

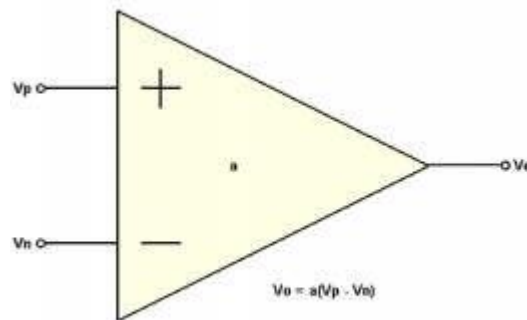
Pembahasan

A. Definisi Operational Amplifier

Operational Amplifier (OP-AMP) adalah sebuah komponen elektronik yang berfungsi sebagai penguat diferensial dengan penguatan tinggi. OP-AMP merupakan salah satu elemen penting dalam perancangan rangkaian elektronika, karena kemampuannya dalam memperkuat sinyal dan memanipulasi arus dan tegangan. OP-AMP biasanya digunakan dalam aplikasi penguatan sinyal, penggabungan sinyal, pemrosesan sinyal, dan banyak lagi. OP-AMP adalah sebuah IC (Integrated Circuit) yang terdiri dari transistor-transistor logika (TTL) dan komponen lainnya yang dirangkai sedemikian rupa sehingga menghasilkan penguatan yang sangat tinggi. OP-AMP pertama kali diperkenalkan pada tahun 1941 oleh Karl D. Swartzel Jr. dari Bell Labs, namun penggunaan yang lebih luas dimulai pada tahun 1960-an dengan adanya teknologi produksi IC yang lebih baik.

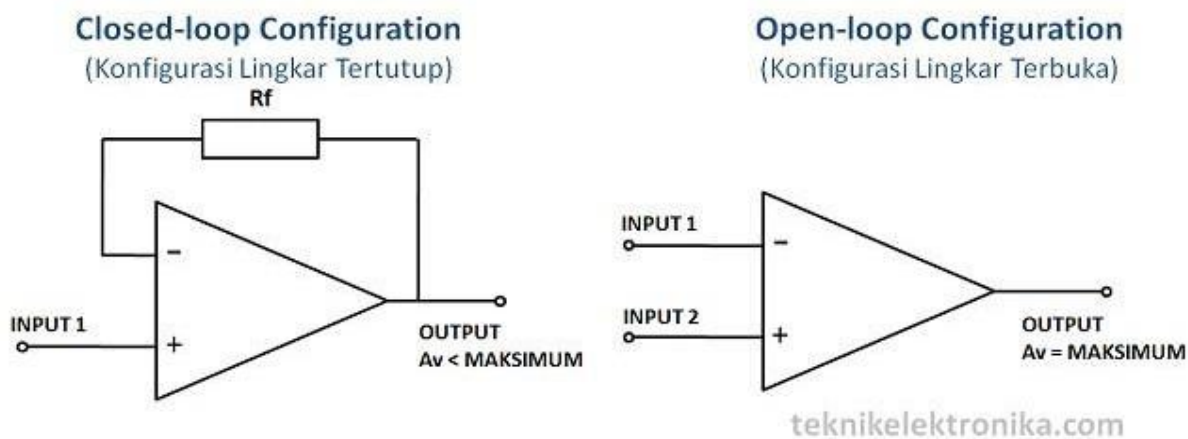
Penguat Operasional (Operational Amplifier / Op-Amp) adalah penguat diferensial yang memiliki penguatan yang sangat tinggi. Op-Amp tersebut diproduksi secara massal dalam bentuk rangkaian terpadu yang harganya murah. Kegunaan dari Op-Amp berasal dari sifat dasar rangkaian umpan balik yang dengan jumlah besar umpan balik negatifnya, kinerja dari rangkaian tersebut benar-benar ditentukan oleh komponen umpan baliknya. Rangkaian Op-Amp dianalisis dengan akurasi yang baik tanpa menggunakan teori umpan balik dengan mengasumsikan bahwa Op-Amp tersebut adalah ideal. Kehadiran Op-Amp ideal

dalam rangkaian penguat membatasi arus dan tegangan diferensial pada terminal input Op-Amp keduanya menjadi nol. Sebuah rangkaian Op-Amp dasar dan sangat berguna adalah penguat tegangan pembalik (inverting voltage amplifier). Rangkaian dasar lain Op-Amp adalah penguat tegangan non-pembalik (non-inverting voltage amplifier). Rangkaian ini memberikan amplifikasi tanpa membalik gelombang sinyal.



Prinsip dasar kerja OP-AMP adalah memperkuat selisih tegangan antara input inverting dan non-inverting. OP-AMP memiliki penguatan tegangan yang sangat tinggi (penguatan terbuka) sehingga selisih tegangan input yang kecil dapat menghasilkan tegangan output yang besar. Prinsip penguatan diferensial OP-AMP didasarkan pada penggunaan transistor sebagai penguat aktif dalam konfigurasi diferensial.

Karakteristik Faktor Penguat atau Gain pada Op-Amp pada umumnya ditentukan oleh Resistor Eksternal yang terhubung diantara Output dan Input pembalik (Inverting Input). Konfigurasi dengan umpan balik _ank are (Negative Feedback) ini biasanya disebut dengan *Closed- Loop configuration* atau Konfigurasi Lingkar Tertutup. Umpan balik _ank are ini akan menyebabkan penguatan atau gain menjadi berkurang dan menghasilkan penguatan yang dapat diukur serta dapat dikendalikan. Tujuan pengurangan Gain dari Op-Amp ini adalah untuk menghindari terjadinya Noise yang berlebihan dan juga untuk menghindari

