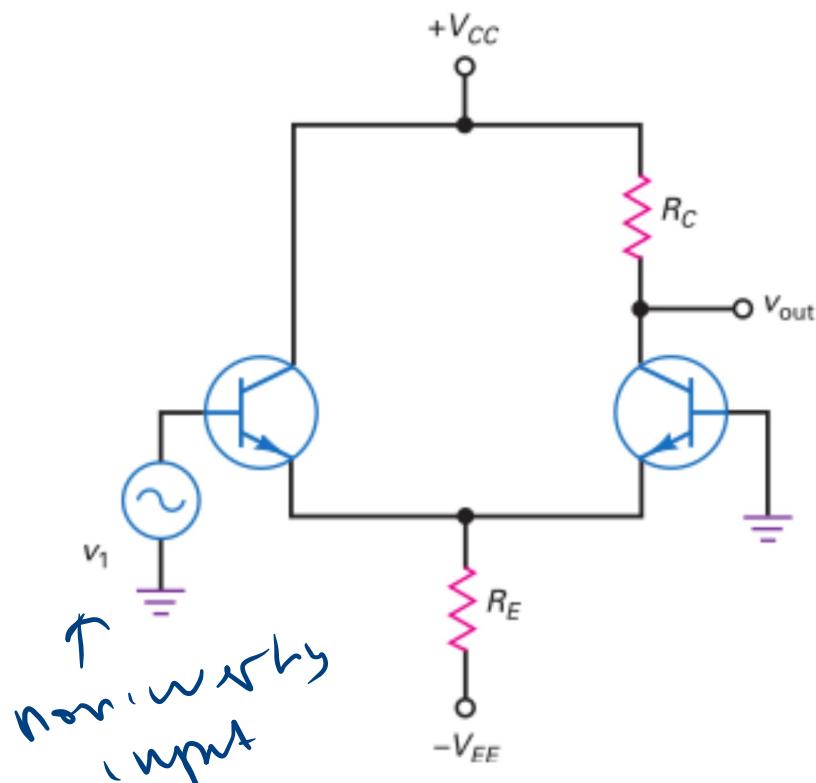
$$= A_v (v_1 - 0)$$

$$\boxed{V_{out} = A_v v_1}$$

- Konfigurasi ini memiliki
 - Noninverting input
 - Differential output
- Karena $v_2 = 0$, maka

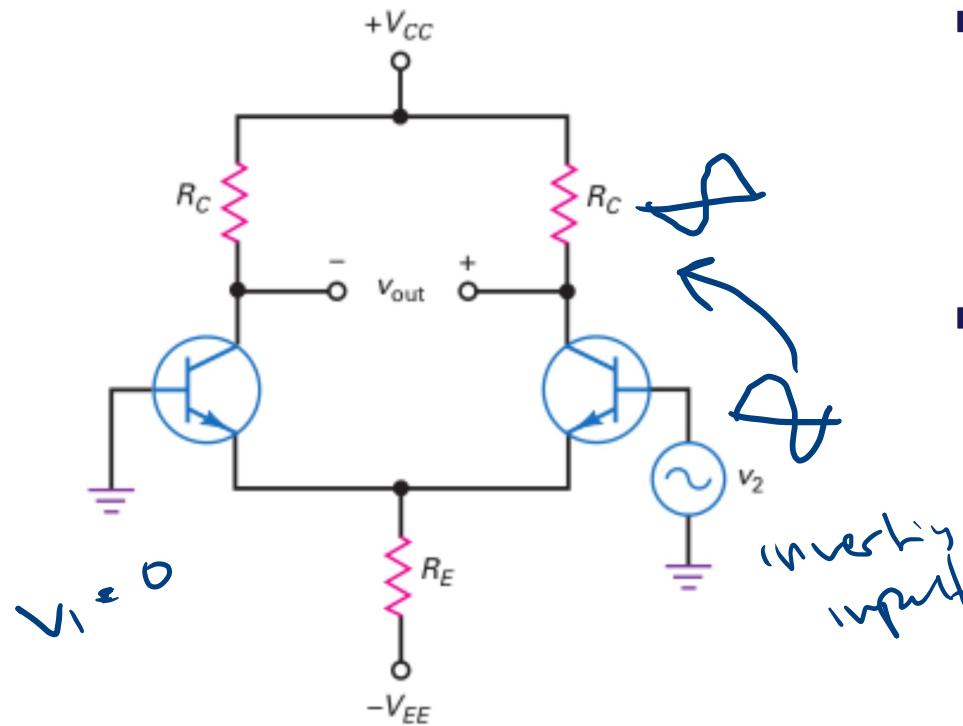
$$v_{out} = A_v(v_1) \quad (3)$$

Konfigurasi Noninverting-Input



- Konfigurasi ini memiliki
 - Noninverting input
 - Single-ended output
- Karena v_{out} adalah tegangan output AC, maka v_{out} tetap sama seperti sebelumnya yaitu $v_{out} = A_v(v_1)$
- Tapi A_v akan bernilai setengahnya karena output hanya diambil dari satu sisi dari diff-amp

Konfigurasi Inverting-input



- v_2 adalah active input dan v_1 adalah grounded input, maka

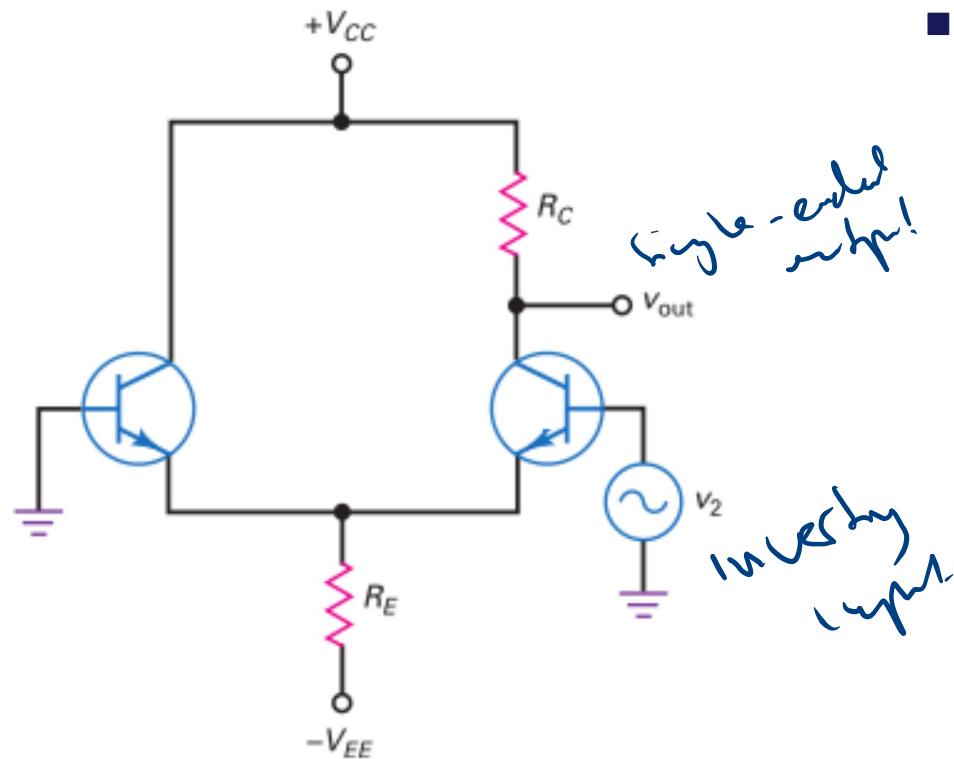
$$v_{out} = -A_v(v_2) \quad (4)$$

- Tanda minus (-) menunjukkan fase yang berkebalikan

$$\begin{aligned}
 v_{out} &= A_v(v_1 - v_2) \\
 &= A_v(-v_2) \\
 &= -A_v v_2
 \end{aligned}$$

$\Delta\phi = \pi$

Konfigurasi Inverting-input

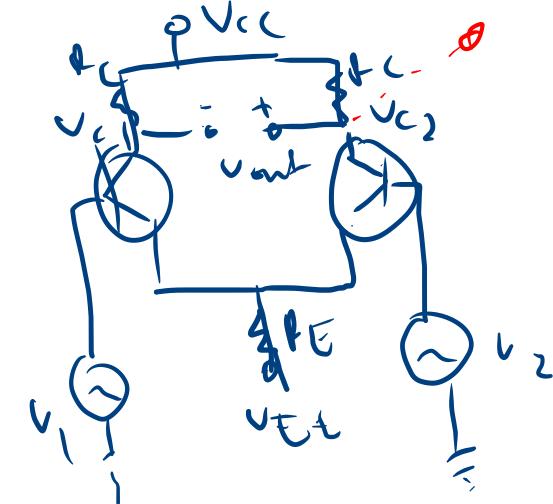


- Tegangan output juga sama dengan sebelumnya, yaitu $v_{out} = -A_v(v_2)$
- $$A_v = \frac{1}{2} \text{ AND all}$$

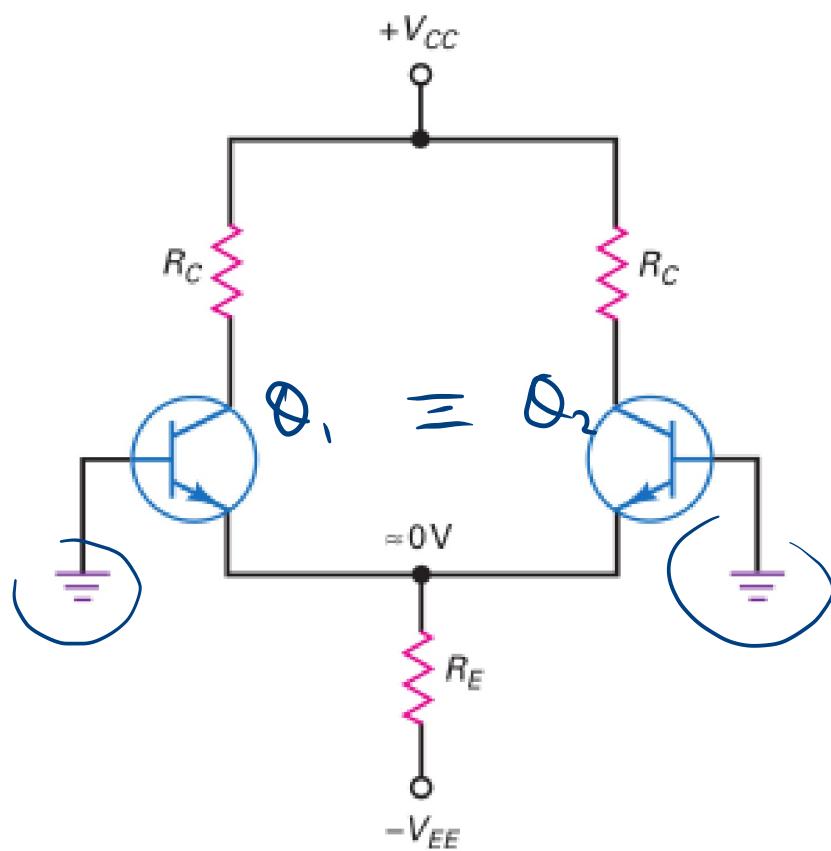
$$V_{out} = A \cdot V_{in}$$

Ringkasan

Summary Table 15-1		Diff-Amp Configurations	
Input	Output	V_{in}	V_{out}
Differential	Differential	$V_1 - V_2$	$V_{c2} - V_{c1}$
Differential	Single-ended	$V_1 - V_2$	V_{c2}
Single-ended	Differential	V_1 or V_2	$V_{c2} - V_{c1}$
Single-ended	Single-ended	V_1 or V_2	V_{c2}

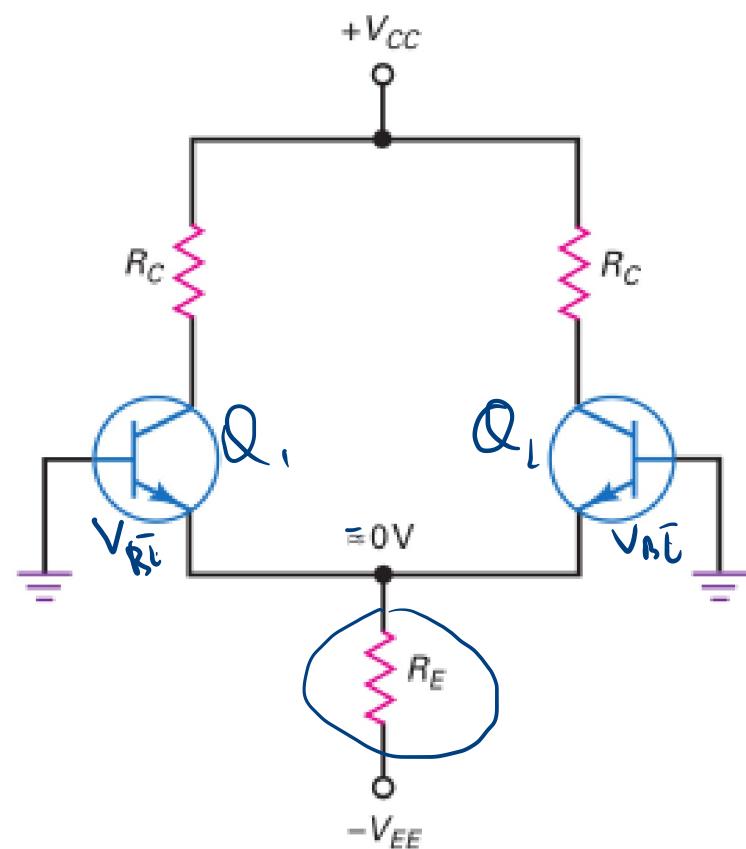


Analisis DC dari Diff Amp



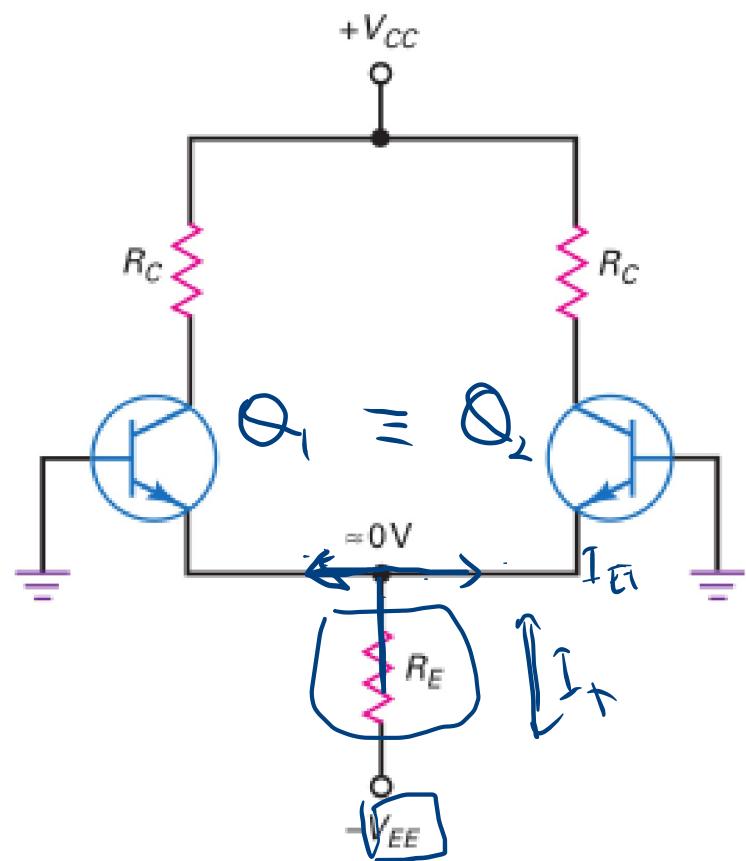
- Rangkaian ekivalen DC dari diff amp.
- Pada pembahasan berikutnya, kita akan mengasumsikan transistornya identik dan resistor collectornya sama.
- Kita asumsikan juga kedua base di-grounded

Analisis Ideal



- Diff amp disebut juga long-tail pair karena kedua transistor saling berbagi satu common resistor R_E .
- Arus yang mengalir melalui common resistor ini disebut tail current. I_T
- Jika kita mengabaikan V_{BE} drop sepanjang dioda emitter, maka di atas emitter resistor idealnya adalah sebuah titik ground DC.

Analisis Ideal



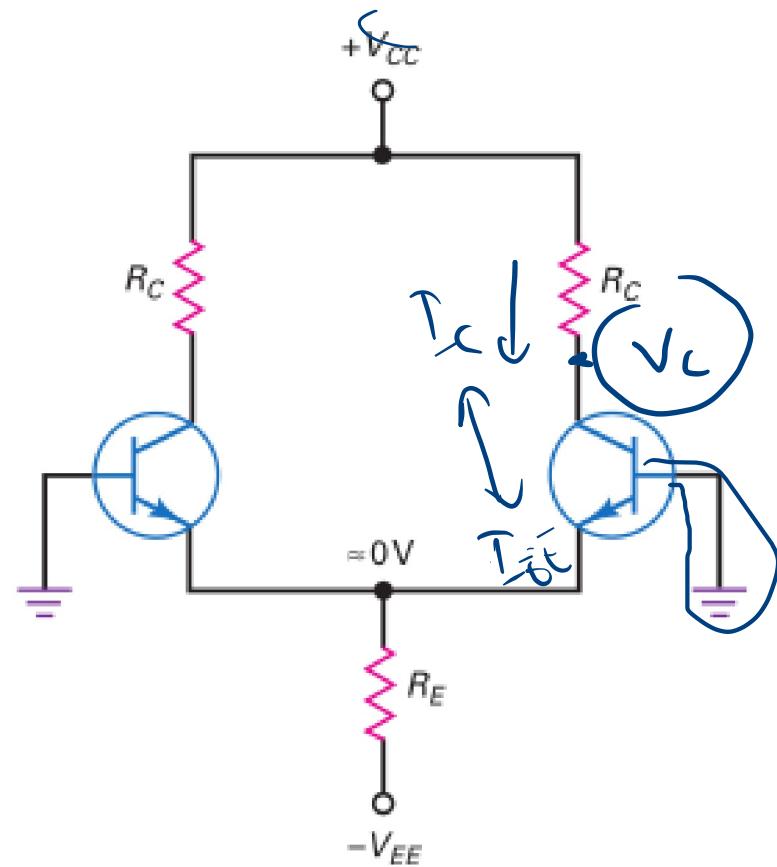
- Sehingga semua V_{EE} ada di seberang R_E dan arus tail bernilai

$$I_T = \frac{V_{EE}}{R_E} \quad (5)$$

- Ketika keduanya benar-benar sama, maka arus tail akan terbagi sama, sehingga tiap transistor memiliki arus emitter sebesar

$$I_{EE} = \frac{I_T}{2} \quad (6)$$

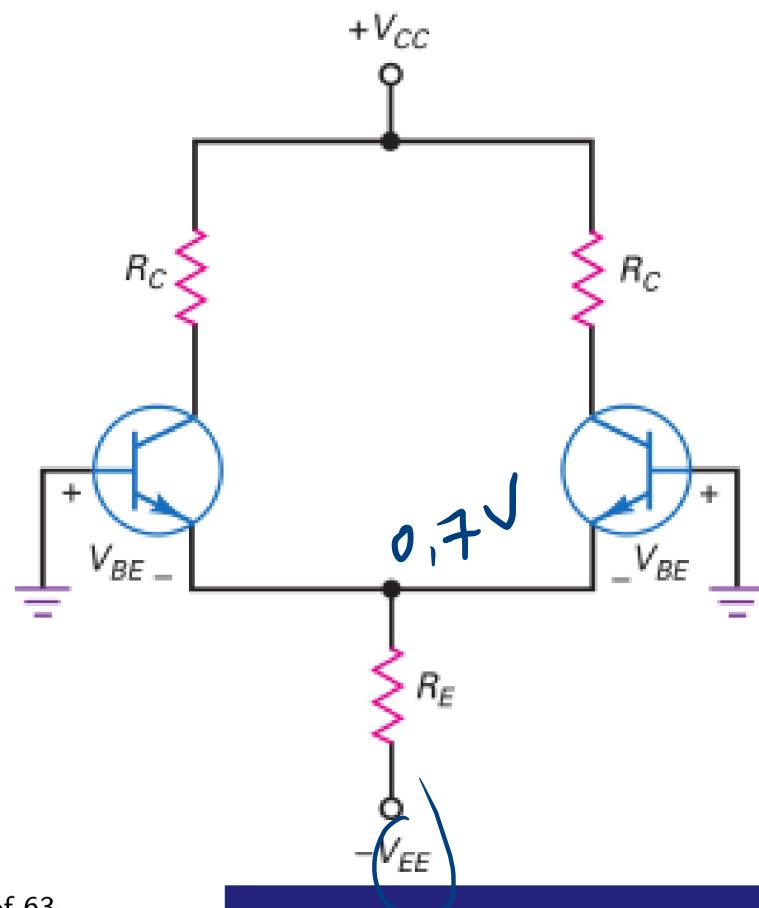
Analisis Ideal



- Tegangan DC pada kedua collector sebesar

$$V_C = V_{CC} - I_C R_C \quad (7)$$

Metode perkiraan kedua

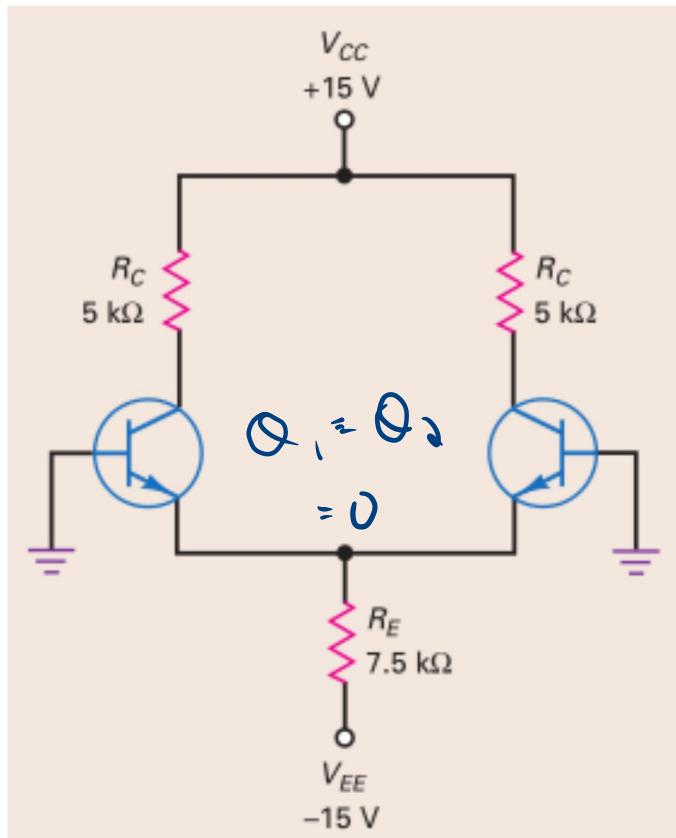


- Kita bisa meningkatkan analisis DC dengan cara menyertakan V_{BE} drop di setiap dioda emitter

$$I_T = \frac{V_{EE} - V_{BE}}{R_E} \quad (8)$$

dimana $V_{BE} = 0.7\text{ V}$ untuk transistor silikon.

Contoh Soal 1



- Pertanyaan: I_T , V_C ?
- Berapa arus dan tegangan ideal dari gambar di samping?

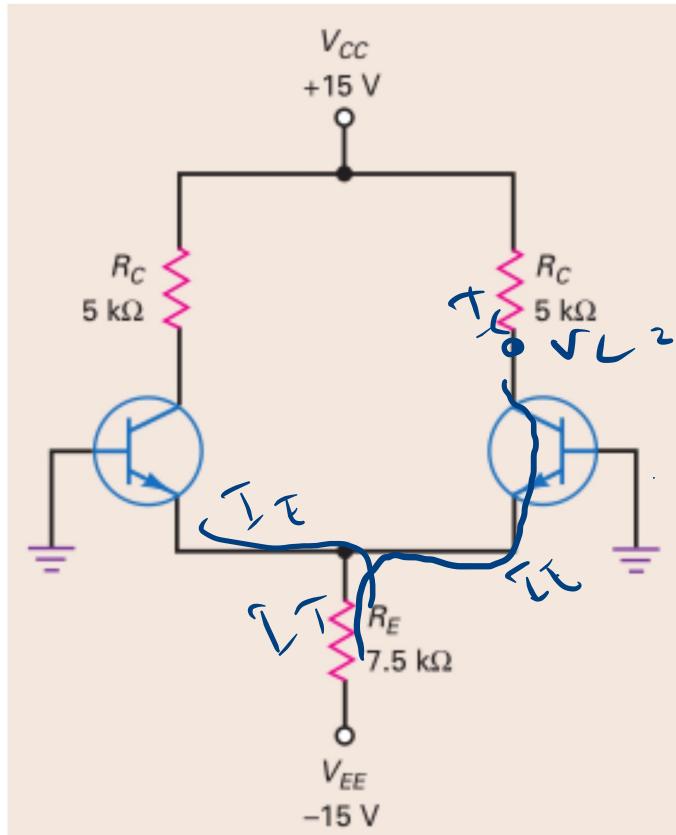
- Jawaban:
- Berdasarkan persamaan 5, arus tail adalah:

$$I_T = \frac{V_{EE}}{R_E} = \frac{15 \text{ v}}{7.5 \text{ k}\Omega} = 2 \text{ mA}$$