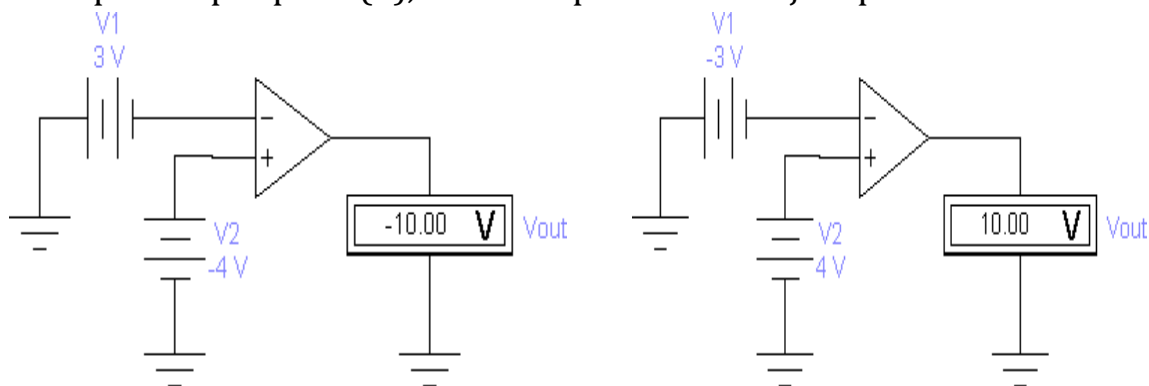


respon yang tidak diinginkan. Sedangkan pada Konfigurasi Lingkar Terbuka atau *Open-Loop Configuration*, besar penguatannya adalah tak terhingga (∞) sehingga besarnya tegangan output hampir atau mendekati tegangan V_{cc} .

Pada mulanya Op-Amp digunakan untuk rangkaian perhitungan analog, rangkaian pengaturan instrumentasi. Fungsi utamanya adalah untuk melakukan operasi linier matematika (tegangan dan arus), _ank aren dan penguatan. Namun kini Op-Amp

dapat digunakan dimana saja, dalam berbagai bidang: reproduksi suara, system komunikasi, sistem pengolahan digital, elektronik komersial dan aneka macam perangkat hobbyist. Dalam penggunaannya Op-Amp dibagi menjadi dua jenis yaitu penguat linier dan penguat tidak linier. Penguat linier merupakan penguat yang tetap mempertahankan bentuk sinyal masukan, yang termasuk dalam penguat ini antara lain penguat non inverting, penguat inverting, penjumlahan diferensial dan penguat instrumentasi. Sedangkan penguat tidak linier merupakan penguat yang bentuk sinyal keluarannya tidak sama dengan bentuk sinyal masukannya, diantaranya komparator, integrator, diferensiator, pengubah bentuk gelombang dan pembangkit gelombang.

Salah satu fungsi yang penting dari Op-Amp adalah hubungan polaritas antara input terhadap output. Tegaknya, jika input pada (-) lebih positif daripada input pada (+), maka output akan menjadi negatif. Sebaliknya, jika input pada (-) lebih negatif daripada input pada (+), maka output akan menjadi positif.



B. Sifat OP AMP

OP-AMP memiliki beberapa sifat penting yang perlu dipahami dalam perancangan dan penggunaan rangkaian elektronika. Sifat-sifat ini mencakup parameter dan karakteristik kinerja OP-AMP yang mempengaruhi operasinya. Beberapa sifat-sifat OP-AMP yang umum dijelaskan sebagai berikut:

1. Penguatan Tegangan Besar (Gain):

OP-AMP memiliki penguatan tegangan yang sangat tinggi (umumnya ribuan hingga puluhan ribu). Penguatan tegangan ini mengacu pada rasio perubahan tegangan output terhadap perubahan tegangan input. Penguatan tegangan dapat dikendalikan dengan menggunakan umpan balik negatif pada rangkaian OP-AMP.

2. Impedansi Input:

Impedansi input merupakan resistansi efektif yang dilihat oleh sumber sinyal yang terhubung ke input OP-AMP. OP-AMP ideal memiliki impedansi input yang sangat tinggi, sehingga hanya mengalirkan arus masuk yang sangat kecil. Impedansi input yang tinggi menjaga agar sinyal input tidak terpengaruh oleh beban atau sirkuit sebelumnya.

3. Impedansi Output:

Impedansi output merupakan resistansi efektif dari output OP-AMP terhadap beban atau rangkaian selanjutnya. OP-AMP ideal memiliki impedansi output yang sangat rendah, sehingga dapat memberikan sinyal output tanpa distorsi. Impedansi

output yang rendah memastikan kemampuan OP-AMP untuk mendorong beban dengan baik.

4. Pita Lebar (Bandwidth):

Pita lebar mengacu pada rentang frekuensi di mana OP-AMP dapat memberikan penguatan yang tinggi dengan tingkat kesalahan yang rendah. OP-AMP ideal memiliki pita lebar yang tidak terbatas, namun dalam kenyataannya ada batasan pita lebar yang bergantung pada desain dan karakteristik OP-AMP. Pemilihan OP-AMP yang sesuai perlu mempertimbangkan pita lebar yang dibutuhkan oleh aplikasi tertentu.

5. Kestabilan:

Kestabilan OP-AMP berkaitan dengan respons frekuensi dan umpan balik yang digunakan dalam rangkaian. OP-AMP bisa menjadi tidak stabil jika umpan balik yang digunakan tidak memenuhi kriteria stabilitas yang diperlukan. Untuk menjaga stabilitas, komponen tambahan seperti kapasitor atau resistor dapat digunakan dalam desain rangkaian.

6. Ketepatan (Accuracy):

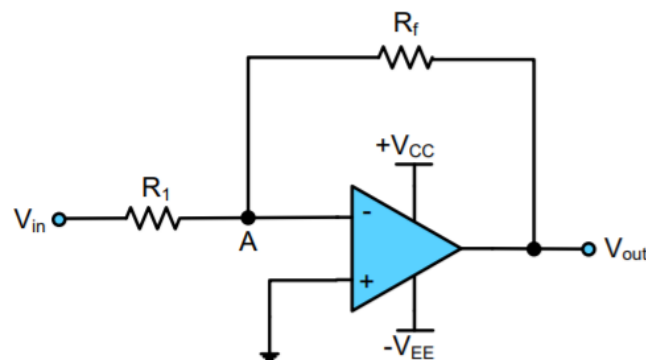
OP-AMP ideal memiliki ketepatan yang tinggi, artinya output OP-AMP akan secara akurat mengikuti perubahan inputnya. Namun, OP-AMP nyata memiliki ketidaksempurnaan yang dapat mempengaruhi ketepatan, seperti offset tegangan atau arus masuk yang kecil.