- Tiap arus emitter adalah separuh dari arus tail:

$$I_E = \frac{I_T}{2} = \frac{2 \text{ mA}}{2} = 1 \text{ mA}$$

Contoh Soal 1

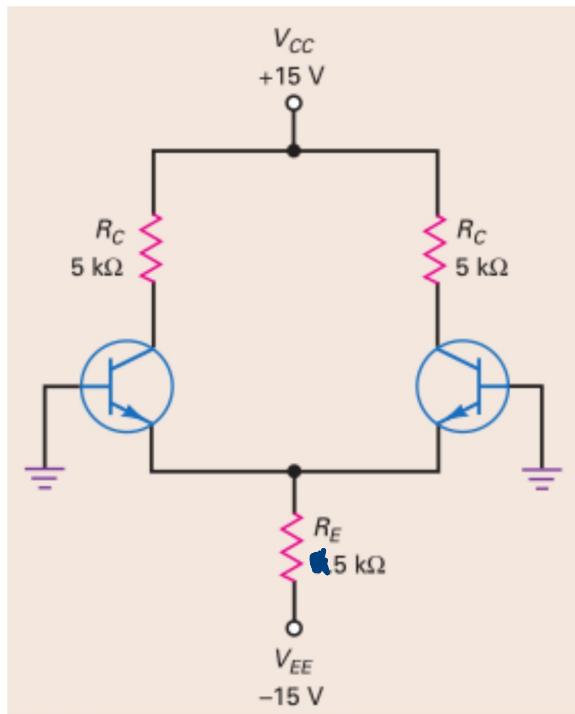


■ Jawaban:

- Setiap tegangan collectornya adalah:

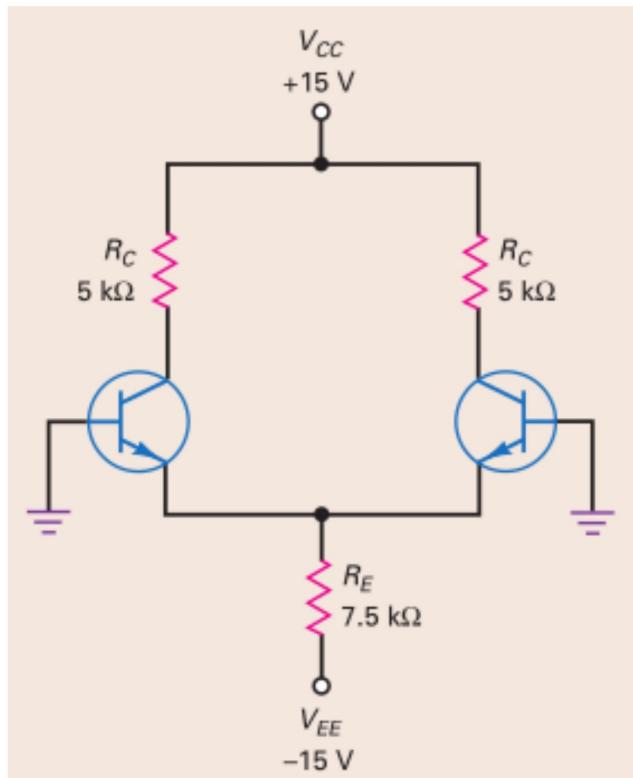
$$\begin{aligned}
 V_C &= V_{CC} - I_C R_C \\
 &= 15 \text{ V} - (1 \text{ mA})(5 \text{ k}\Omega) \\
 \checkmark &= 10 \text{ V}
 \end{aligned}$$

Latihan Soal 1



- Pertanyaan: $I_T = ?$, $V_L = ?$
 - Berapa arus dan tegangan ideal jika $R_E = 5 \text{ k}\Omega$
 - Jawaban: ??
 - Silakan dikerjakan
- $$I_T = \frac{V_{EE}}{R_E} = \frac{15 \text{ V}}{5 \text{ k}\Omega} = 3 \text{ mA}$$
- $$I_E = \frac{I_T}{2} = 1,5 \text{ mA}$$
- $$I_C = I_E = 1,5 \text{ mA}$$
- $$V_L = V_{CC} - I_C R_C = 15 \text{ V} - (1,5 \text{ mA})(5 \text{ k}\Omega) = 15 \text{ V} - 7,5 \text{ V}$$
- $$V_L = 7,5 \text{ V}$$

Contoh Soal 2



■ Pertanyaan:

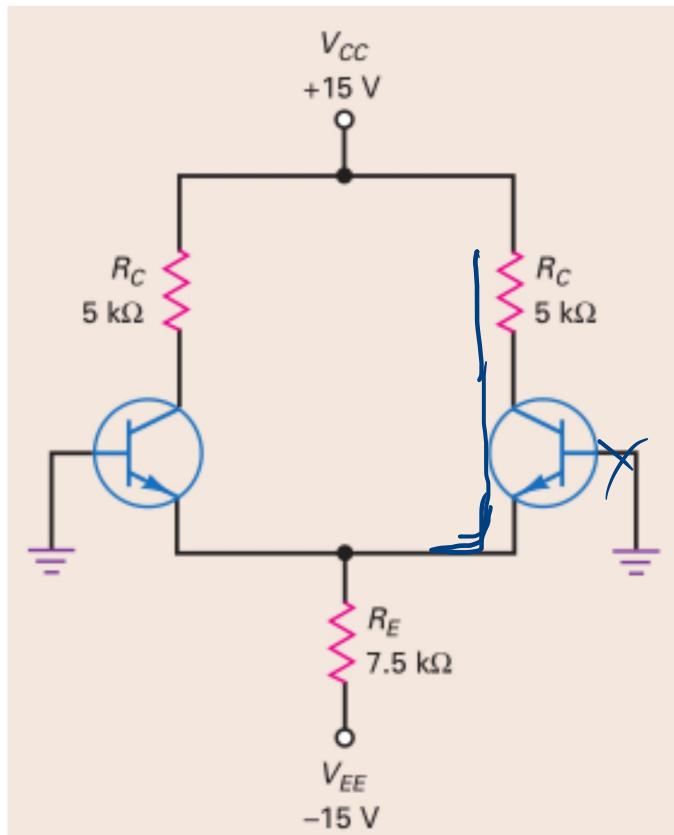
- Dengan menggunakan metode kedua, berapa arus dan tegangan ideal dari gambar di samping?

■ Jawaban:

- Arus tail-nya adalah:

$$I_T = \frac{V_{EE} - V_{BE}}{R_E} = \frac{15 \text{ V} - 0.7 \text{ V}}{7.5 \text{ k}\Omega} = \frac{14.3 \text{ V}}{7.5 \text{ k}\Omega}$$

Contoh Soal 2



■ Jawaban:

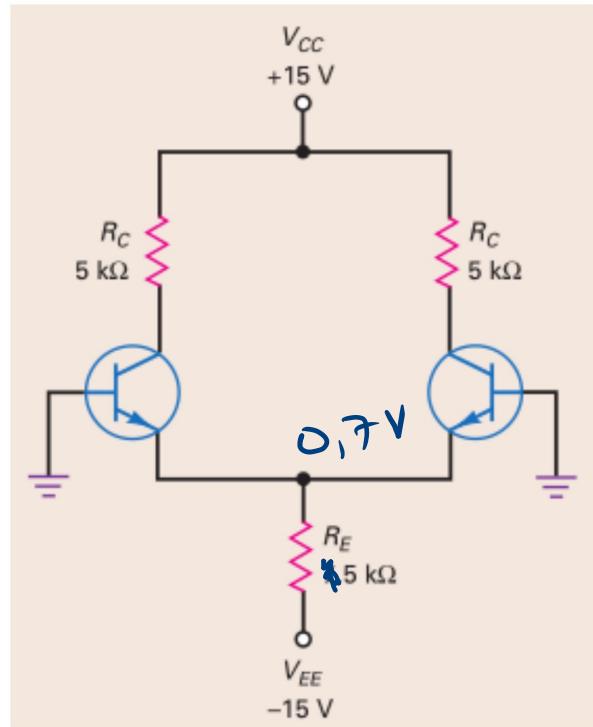
- Setiap arus emitternya adalah setengah dari arus tailnya:

$$I_E = \frac{I_T}{2} = \frac{1.91 \text{ mA}}{2} = \underline{\underline{0.955 \text{ mA}}}$$

- Tegangan collectornya sebesar:

$$\begin{aligned} V_C &= V_{CC} - I_C R_C \\ &= 15 \text{ V} - (0.955 \text{ mA})(5 \text{ k}\Omega) \\ &= \underline{\underline{10.2 \text{ V}}} \end{aligned}$$

Latihan Soal 2



■ Pertanyaan:

- Dengan menggunakan metode kedua, berapa arus dan tegangan ideal jika $R_E = 5 \text{ k}\Omega$

■ Jawaban:

- Silakan dikerjakan

$$I_T = \frac{V_{EE} - V_{BE}}{R_E} = \frac{15 \text{ V} - 0.7 \text{ V}}{5 \text{ k}\Omega} = \frac{14.3 \text{ V}}{5 \text{ k}\Omega} = 2.86 \text{ mA}$$

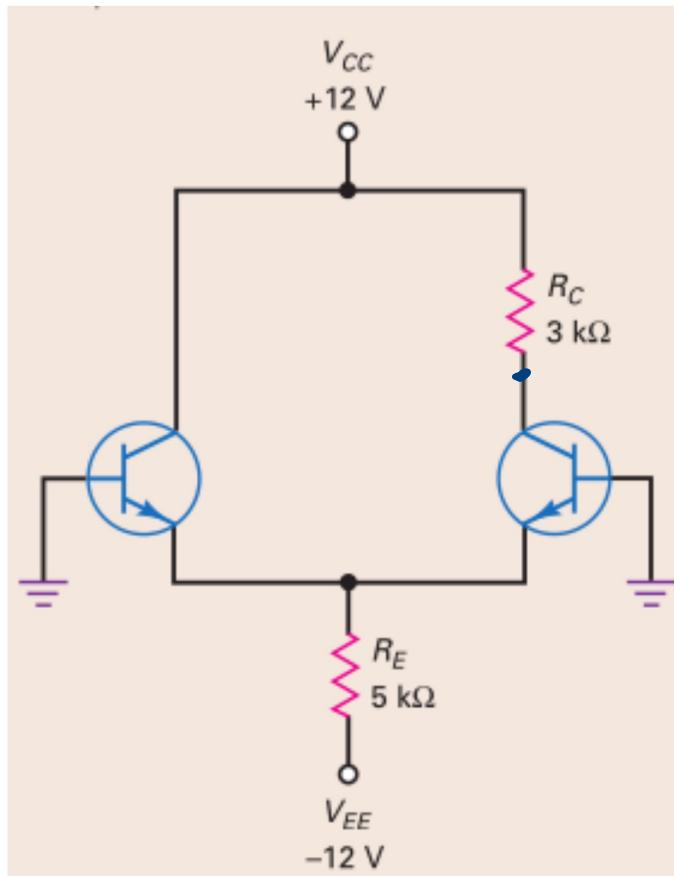
$$I_E = \frac{I_T}{2} = \frac{2.86 \text{ mA}}{2} = 1.43 \text{ mA}$$

$$I_C = I_E = 1.43 \text{ mA}$$

$$V_C = V_{CC} - I_C R_C = 15 \text{ V} - (1.43 \text{ mA})(5 \text{ k}\Omega)$$

$$V_C = 15 \text{ V} - 7.15 \text{ V} = 7.85 \text{ V}$$

Contoh Soal 3



■ Pertanyaan: I_T V_C

- Berapa arus dan tegangan di dalam rangkaian single-ended output di samping

■ Jawaban:

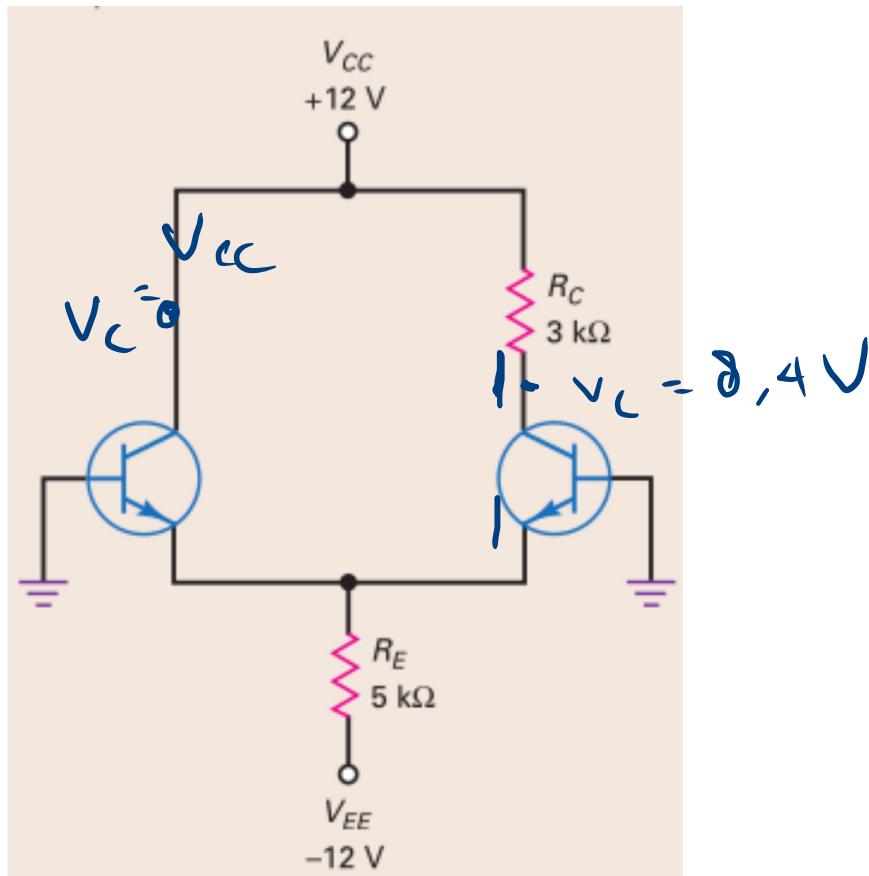
- Idealnya, arus tail:

$$I_T = \frac{V_{EE}}{R_E} = \frac{12 \text{ V}}{5 \text{ k}\Omega} = 2.4 \text{ mA}$$

- Setiap arus emitter adalah setengah dari arus tailnya:

$$I_E = \frac{I_T}{2} = \frac{2.4 \text{ mA}}{2} = \underline{\underline{1.2 \text{ mA}}}$$

Contoh Soal 3



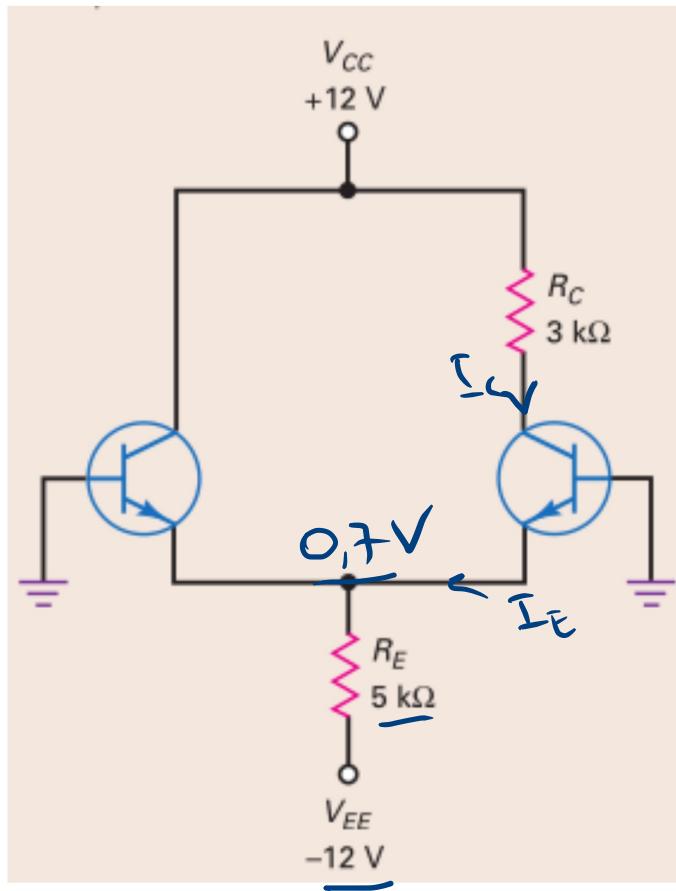
■ Jawaban:

- Tegangan collector yang sebelah kanan adalah:

$$\begin{aligned}
 V_C &= V_{CC} - I_C R_C \\
 &= 12 \text{ V} - (1.2 \text{ mA})(3 \text{ k}\Omega) \\
 &= 8.4 \text{ V}
 \end{aligned}$$

- Sedangkan tegangan collector sebelah kiri adalah 12 V.

Contoh Soal 3



■ Jawaban:

- Jika kita gunakan metode yang kedua, kita dapatkan:

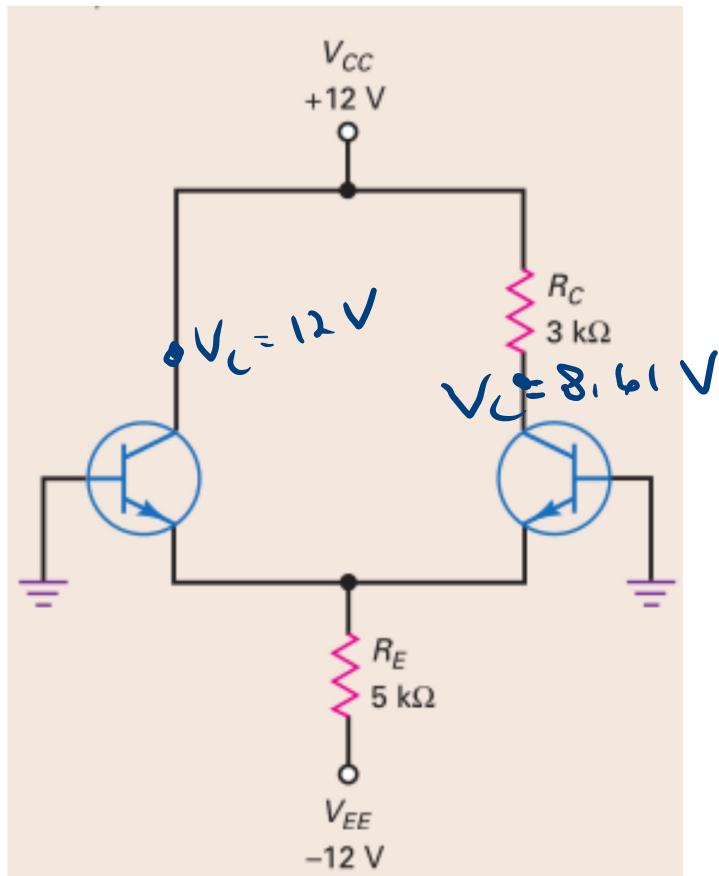
$$I_T = \frac{V_{EE} - V_{BE}}{R_E}$$

$$= \frac{12 \text{ V} - 0.7 \text{ V}}{5 \text{ k}\Omega} = \frac{11.3 \text{ V}}{5 \text{ k}\Omega}$$

$$= 2.26 \text{ mA}$$

$$I_E = \frac{I_T}{2} = \frac{2.26 \text{ mA}}{2} = 1.13 \text{ mA}$$

Contoh Soal 3



■ Jawaban:

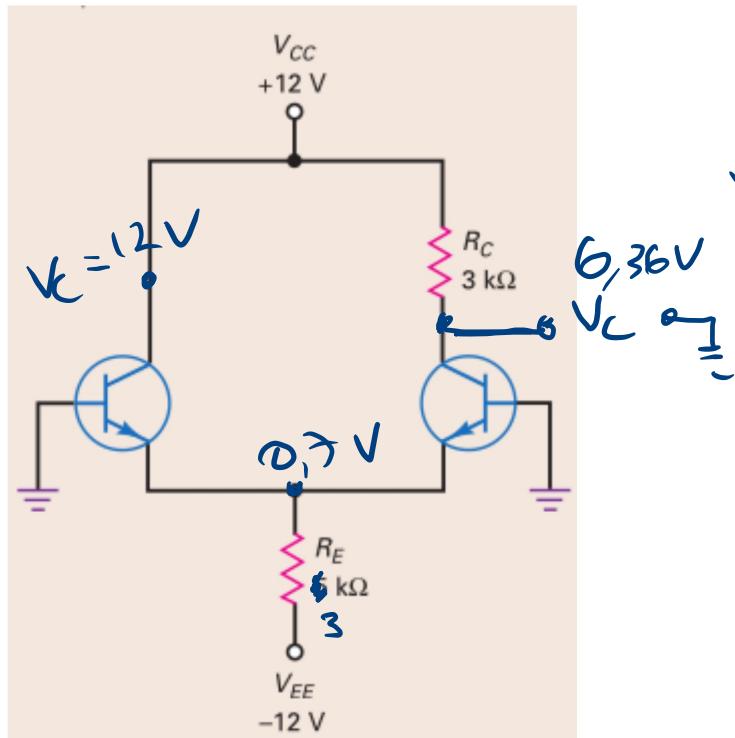
$$\begin{aligned}
 V_C &= V_{CC} - I_C R_C \\
 &= \underline{12 \text{ V}} - (\underline{1.13 \text{ mA}})(\underline{3 \text{ k}\Omega}) \\
 V_C &= 8.61 \text{ V}
 \end{aligned}$$

3,77666

3,77 mA



Latihan Soal 3



■ Pertanyaan:

- Jika $R_E = 3 \text{ k}\Omega$, tentukan arus dan tegangan dengan menggunakan metode kedua.

$$I_T = ?$$

$$I_T = \frac{V_{EE} - V_{BE}}{R_E} = \frac{12V - 0,7V}{3k\Omega} = \frac{11,3V}{3k\Omega} = 3,77 \text{ mA}$$

$$I_E = \frac{I_T}{2} = \frac{3,77 \text{ mA}}{2} = 1,88 \text{ mA}$$

$$I_C = I_E = 1,88 \text{ mA}$$

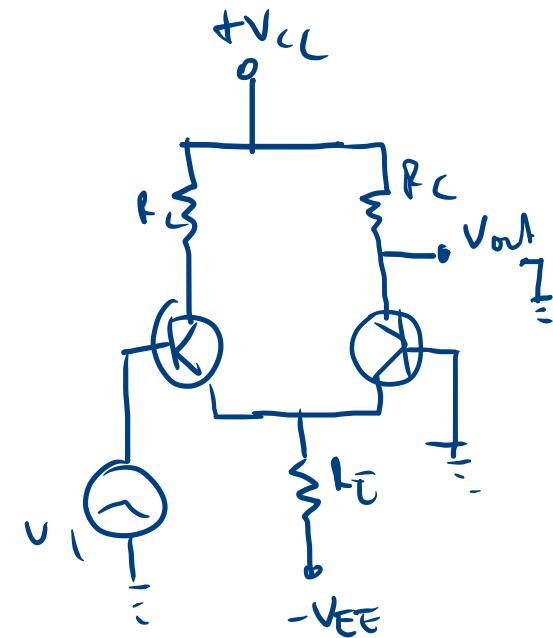
$$V_C = V_{CC} - I_C R_C = 12V - (1,88 \text{ mA})(3 \text{ k}\Omega)$$

$$V_C = 6,36 \text{ V}$$

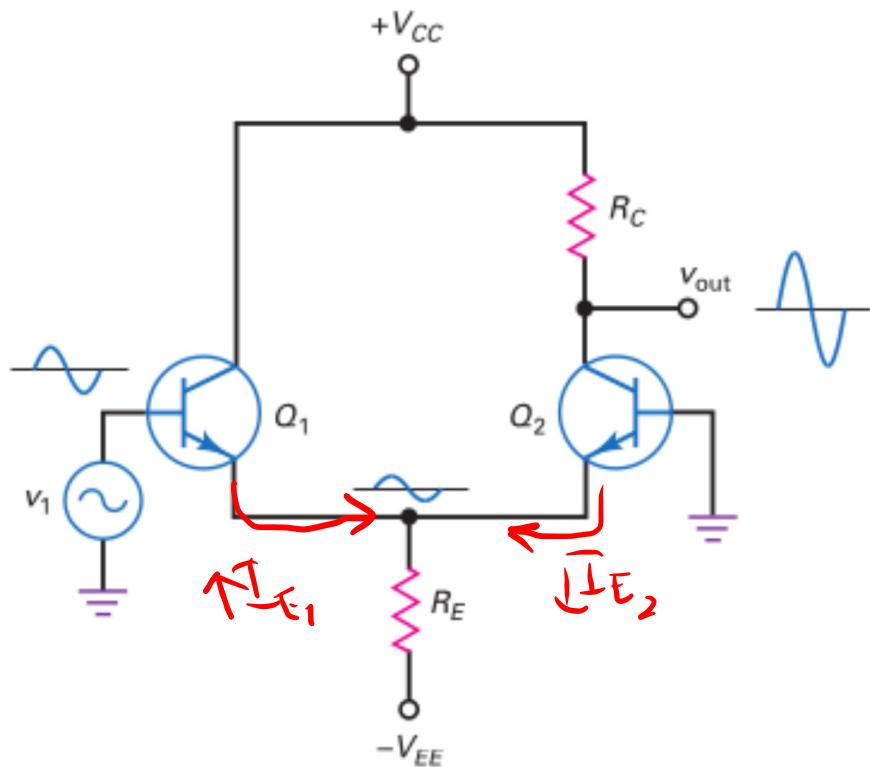
Analisis AC dari Diff Amp

$$A_V = ?$$

- Pada bagian ini, kita akan menurunkan persamaan untuk penguatan tegangan (voltage gain) dari diff amp.
- Kita mulai dengan konfigurasi yang paling sederhana, noninverting input dan single-ended output.
- Setelah menurunkan penguatan tegangan, kita akan kembangkan hasilnya ke konfigurasi yang lain.