C. Rangkaian OP-AMP Inverting & Non-Inverting:

Rangkaian OP-AMP inverting dan non-inverting adalah dua konfigurasi umum yang menggunakan OP-AMP sebagai elemen utama. Kedua rangkaian ini memiliki karakteristik dan aplikasi yang berbeda. Berikut adalah penjelasan tentang masing-masing rangkaian:

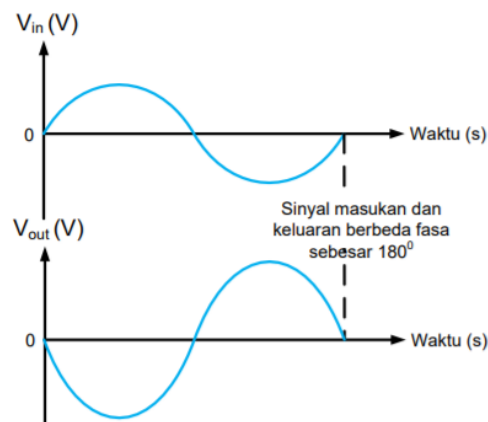
Rangkaian OP-AMP Inverting:

Penguat Inverting adalah suatu rangkaian penguat yang berfungsi menguatkan sinyal akan tetapi sinyal yang dikuatkan akan berbanding terbalik 180 derajat dengan sinyal masukannya. Bentuk sinyal input output rangkaian inverting dapat dilihat pada gambar 2. Pada dasarnya penguat inverting digunakan sebagai pengkondisi sinyal inputan sensor yang terlalu kecil sehingga dibutuhkan penguatan untuk diproses.



Salah satu fungsi pemasangan resistor umpan balik (feedback) atau pada gambar **R2** dan resistor input **R1** adalah untuk mengatur faktor penguatan inverting amplifier (penguat membalik) tersebut. Dengan dipasangnya resistor feedback (R_f)

dan resistor input (R_1) maka faktor penguatan dari penguat pembalik dapat diatur dari 1 sampai 100.000 kali. Berikut adalah gambar sinyal input dan output penguatan Inverting

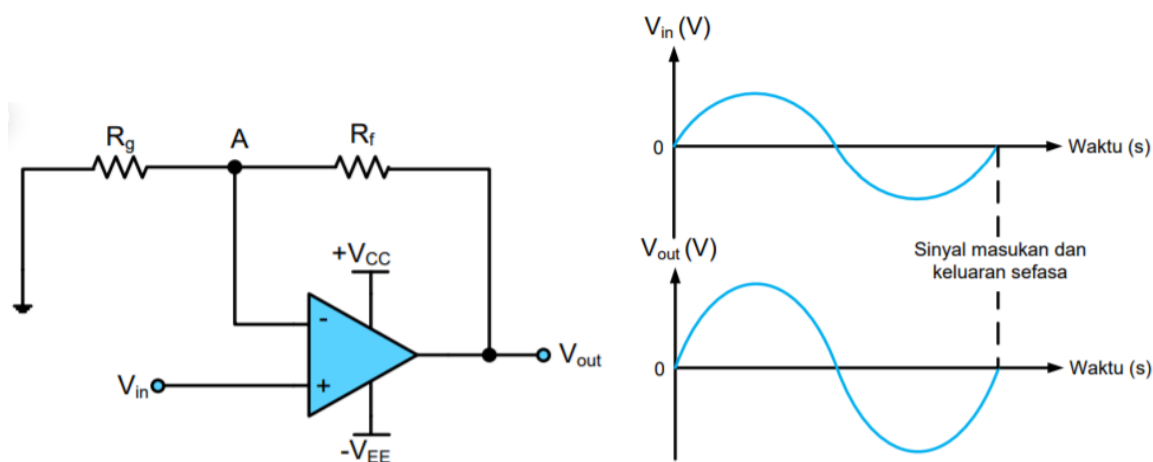


Fungsi penguat inverting, contoh keluaran sensor dan transduser pada umumnya mempunyai tegangan yang sangat kecil hingga mikro volt, sehingga diperlukan penguat dengan impedansi masukan rendah. Rangkaian penguat inverting merupakan rangkaian penguat pembalik dengan impedansi masukan sangat rendah. Rangkaian penguat inverting akan menerima arus atau tegangan dari transduser sangat kecil dan akan membangkitkan arus atau tegangan yang lebih besar

Op Amp Sebagai Penguat Non Inverting

Penguat Non Inverting adalah suatu rangkaian penguat yang berfungsi menguatkan sinyal dan hasil sinyal yang dikuatkan tetap sefasa dengan sinyal inputannya, hasil dari sinyal input dan output rangkaian non inverting dapat dilihat pada Gambar 1. Pada dasarnya penguat non inverting digunakan sebagai

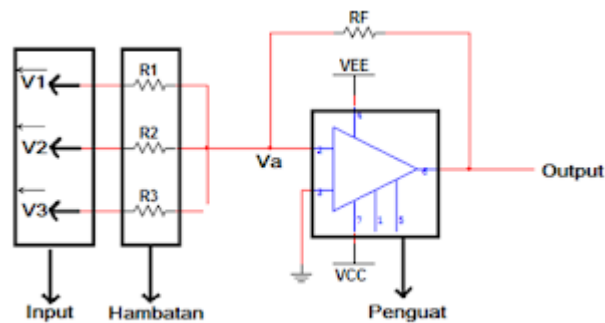
pengkondisi sinyal inputan sensor yang terlalu kecil sehingga dibutuhkan penguatan untuk diproses. intinya penguat non inverting ke balikkan dari penguat inverting. Penguat Non Inverting adalah suatu rangkaian penguat yang berfungsi menguatkan sinyal dan hasil sinyal yang dikuatkan tetap sefasa dengan sinyal inputannya, hasil dari sinyal input dan output rangkaian non inverting dapat dilihat pada Gambar 1. Pada dasarnya penguat non inverting digunakan sebagai pengkondisi sinyal inputan sensor yang terlalu kecil sehingga dibutuhkan penguatan untuk diproses. intinya penguat non inverting ke balikkan dari penguat inverting.



Fungsi dari penguat non inverting kurang lebih sama dengan penguat inverting hanya saja polaritas output yang dihasilkan sama dengan sinyal inputnya. Keluaran sensor dan tranduser pada umumnya mempunyai tegangan yang sangat kecil hingga mikro volt, sehingga diperlukan penguat dengan impedansi masukan rendah. Rangkaian penguat non inverting akan menerima arus atau tegangan dari tranduser sangat kecil dan akan membangkitkan arus atau tegangan yang lebih besar

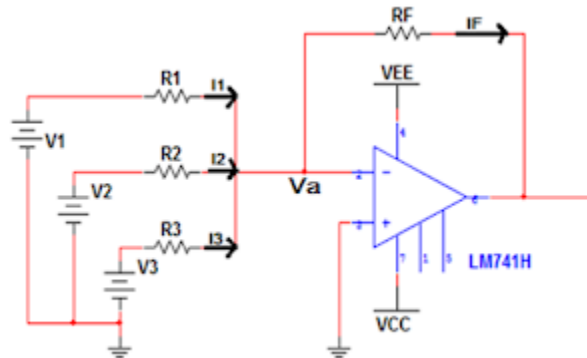
D. Rangkaian Penjumlahan dan diferensial

Rangkaian penjumlah adalah konfigurasi op - amp sebagai penguat dengan diberikan input lebih dari satu untuk menghasilkan sinyal output yang linier yang sesuai dengan nilai penjumlahan sinyal input dan faktor penguat yang ada. Pada umumnya rangkaian penjumlah adalah rangkaian penjumlah dasar yang disusun dengan penguat *inverting* dan *non inverting* yang diberikan input 1 line.



Rangkaian penjumlah menggunakan OP-AMP digunakan untuk menjumlahkan beberapa sinyal input menjadi satu sinyal output. Terdapat dua jenis rangkaian penjumlah yang umum digunakan, yaitu rangkaian penjumlah inverting dan non-inverting.

Pengunatan Penjumlahan Inverting



Pada operasi *adder*/penjumlahan sinyal secara *inverting*, input yang berada pada V_1, V_2, V_3 di hubungkan dengan hambatan yaitu R_1, R_2 , dan R_3 setelah di hubungkan dengan hambatan, lalu di hubungkan dengan masukan negatif pada op-amp. Besarnya penjumlahan sinyal masukan tersebut bernilai negatif karena penguat operasional dioperasikan pada mode membalik. Besarnya penguatan tegangan (A_v) tiap sinyal input mengikuti nilai perbandingan R_f dan resistor input masing-masing (R_1, R_2, R_3). Terdapat penurunan persamaan untuk mencari nilai dari rangkaian ini.

- Mencari arus (I_f).

$$I_1 + I_2 + \dots + I_n + I_f = 0$$

$$I_f = -(I_1 + I_2 + \dots + I_n)$$

$$I_f = -\left[\left(\frac{V_1}{R_1}\right) + \left(\frac{V_2}{R_2}\right) + \dots + \left(\frac{V_n}{R_n}\right)\right]$$

- Rumus dasar penguat inverting

$$V_{out} = -\frac{R_f}{R} \times V_{in}$$

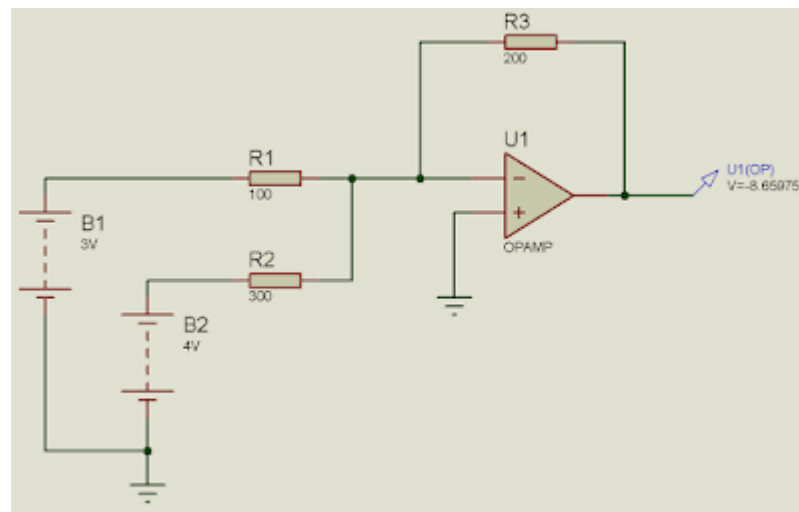
- Pada penguat penjumlah

$$V_{out} = -\left[\frac{R_f}{R_1} V_1 + \frac{R_f}{R_2} V_2 + \dots + \frac{R_f}{R_n} V_n\right]$$

- Jika $R_1 = R_2 = R_n = R$, maka

$$V_{out} = -\frac{R_f}{R} (V_1 + V_2 + \dots + V_n)$$

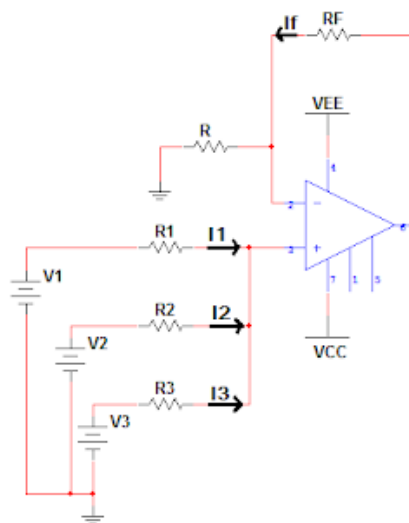
Simulasi ada proteus



Dari simulasi diatas dapat di lihat output penguat pembalik penjumlahlah menghasilkan tegangan sebesar 8.6 Volt, untuk pembuktian perhitungannya dapat di lihat di bawah ini :

$$\begin{aligned}
 V_{out} &= - \left[\frac{R_f}{R_1} V_1 + \frac{R_f}{R_2} V_2 \right] \\
 &= - \left[\frac{200}{100} \cdot 3 + \frac{200}{300} \cdot 4 \right] \\
 &= - [6 + 2,6] \\
 &= -8,6
 \end{aligned}$$