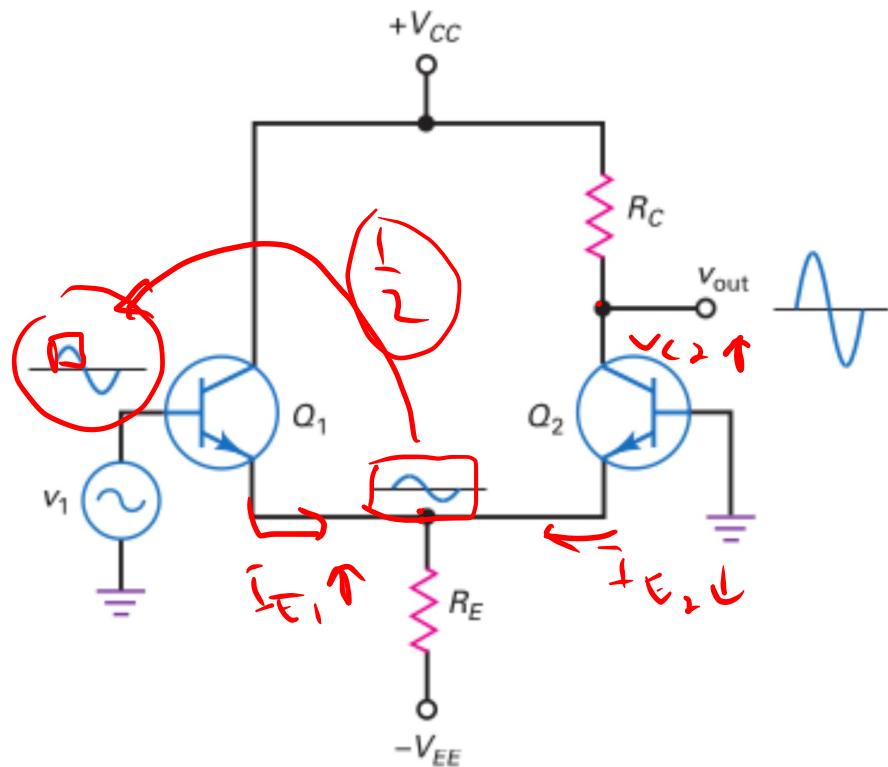


Teori Operasi



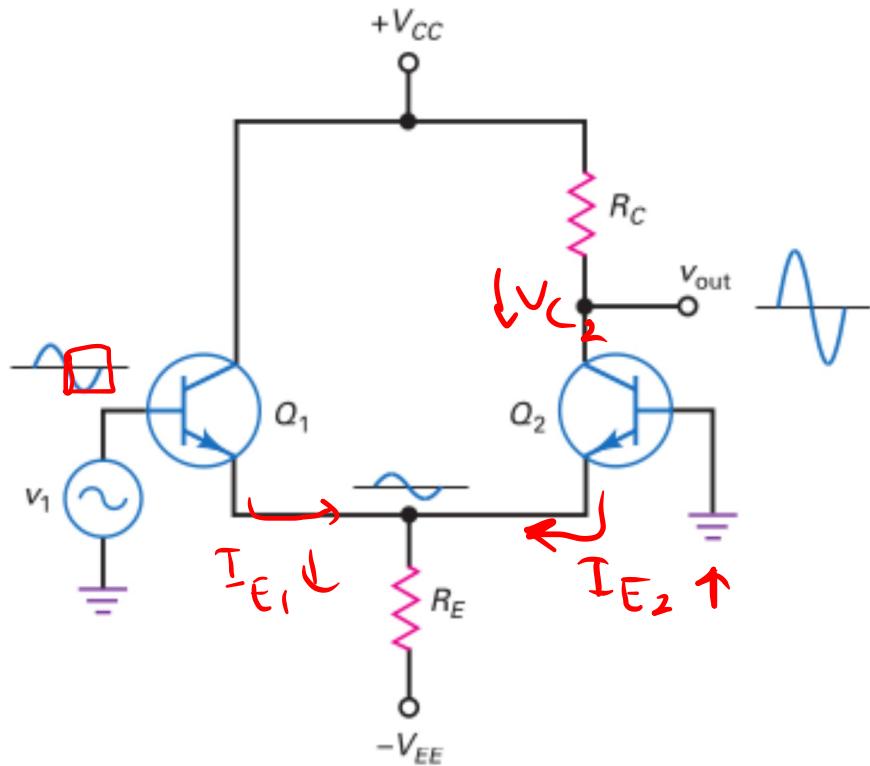
- Gambar di samping adalah noninverting input dan single-ended output.
- Dengan R_E yang besar, arus tail hampir konstan saat ada sinyal AC yang kecil.
- Jika arus emitter di Q_1 meningkat maka arus emitter di Q_2 menurun, dan sebaliknya.

Teori Operasi



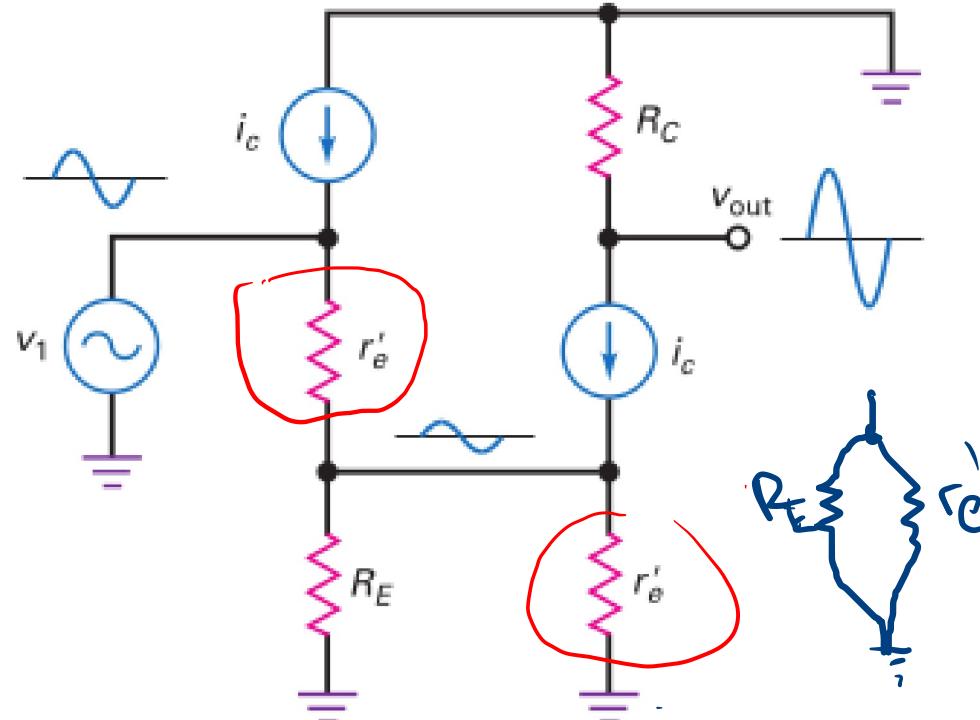
- Transistor Q_1 bertindak seperti emitter follower yang menghasilkan tegangan AC di seberang resistor emitter.
- Tegangan AC ini bernilai setengah dari tegangan input v_1
- Pada setengah siklus positif dari tegangan input, arus emitter Q_1 meningkat, arus emitter Q_2 menurun, dan tegangan collector Q_2 meningkat.

Teori Operasi



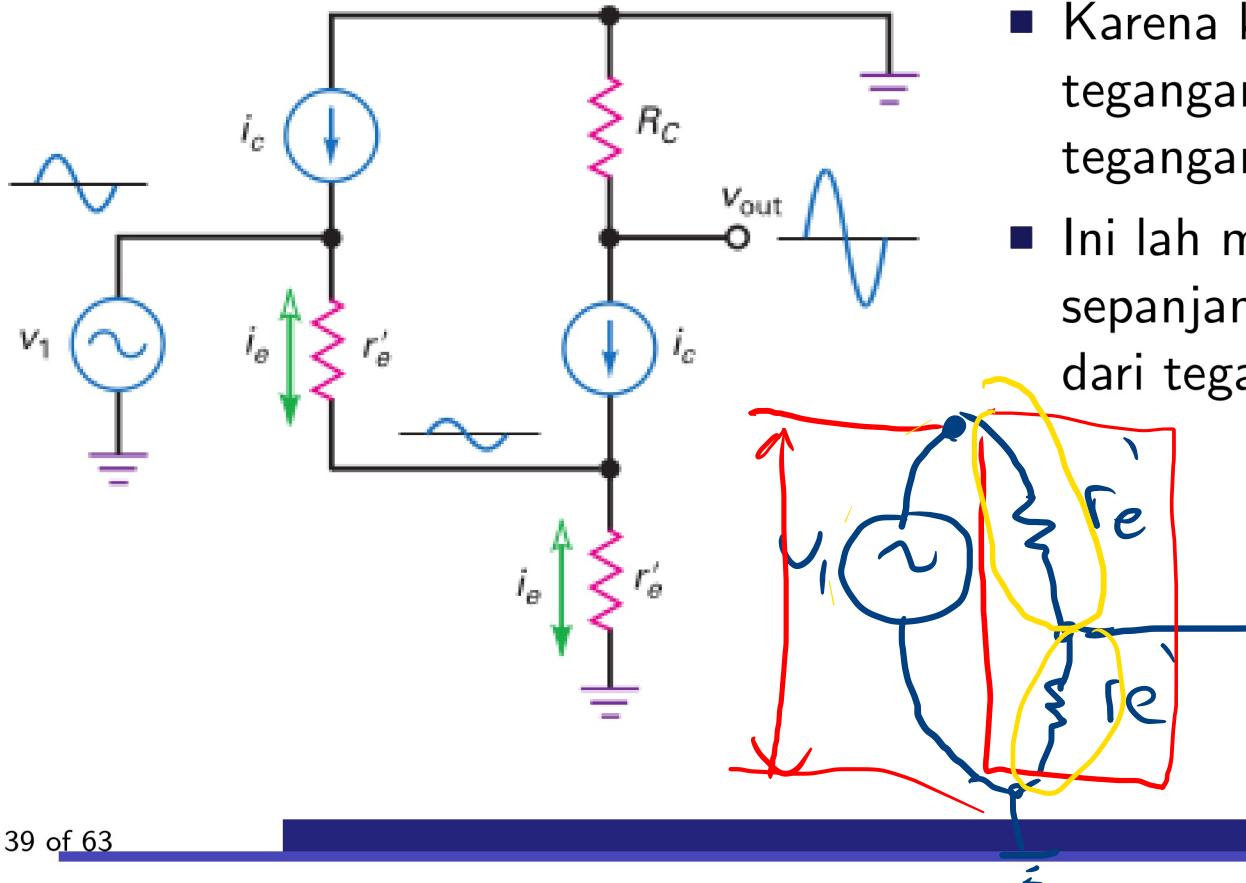
- Sama halnya pada setengah siklus negatif dari tegangan input, arus emitter Q_1 menurun, arus emitter Q_2 meningkat, dan tegangan collector Q_2 menurun.
- Hal ini yang menyebabkan gelombang sinus yang dikuatkan memiliki fasa yang sama dengan noninverting input.

Single-ended output gain



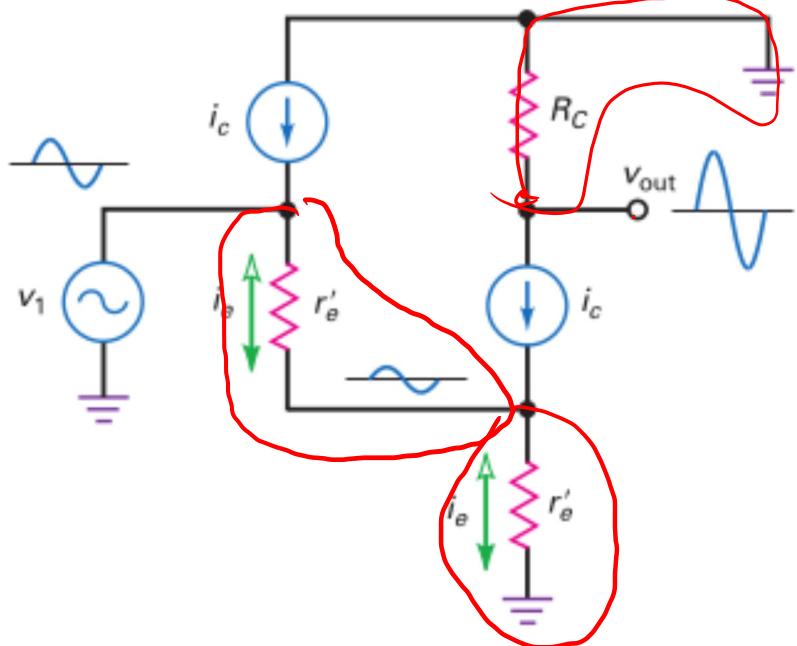
- Gambar di samping adalah rangkaian ekivalennya
- Setiap transistor memiliki r'_e
- R_E paralel dengan r'_e pada transistor kanan karena base dari Q_2 di-grounding.
- Karena R_E jauh lebih besar dari r'_e maka R_E bisa diabaikan.
- Sehingga kita dapat rangkaian yang lebih sederhana sebagai berikut:

Single-ended output gain



- Tegangan input v_1 sepanjang kedua r'_e
- Karena kedua r'_e bernilai sama, maka tegangan pada r'_e adalah setengah dari tegangan inputnya.
- Ini lah mengapa tegangan AC sepanjang resistor tail adalah setengah dari tegangan input.