Penjumlahan Penguatan Non Inverting



Rangkaian penjumlah *non-inverting* memiliki penguatan tegangan yang tidak melibatkan nilai resistansi input yang digunakan. Oleh karena itu dalam rangkaian penjumlah *non-inverting* nilai resistor input (R1, R2, R3) sebaiknya

bernilai sama persis, hal ini bertujuan untuk mendapatkan kestabilan dan akurasi penjumlahan sinyal yang diberikan ke rangkaian. Pada rangkaian penjumlah *non-inverting* diatas sinyal input (V_1, V_2, V_3) diberikan ke jalur input melalui resistor input masing- masing (R_1, R_2, R_3). Besarnya penguatan tegangan (A_v) pada rangkaian penguat penjumlah *non-inverting* diatas diatur oleh Resistor *feedback* (R_f) dan resistor *inverting* (R_i).

- Mencari arus (I_f).

$$I_1 + I_2 + \dots + I_n + I_f = 0$$

$$I_f = (I_1 + I_2 + \dots + I_n)$$

$$I_f = \left[\left(\frac{V_1}{R_1} \right) + \left(\frac{V_2}{R_2} \right) + \dots + \left(\frac{V_n}{R_n} \right) \right]$$

- Rumus dasar penguat non-inverting

$$V_{out} = \left(1 + \frac{R_f}{R} \right) (V_{in})$$

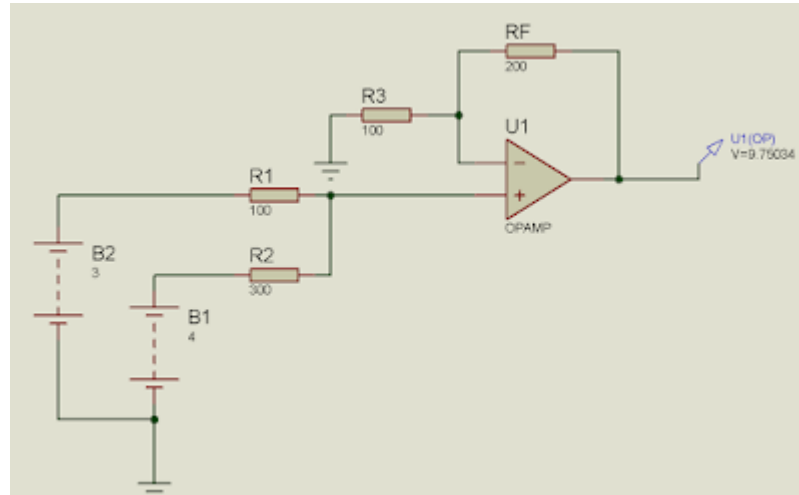
- Rumus penguat penjumlah penguat tak membalik

$$V_{out} = \left(1 + \frac{R_f}{R} \right) \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} V_1 + \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_2 \right)$$

- Jika nilai $R_1 = R_2 = R_n = R$ maka :

$$V_{out} = \left(1 + \frac{R_f}{R} \right) \left(\frac{V_1 + V_2 + \dots + V_n}{n} \right)$$

Simulasi pada proteus

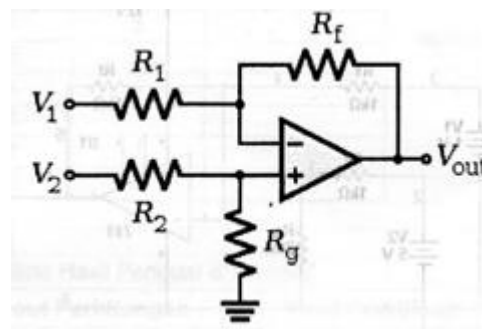


Dari simulasi diatas dapat di lihat output penguat pembalik penjumlah menghasilkan tegangan sebesar 9.75 Volt, untuk pembuktian perhitungannya dapat di lihat di bawah ini :

$$\begin{aligned}
 V_{out} &= \left(1 + \frac{R_f}{R_3}\right) \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} V_1 + \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_2\right) \\
 &= \left(1 + \frac{200}{100}\right) \left(\frac{300}{100 + 300} 3 + \frac{100}{100 + 300} 4\right) \\
 &= (1 + 2) (2,25 + 1) \\
 &= 9,75 \text{ V}
 \end{aligned}$$

Rangkaian Differensial

Penguat ini mampu memperkuat sinyal yang kecil. Keluaran dari penguat ini sebanding dengan perbedaan tegangan kedua masukannya. Penguat diferensial ini mampu mengurangi noise dengan sangat baik. Gambar dibawah ini menunjukkan rangkaian penguat diferensial.



Rumus

$$V_{out} = \frac{(R_f + R_1) R_g}{(R_g + R_2) R_1} V_2 - \frac{R_f}{R_1} V_1$$

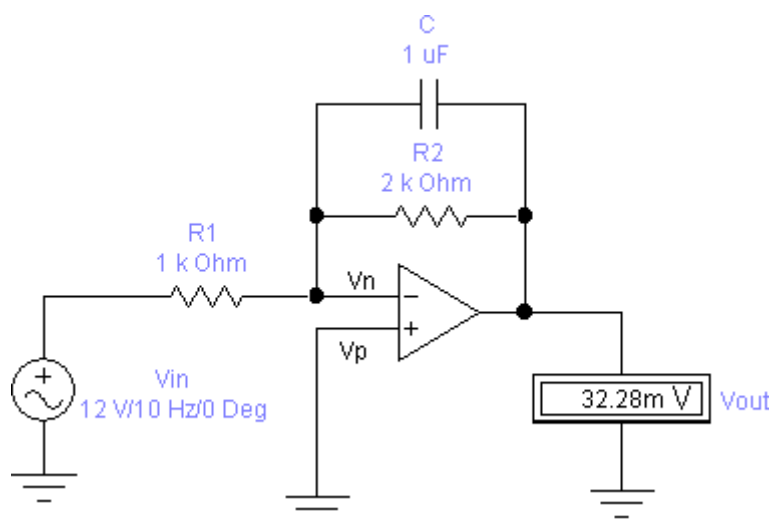
Rangkaian differensial menggunakan OP-AMP digunakan untuk mengukur perbedaan antara dua sinyal input. Rangkaian differensial memanfaatkan sifat differensial OP-AMP yang menghasilkan tegangan output proporsional terhadap perbedaan antara tegangan input.

E. Rangkaian Integrator dan Rangkaian Filter Low Pass

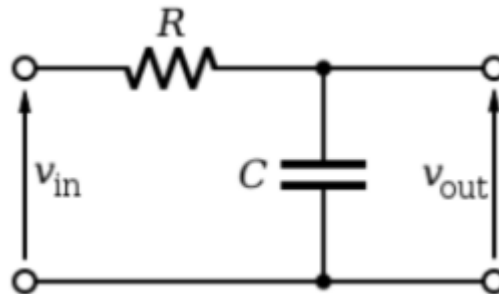
Rangkaian Integrator

$$V_{out} = -\frac{1}{RC} \int_0^t V_{in} dt + V_{mula}$$

Dimana t adalah waktu dan V_{mula} adalah tegangan keluaran pada $t = 0$. Sebuah integrator dapat juga dipandang sebagai penapis pelewat-tinggi (high passfilter) dan dapat digunakan untuk rangkaian penapis aktif. Dengan demikian, input gelombang persegi akan menyebabkan gelombang output segitiga. Namun, dalam rangkaian yang sebenarnya ($R_2 < \infty$) ada beberapa kerusakan dalam keadaan sistem pada tingkat proporsional keadaan itu sendiri. Hal ini menyebabkan peluruhan eksponensial dengan waktu konstan $\tau = R_2 C$.



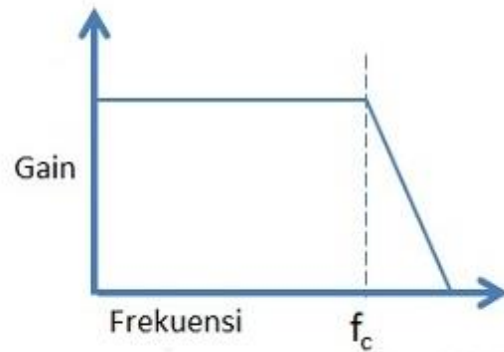
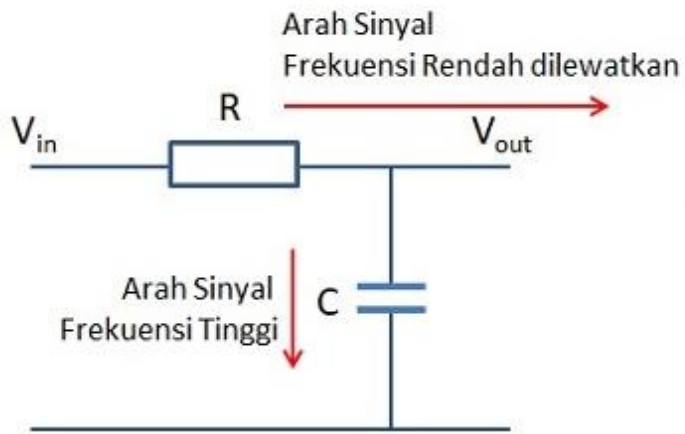
Rangkaian Filter Low Pass



Low Pass Filter (LPF) adalah filter atau penyaring yang melewatkan sinyal frekuensi rendah serta menghambat atau memblokir sinyal frekuensi tinggi. Dengan kata lain, LPF akan menyaring sinyal frekuensi tinggi dan meneruskan sinyal frekuensi rendah yang diinginkannya. Sinyal ini bisa berupa sinyal listrik seperti sinyal audio atau sinyal perubahan tegangan. LPF yang ideal yaitu LPF yang sama sekali tidak melewatkan sinyal dengan frekuensi diatas frekuensi cut-off (f_c) atau tegangan output pada sinyal frekuensi diatas frekuensi cut-off sama dengan 0V.

Terdapat dua konfigurasi utama pada Low Pass Filter Pasif (Penyaring Lolos Bawah Pasif) yakni Low Pass RC Filter (Resistor-Capasitor) dan Low Pass RL Filter (Resistor-Induktor).

Rangkaian Low Pass Filter (RC Filter)



Berikut ini merupakan rumus yang digunakan untuk menemukan titik cut-off frekuensi dari rangkaian RC yaitu:

$$f = 1/2\pi RC$$

Dimana :

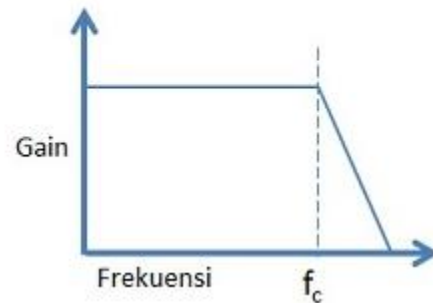
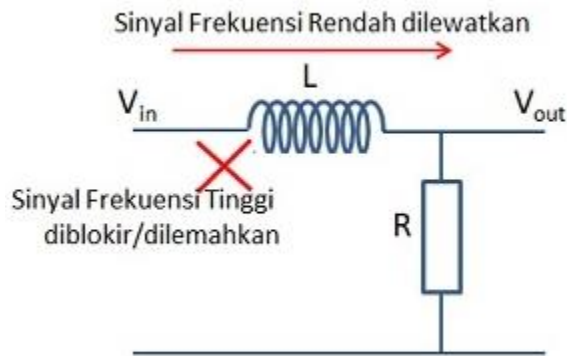
f = Frekuensi dalam satuan Hz