Single-ended output gain



- Tegangan output AC:

$$v_{out} = i_c R_C$$

- Tegangan input AC:

$$v_{in} = i_e r'_e + i_e r'_e = 2i_e r'_e$$

- Penguatan tegangan (voltage gain), yaitu v_{out} dibagi v_{in} , sehingga

single-ended output: $A_v = \frac{R_C}{2r'_e}$ (9)

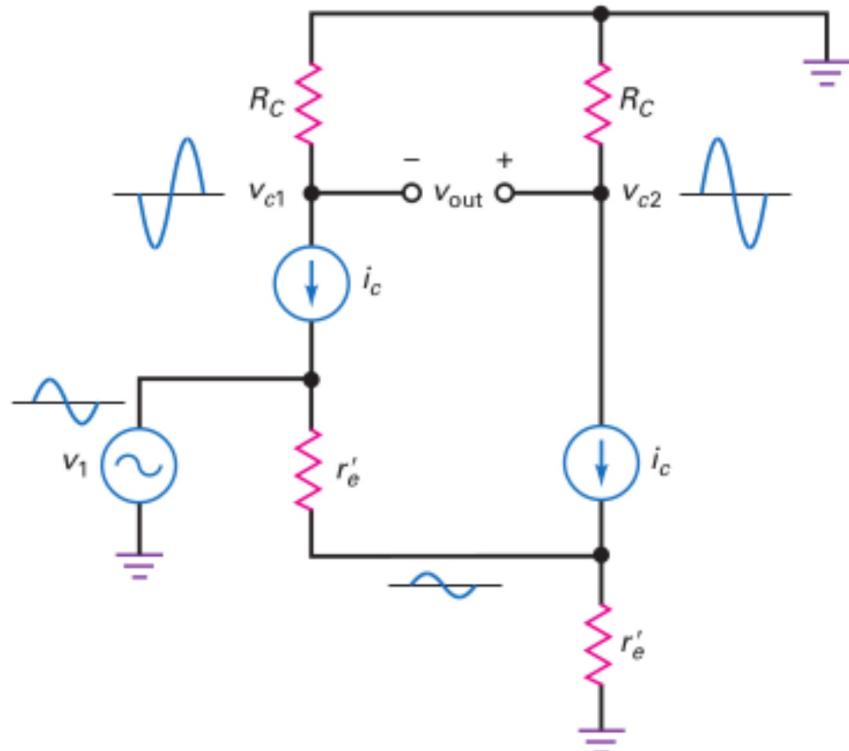
$$A_v = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{i_c R_C}{2i_e r'_e}$$

$$A_v = \frac{R_C}{2r'_e}$$

non-inverting
input
single-ended
output

$$A_v = \frac{1}{2} \cdot \frac{R_C}{r'_e}$$

Differential output gain

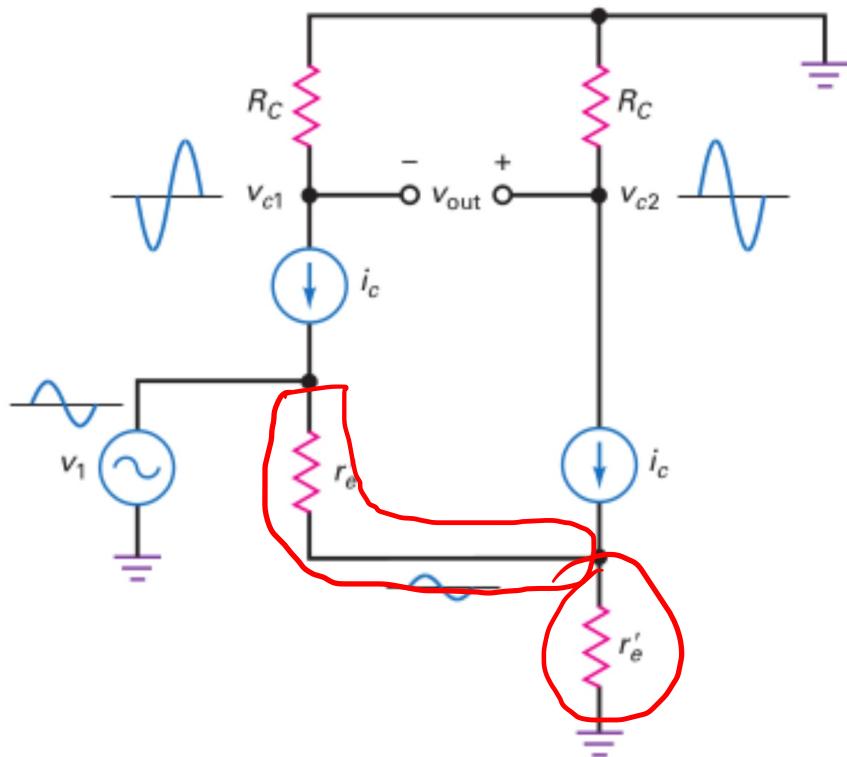


- Gambar di samping adalah rangkaian ekivalen dari noninverting input & differential output.
- Analisis mirip dengan sebelumnya, kecuali tegangan outputnya adalah dua kaliya karena terdapat 2 resistor collector.

$$\begin{aligned}v_{out} &= v_{C2} - v_{C1} = i_C R_C - (-i_C R_C) \\&= 2i_C R_C\end{aligned}$$

- Tanda negatif \rightarrow sinyal v_{C1} memiliki beda fasa sebesar π

Differential output gain



- Tegangan input AC nya masih sama

$$v_{in} = 2i_e r'_e$$

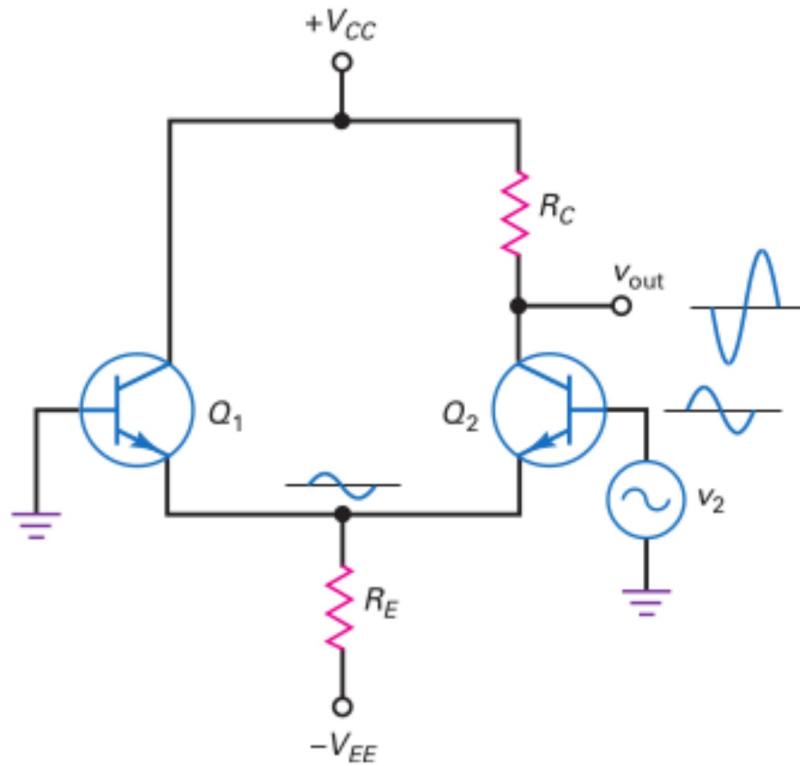
- Voltage gain :

Differential output : $A_v = \frac{R_C}{r'_e}$ (10)

$$A_v = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{2i_e R_C}{2i_e r'_e}$$

$$A_v = \frac{R_C}{r'_e}$$

Konfigurasi inverting-input



- Gambar di samping adalah inverting input dan single-ended output
- Analisis AC hampir sama dengan analisis noninverting
- Inverting input v_2 menghasilkan tegangan output yang diperkuat dan terbalik
- r'_e masih bagian dari pembagi tegangan \rightarrow tegangan di seberang R_E setengah dari tegangan inverting input
- Jika menggunakan differential output, voltage gainnya adalah bernilai dua kalinya

Konfigurasi differential-input

- Pada konfigurasi differential-input → kedua inputnya aktif secara bersamaan
- Analisis AC dengan menggunakan teorema superposisi
- Tegangan output untuk noninverting input adalah

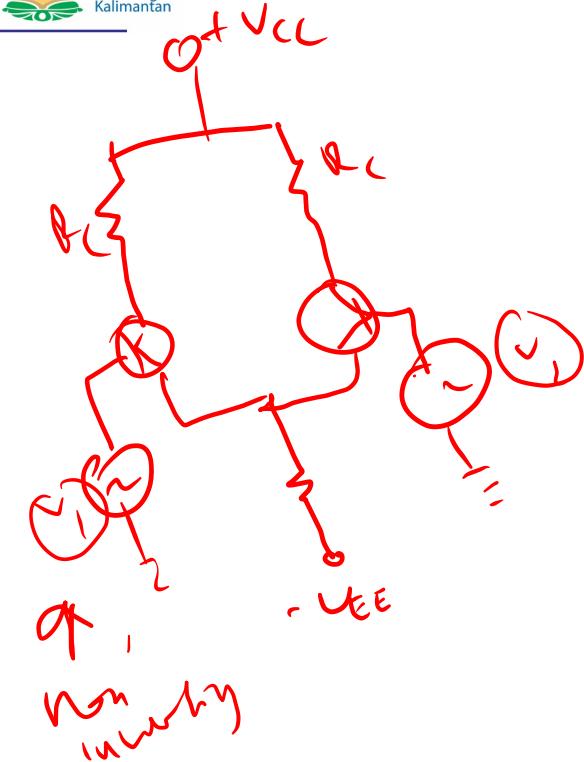
$$v_{out} = A_v(v_1)$$

dan tegangan output untuk inverting input adalah

$$v_{out} = -A_v(v_2)$$

- Gabungkan keduanya,

$$v_{out} = A_v(v_1 - v_2)$$



Impedansi input

- Pada CE stage, impedansi input dari base adalah

$$z_{in} = \beta r'_e$$

- Pada diff amp, impedansi input dari salah satu base adalah dua kalinya

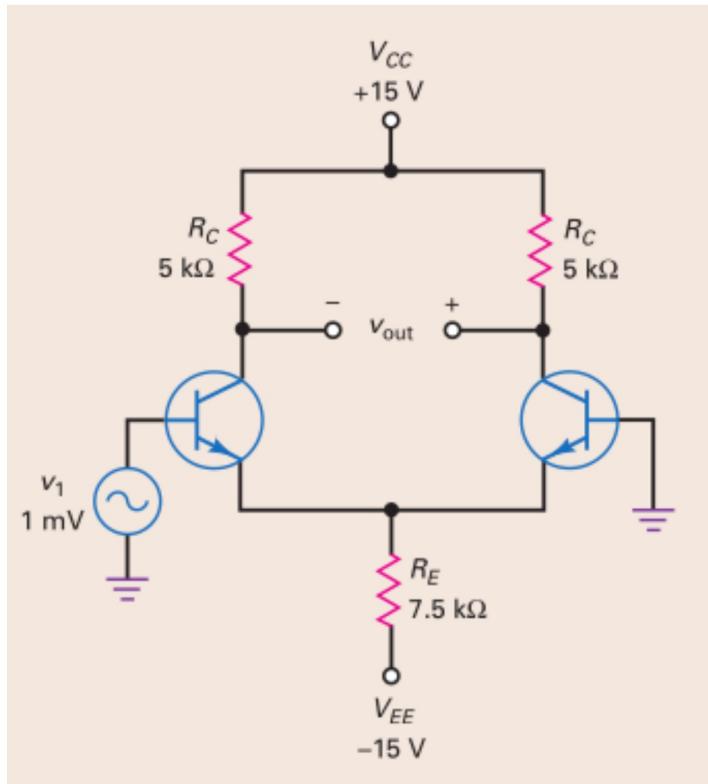
$$z_{in} = 2\beta r'_e \quad (11)$$

- Karena terdapat 2 resistor emitter AC r'_e di dalam rangkaian ekivalennya

Summary Table 15-2		Diff-Amp Voltage Gains	
Input	Output	A_v	v_{out}
Differential	Differential	R_C/r'_e	$A_v(v_1 - v_2)$
Differential	Single-ended	$R_C/2r'_e$	$A_v(v_1 - v_2)$
Single-ended	Differential	R_C/r'_e	$A_vv_1 \text{ or } -A_vv_2$
Single-ended	Single-ended	$R_C/2r'_e$	$A_vv_1 \text{ or } -A_vv_2$

non-inverting input
inverting input

Contoh Soal 4

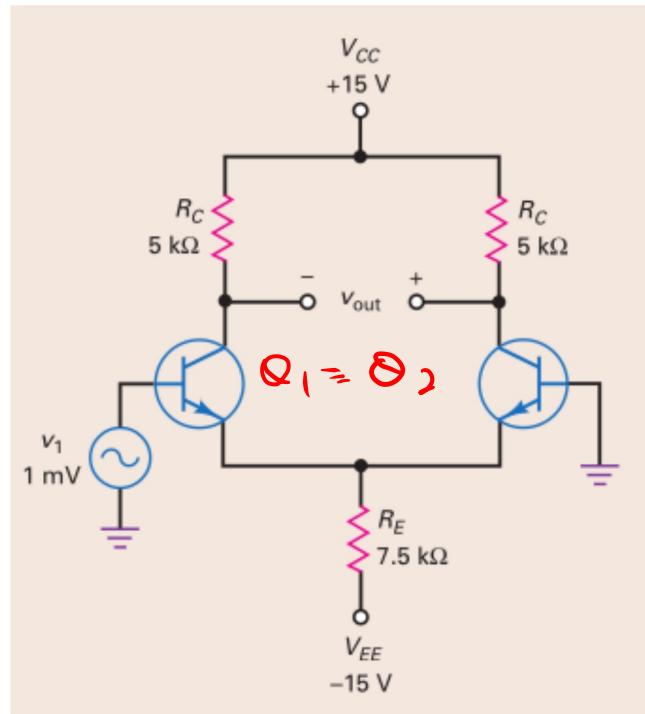


■ Pertanyaan:

- Berdasarkan gambar di samping, berapa tegangan output AC? Jika $\beta = 300$, berapa impedansi input dari diff amp tersebut ?

$$Z_{in} = \frac{1}{\beta} R_E$$

Contoh Soal 4



■ Jawaban:

- Idealnya, 15 V di seberang resistor emitter, menghasilkan arus tail sebesar 2 mA, yang artinya arus emitter DC pada masing masing transistor sebesar

$$I_E = 1 \text{ mA}$$

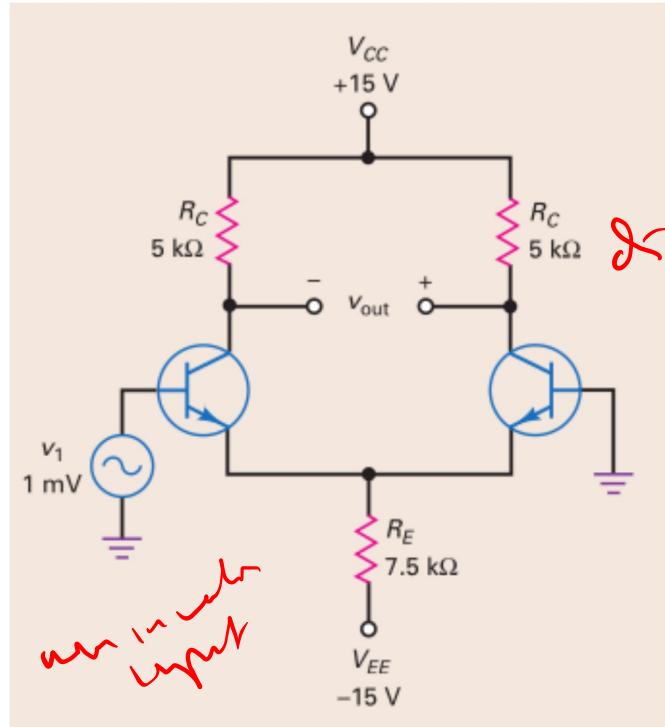
- Lalu kita hitung resistansi emitternya

$$r'_e = \frac{25 \text{ mV}}{I_E} = \frac{25 \text{ mV}}{1 \text{ mA}} = 25 \Omega$$

$$I_T = \frac{V_{EE}}{R_E} = \frac{15 \text{ V}}{7.5 \text{ k}\Omega} = 2 \text{ mA}$$

$$I_E = \frac{1}{2} \cdot I_T \\ = 1 \text{ mA}$$

Contoh Soal 4



■ Jawaban:

- Voltage gain:

$$A_v = \frac{R_C}{r'_e} = \frac{5 \text{ k}\Omega}{25 \Omega} = 200$$

$$\frac{5 \cdot 10^3}{25} = \frac{200}{25}$$

- Tegangan keluaran AC

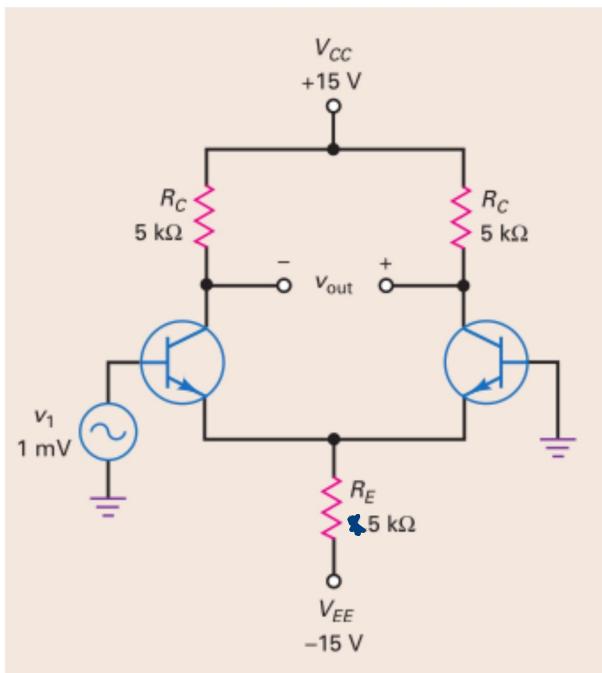
$$v_{out} = A_v v_1 = 200(1 \text{ mV}) = 200 \text{ mV}$$

$$200 \text{ mV}$$

- Impedansi input

$$Z_{in(base)} = 2\beta r'_e = 2(300)(25\Omega) = 15 \text{ k}\Omega$$

Latihan Soal 4



Pertanyaan:

- Berdasarkan gambar di samping, jika $R_E = 5 \text{ k}\Omega$, berapa tegangan output AC? Jika $\beta = 300$, berapa impedansi input dari diff amp tersebut?

Jawaban:

- Silakan dikerjakan

$$\left. \begin{aligned} I_T &= \frac{V_{EE}}{R_E} = \frac{15 \text{ V}}{5 \text{ k}\Omega} = 3 \text{ mA} \\ I_E &= \frac{I_T}{\beta} = \frac{3 \text{ mA}}{300} = 1.3 \text{ mA} \\ r_e &= \frac{26 \text{ mV}}{I_E} = \frac{26 \text{ mV}}{1.3 \text{ mA}} \\ &= 16.15 \text{ }\Omega \end{aligned} \right\} \begin{aligned} A_v &= \frac{R_C}{r_e} = \frac{5 \text{ k}\Omega}{16.15 \text{ }\Omega} = 299.94 \\ V_{out} &= A_v \cdot V_1 = (299.94)(1 \text{ mV}) \\ &= 299.94 \text{ mV} \\ &= 0.3 \text{ V} \end{aligned}$$

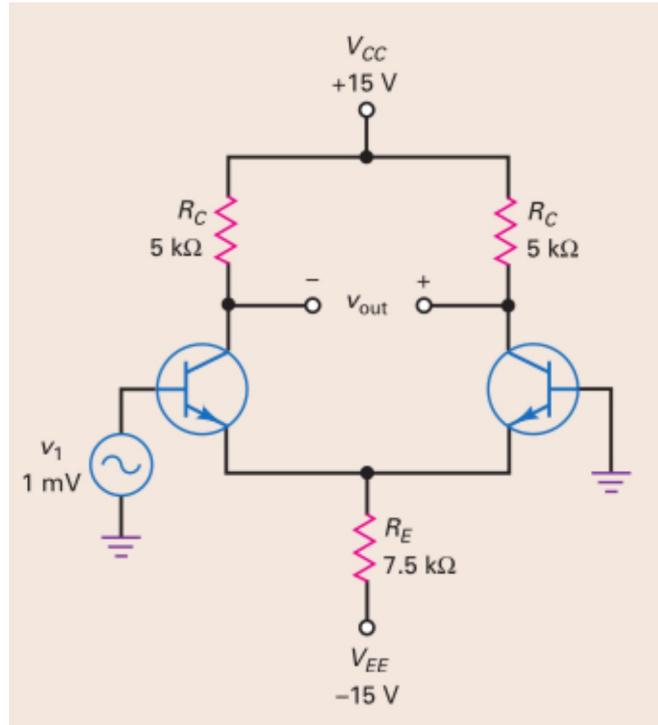
0.3V

$V_{out} = ?$

$Z_{in} = ? \quad v \text{ kesl}$

$$\begin{aligned} Z_{in} &= 2\beta r_e \\ &= 2(300)(16.15 \text{ }\Omega) \\ &= 10002 \text{ }\Omega = 10 \text{ k}\Omega \end{aligned}$$

Contoh Soal 5



■ Pertanyaan:

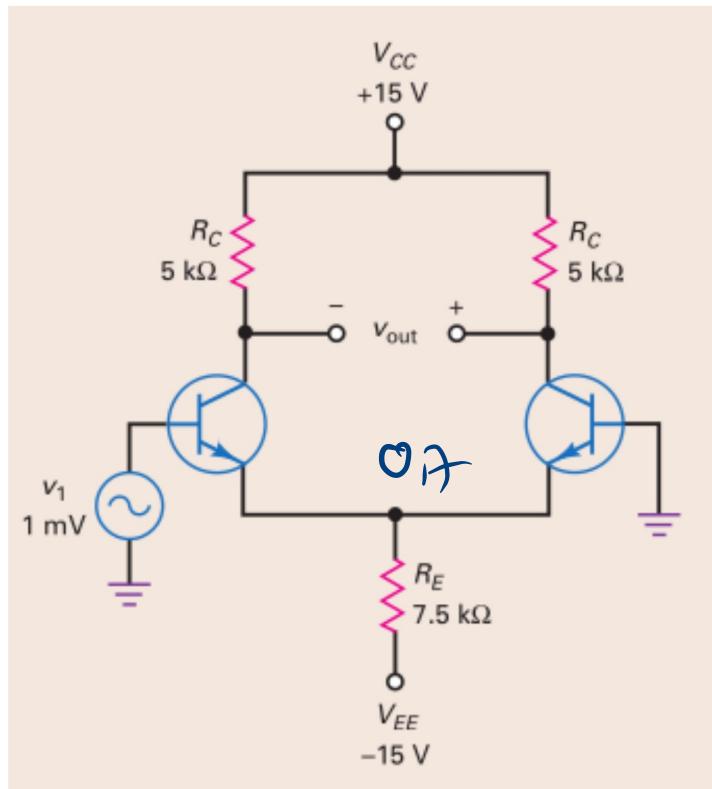
- Berdasarkan gambar di samping, jika menggunakan metode ke 2, berapa tegangan output AC? Jika $\beta = 300$, berapa impedansi input dari diff amp tersebut ?

$$V_{BE} = 0.7 \text{ V}$$

$$V_{out} = ?$$

$$Z_{in} = ?$$

Contoh Soal 5



■ Jawaban:

- Tentukan arus tail

$$I_T = \frac{V_{EE} - V_{BE}}{R_E} = \frac{15 \text{ V} - 0.7 \text{ V}}{7.5 \text{ k}\Omega} = 1.91 \text{ mA}$$

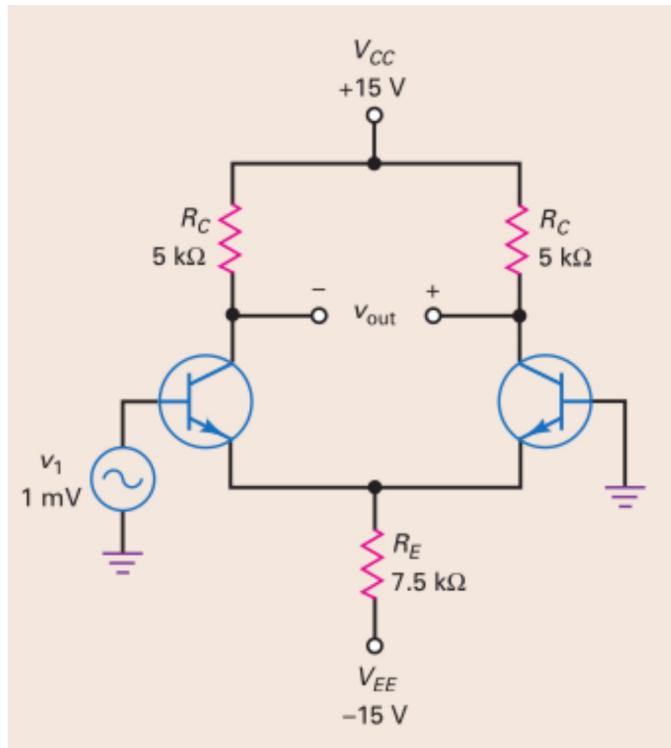
- Arus emitter DC

$$I_E = \frac{I_T}{2} = \frac{1.91}{2} = 0.955 \text{ mA}$$

- Resistansi emitter AC

$$r'_e = \frac{25 \text{ mV}}{I_E} = \frac{25 \text{ mV}}{0.955 \text{ mA}} = 26.2 \Omega$$

Contoh Soal 5



■ Jawaban:

□ Voltage gain

$$A_v = \frac{R_C}{r'_e} = \frac{5 \text{ k}\Omega}{26.2 \text{ }\Omega} = 191$$

□ Tegangan keluaran AC

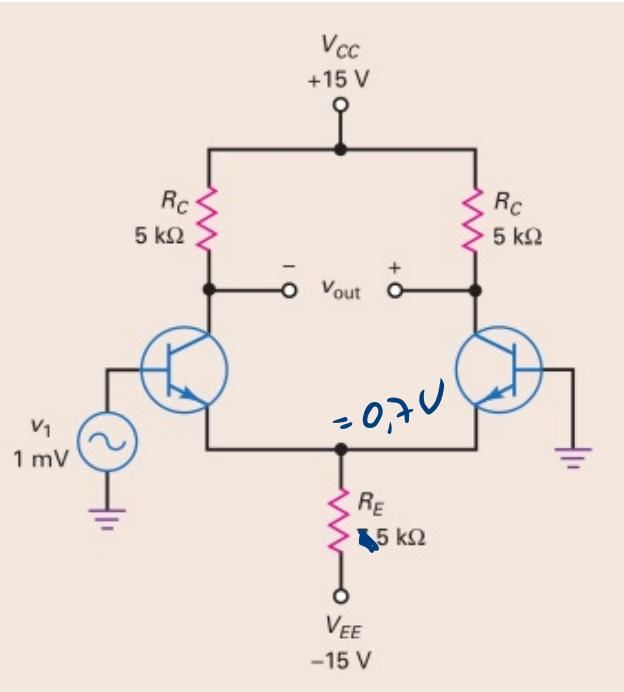
$$v_{out} = A_v v_1 = 191(1 \text{ mV}) = 191 \text{ mV} \approx 0.2 \checkmark$$

□ Impedansi input

$$Z_{in(base)} = 2\beta r'_e = 2(300)(26.2\Omega) = \underline{\underline{15.7 \text{ k}\Omega}}$$

Latihan Soal 5

Dgn menggunakan metode ke-2, tentukan
Vout? Zin?



$$I_T = \frac{V_{EE} - V_{BE}}{R_E} = \frac{15 \text{ V} - 0.7 \text{ V}}{5 \text{ k}\Omega} = 2.86 \text{ mA}$$

$$I_E = \frac{1}{2} I_T = 1.43 \text{ mA}$$

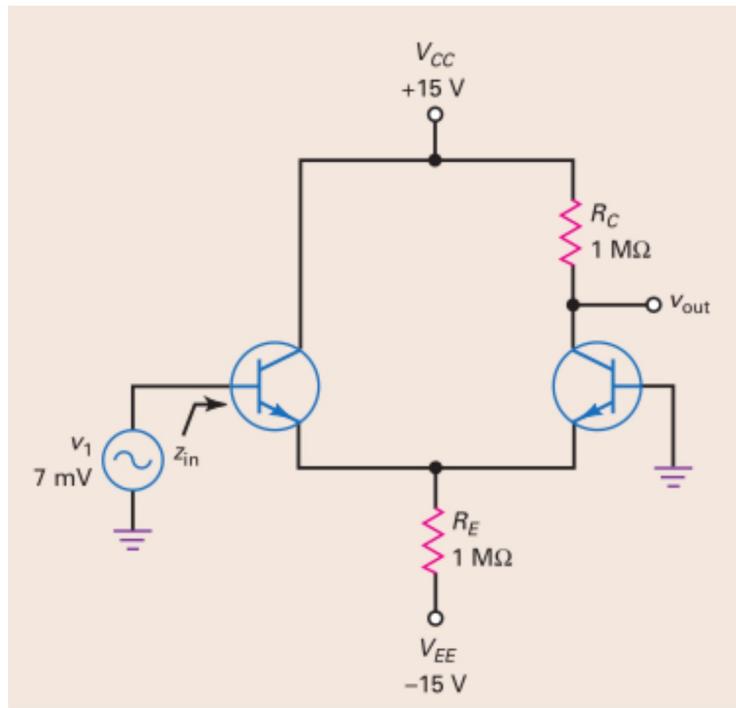
$$r_e = \frac{25 \text{ mV}}{I_E} = \frac{25 \text{ mV}}{1.43 \text{ mA}} = 17.48 \Omega$$

$$A_v = \frac{R_C}{r_e} = \frac{5 \text{ k}\Omega}{17.48 \Omega} = 286.04$$

$$V_{out} = A_v \cdot V_i = (286.04)(1 \text{ mV}) = \underline{\underline{286.04 \text{ mV}}}$$

$$Z_{in} = 2 \cdot \beta \cdot r_e = 2 \cdot (300) (17.48 \Omega) = \frac{10488 \Omega}{= 10.5 \text{ k}\Omega}$$

Contoh Soal 7



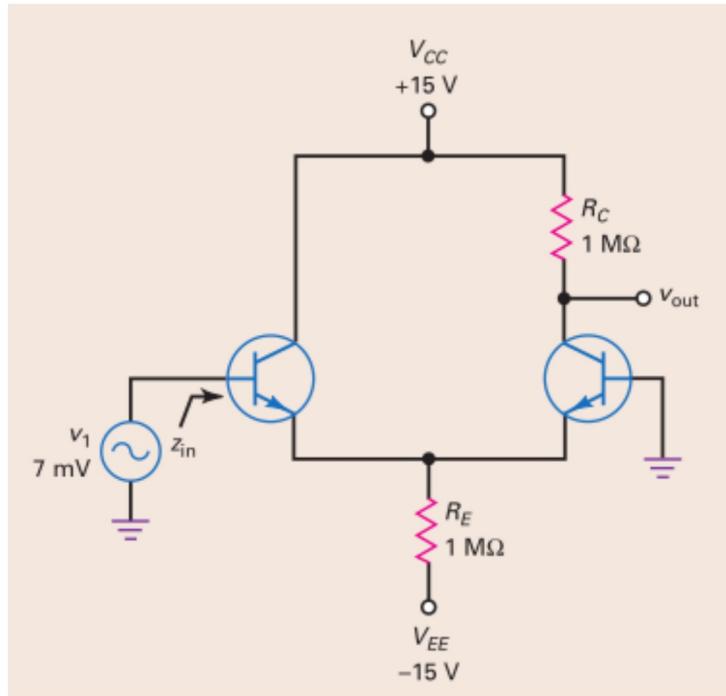
■ Pertanyaan:

- Berdasarkan gambar di samping, jika $\beta = 300$, berapa impedansi input dari diff amp tersebut ?

tegangan bahan?

$$r_e = \frac{25 \text{ mV}}{I_e}$$
$$Z_{in} = 2\beta r_e$$

Contoh Soal 7



■ Jawaban:

- Idealnya sebesar 15 V pada emitter resistor, sehingga arus tailnya:

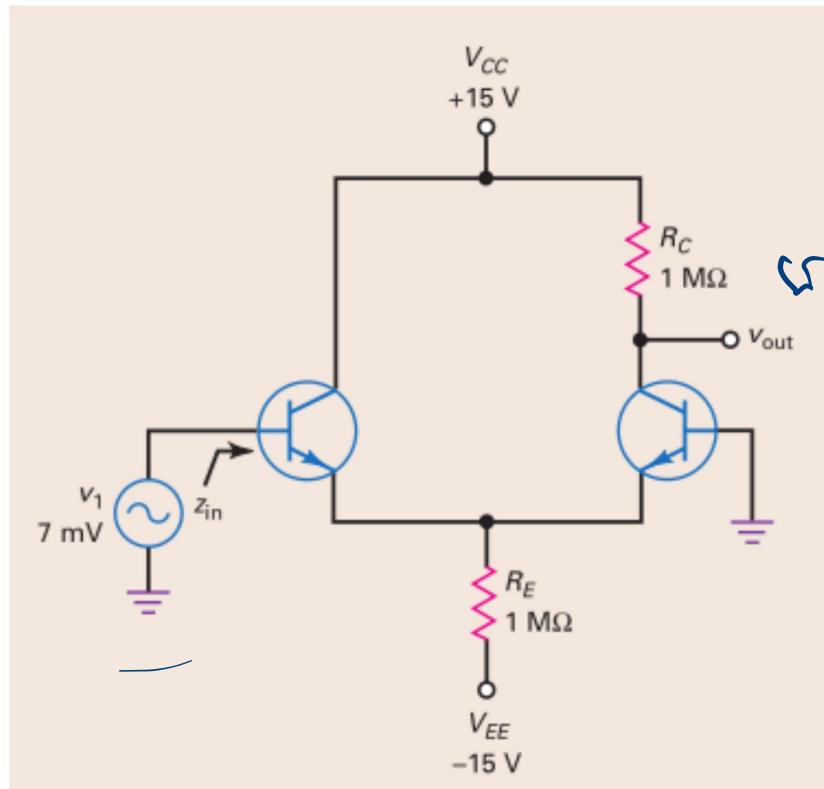
$$I_T = \frac{V_{EE}}{R_E} = \frac{15 \text{ V}}{1 \text{ M}\Omega} = 15 \mu\text{A} \rightarrow I_e = \frac{1}{2} \cdot I_T$$

- Karena arus emitter di setiap transistornya adalah separuh dari arus tail, maka resistansi dari emitternya adalah:

$$r'_e = \frac{25 \text{ mV}}{I_E} = \frac{25 \text{ mV}}{7.5 \mu\text{A}} = 3.33 \text{ k}\Omega$$

Contoh Soal 7

$$A_v = \frac{1}{2} \cdot \frac{R_C}{r'_e}$$



- Jawaban:

- Voltage gain

$$A_v = \frac{R_C}{2r'_e} = \frac{1 \text{ M}\Omega}{2(3.33 \text{ k}\Omega)} = 150$$

- Tegangan keluaran AC

$$v_{out} = A_v v_1 = 150(7 \text{ mV}) = 1.05 \text{ V}$$

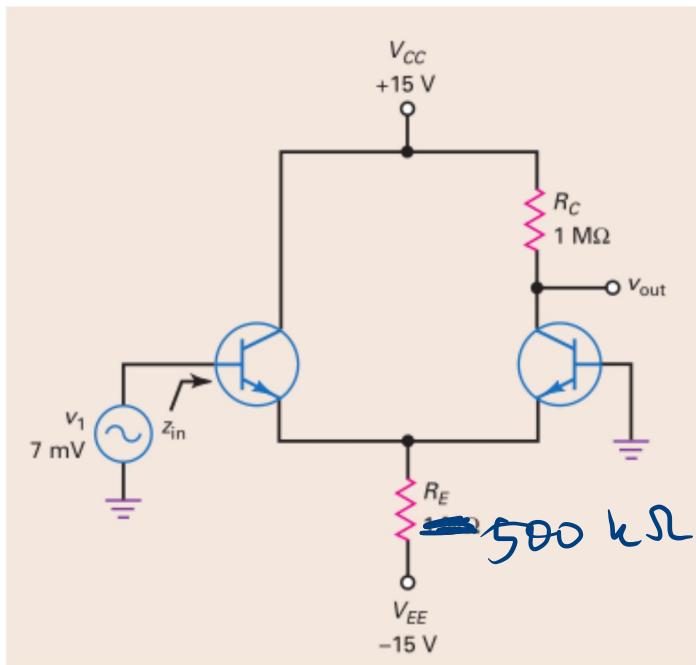
- Impedansi input

$$\begin{aligned} z_{in(base)} &= 2\beta r'_e = 2(300)(3.33 \text{ k}\Omega) \\ &= 2 \text{ M}\Omega \end{aligned}$$

$$\frac{16 \text{ V}}{500 \cdot 10^3 \text{ } \cancel{\text{fF}}} = 3 \cdot 10^{-5} \text{ A} = \frac{3 \cdot 10^{-5} \text{ mA}}{0,3 \text{ mA}} = 30 \text{ mAh}$$

$$I_T = 3 \cdot 10^{-5} \text{ A} = 0,3 \mu\text{A}$$

Latihan Soal 7



Pertanyaan:

- Berdasarkan gambar di samping, jika $\beta = 300$ dan $R_E = 500 \text{ k}\Omega$, berapa V_{out} ?

(L) impedansi input dari diff amp tersebut

$$\begin{aligned}
 I_T &= \frac{V_{EE}}{R_E} = \frac{15 \text{ V}}{500 \text{ k}\Omega} = 0,3 \mu\text{A} \\
 V_{out} &= A_v v_1 : (600)(2 \text{ mV}) \\
 &= 12 \text{ V} \\
 I_E &= \frac{1}{2} \cdot I_T = 0,15 \text{ mA} \\
 r_e &= \frac{25 \text{ mV}}{I_E} = \frac{25 \text{ mV}}{0,15 \text{ mA}} = 166,67 \text{ }\Omega \\
 z_{in} &= 2\beta r_e = 2(300)(166,67) \text{ }\Omega \\
 &= 100 \text{ k}\Omega \\
 A_v &= \frac{1}{2} \cdot \frac{R_C}{r_e} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1 \text{ M}\Omega}{166,67 \text{ }\Omega} = \frac{1 \cdot 10^6}{166,67} \text{ } \cancel{\text{A}} = 5999,98 \approx 6000
 \end{aligned}$$

Kelas Pengganti utk P.3

- ① Syne. → hai & jan ← di (MS)
- ② video → saya upload pada laman
hai wiygu 4/3/2021

Ketua Kelas = Abdul Rahman.