π = 3.14

R = Nilai resistor dalam satuan Ohm (Ω)

C = Nilai kapasitor dalam satuan Farad (F)

Rangkaian Low Pass Filter (RL Filter)



Berikut ini merupakan rumus yang digunakan untuk menemukan titik cut-off frekuensi dari rangkaian RL, yaitu:

$$f = R / 2\pi L$$

Dimana :

f = Frekuensi dalam satuan Hz

π = 3.14

R = Nilai resistor dalam satuan Ohm (Ω)

L = Nilai induktor dalam satuan Henry (H)

F. Sifat-Sifat Non Ideal OP AMP

Offset Voltage:

Offset voltage adalah perbedaan tegangan yang muncul antara terminal inverting dan non-inverting saat input sinyal nol (tidak ada input yang diberikan). Pada OP-AMP ideal, offset voltage adalah nol. Namun, pada OP-AMP non-ideal, terdapat offset voltage yang kecil namun signifikan. Offset voltage dapat menyebabkan ketidakakuratan dalam operasi amplifikasi sinyal dan dapat diatasi dengan teknik kalibrasi atau menggunakan OP-AMP dengan offset voltage yang rendah.

Offset Current:

Offset current adalah arus yang mengalir pada terminal inverting dan non-inverting saat input sinyal nol. Pada OP-AMP ideal, offset current adalah nol. Namun, pada OP-AMP non-ideal, terdapat offset current yang kecil namun signifikan. Offset current dapat menyebabkan ketidakseimbangan dalam operasi rangkaian dan dapat diatasi dengan teknik kompensasi atau menggunakan OP-AMP dengan offset current yang rendah.

Bias Current:

Bias current adalah arus yang mengalir ke terminal inverting dan non-inverting. Bias current dapat menyebabkan ketidakseimbangan dalam operasi rangkaian, terutama pada rangkaian dengan impedansi input tinggi. Bias current dapat diatasi

dengan menggunakan resistor kompensasi atau menggunakan OP-AMP dengan bias current yang rendah.

CMRR (Common-Mode Rejection Ratio):

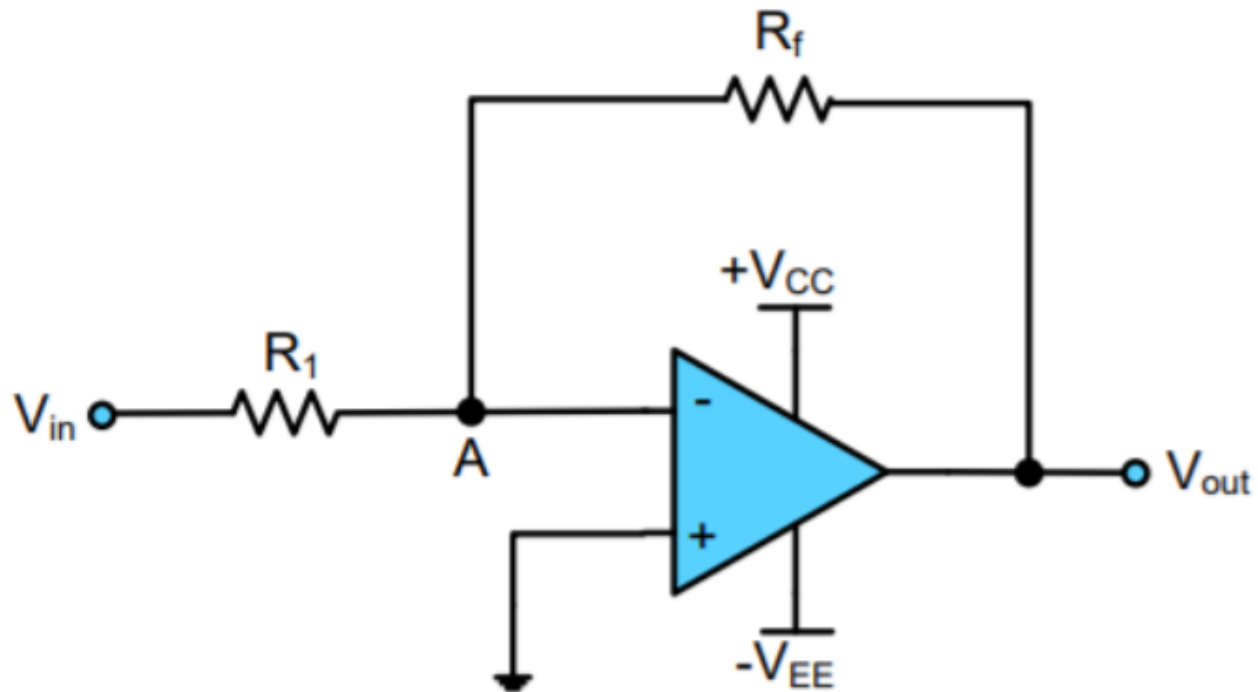
CMRR adalah ukuran kemampuan OP-AMP untuk menolak sinyal common-mode (sinyal yang hadir di kedua input dengan polaritas yang sama). CMRR dinyatakan dalam desibel (dB) dan merupakan perbandingan antara amplifikasi sinyal differensial dengan amplifikasi sinyal common-mode. Semakin tinggi nilai CMRR, semakin baik OP-AMP dalam menolak sinyal common-mode. CMRR yang rendah dapat menyebabkan noise atau gangguan yang tidak diinginkan pada output.

PSRR (Power Supply Rejection Ratio):

PSRR adalah ukuran kemampuan OP-AMP untuk menolak perubahan tegangan pada catu daya (power supply). PSRR dinyatakan dalam desibel (dB) dan merupakan perbandingan antara perubahan tegangan pada catu daya dengan perubahan yang terjadi pada output. Semakin tinggi nilai PSRR, semakin baik OP-AMP dalam menolak perubahan tegangan pada catu daya. PSRR yang rendah dapat menyebabkan noise atau gangguan yang terkait dengan perubahan tegangan catu daya.

Rangkaian sederhana dengan mempertimbangkan karakteristik non-ideal OP-AMP adalah rangkaian inverting amplifier. Dalam analisis rangkaian ini, kita akan memperhitungkan offset voltage, offset current, dan bias current yang dimiliki oleh OP-AMP non-ideal. Rangkaian inverting amplifier menggunakan konfigurasi OP-

AMP dengan umpan balik negatif. Berikut adalah diagram rangkaian inverting amplifier:



Di dalam rangkaian ini, resistor R_1 terhubung antara terminal inverting (-) OP-AMP dan input sinyal ($+V_{in}$). Resistor R_2 terhubung antara terminal inverting (-) OP-AMP dan output sinyal (V_{out}). Terminal inverting (-) juga terhubung ke ground melalui resistor R_2 .

Untuk analisis rangkaian ini, kita akan mempertimbangkan karakteristik non-ideal OP-AMP berikut:

1. Offset Voltage: Karakteristik offset voltage mengakibatkan ada perbedaan tegangan antara terminal inverting dan non-inverting saat input sinyal nol.

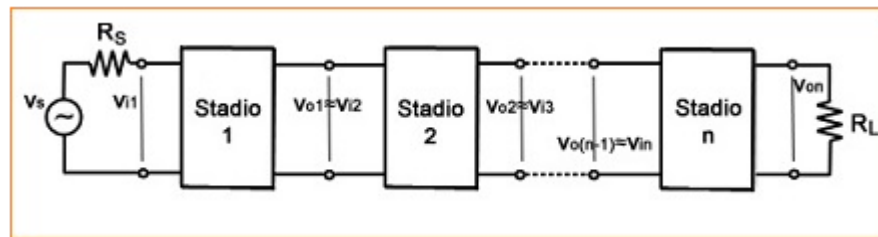
Dalam rangkaian inverting amplifier, offset voltage akan menghasilkan tegangan offset pada output. Dalam analisis ini, kita akan mempertimbangkan offset voltage sebagai sumber tegangan offset pada output.

2. Offset Current: Karakteristik offset current mengakibatkan ada arus yang mengalir pada terminal inverting dan non-inverting saat input sinyal nol. Dalam rangkaian inverting amplifier, offset current akan menghasilkan arus offset pada resistor R_1 dan R_2 . Dalam analisis ini, kita akan mempertimbangkan offset current sebagai sumber arus offset pada rangkaian.
3. Bias Current: Karakteristik bias current mengakibatkan adanya arus yang mengalir ke terminal inverting dan non-inverting. Dalam rangkaian inverting amplifier, bias current akan menghasilkan arus bias pada resistor R_1 dan R_2 . Dalam analisis ini, kita akan mempertimbangkan bias current sebagai sumber arus bias pada rangkaian.

Dengan mempertimbangkan karakteristik non-ideal tersebut, kita dapat melakukan analisis rangkaian untuk menghitung tegangan output (V_{out}) dengan memasukkan nilai-nilai offset voltage, offset current, dan bias current yang dimiliki oleh OP-AMP. Analisis ini memungkinkan kita untuk memperhitungkan efek non-ideal OP-AMP dalam merancang dan mengoperasikan rangkaian.

G. Rangkaian multistage OP-AMP

Rangkaian multistage OP-AMP adalah penggunaan beberapa tahap OP-AMP yang dikombinasikan dalam satu rangkaian untuk meningkatkan penguatan dan kinerja keseluruhan. Dalam rangkaian multistage, keluaran satu tahap OP-AMP dihubungkan ke masukan tahap berikutnya, membentuk rantai penguatan bertingkat.



Penggunaan rangkaian multistage OP-AMP memiliki beberapa keuntungan:

1. Penguatan yang lebih tinggi: Dengan mengkombinasikan beberapa tahap OP-AMP, penguatan total dari rangkaian dapat ditingkatkan secara signifikan. Setiap tahap OP-AMP memberikan penguatan tambahan, sehingga secara kumulatif menghasilkan penguatan yang lebih tinggi daripada yang dapat dicapai dengan satu tahap OP-AMP.
2. Perbaikan linearitas: Rangkaian multistage OP-AMP dapat membantu meningkatkan linearitas keseluruhan. Setiap tahap OP-AMP memiliki batas penguatan maksimum, yang jika terlampaui dapat menghasilkan distorsi pada sinyal keluaran. Dengan menggunakan beberapa tahap OP-AMP yang memiliki

penguatan yang lebih rendah secara individual namun dikombinasikan secara kumulatif, distorsi dapat dikurangi dan linearitas dapat ditingkatkan.

3. Penurunan tingkat kebisingan: Dalam rangkaian multistage, sinyal keluaran dari tahap pertama dapat diperkuat oleh tahap-tahap berikutnya. Dalam proses ini, rasio sinyal terhadap kebisingan (SNR) dapat ditingkatkan karena sinyal terus diperkuat, sementara tingkat kebisingan yang dihasilkan oleh tahap awal tetap relatif konstan. Hal ini membantu meningkatkan kualitas sinyal yang dihasilkan.
4. Peningkatan bandwidth: Rangkaian multistage OP-AMP juga dapat membantu meningkatkan bandwidth keseluruhan. Setiap tahap OP-AMP memiliki batas bandwidth maksimum, tetapi dengan menggunakan beberapa tahap yang dikombinasikan, respons frekuensi yang lebih luas dapat dicapai. Tahap-tahap berikutnya dapat membantu dalam memperluas respons frekuensi keseluruhan dan mempertahankan kualitas sinyal di frekuensi yang lebih tinggi.

Pada dasarnya, penggunaan rangkaian multistage OP-AMP memungkinkan kita untuk mengkombinasikan keunggulan dari setiap tahap OP-AMP individu, seperti penguatan tinggi, linearitas yang baik, rendahnya tingkat kebisingan, dan bandwidth yang luas. Hal ini dapat meningkatkan kinerja keseluruhan rangkaian, membuatnya lebih cocok untuk aplikasi yang membutuhkan penguatan yang signifikan dan kualitas sinyal yang baik.

