

BAB 14 RANGKAIAN APLIKASI

12.1. Buffer, Adder, Subtractor, Differentiator, Integrator

12.1.1. Buffer

Rangkaian *buffer* adalah rangkaian di mana tegangan output sama dengan tegangan input atau rangkaian dengan nilai penguatan sama dengan satu. Rangkaian ini berfungsi sebagai penyangga, di mana menguatkan arus output tanpa menguatkan tegangan. Rangkaian buffer dengan op-amp lebih mudah dengan cara membuat rangkaian hubung singkat pada sisi output terhadap *input inverting*.



Gambar 12.1 Rangkaian buffer.

Pada Gambar 12.1 dengan op-amp ideal diperoleh bahwa:

$$V_o = V_i$$

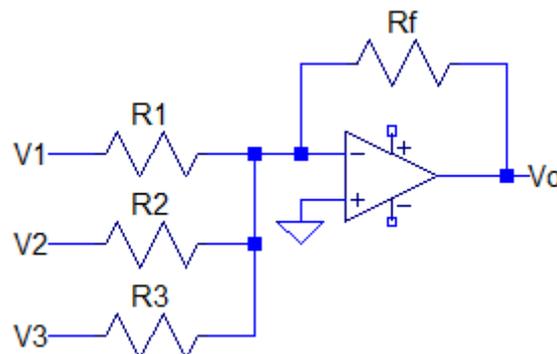
$$\frac{V_o}{V_i} = 1$$

Pada penurunan rumus di atas diperoleh bahwa penguatan rangkaian *buffer* adalah satu, artinya tidak terjadi penguatan pada *output*. Aplikasi rangkaian *buffer* pada rangkaian elektronika adalah sebagai penstabil sinyal.

12.1.2. Adder

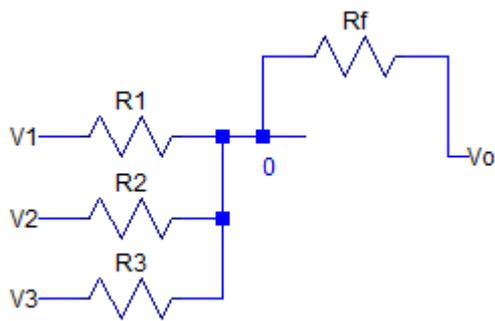
Rangkaian adder (penjumlah) dengan op-amp adalah rangkaian konfigurasi op-amp di mana mempunyai input lebih dari satu dengan hasil output adalah linier terhadap penjumlahan sinyal input dengan penguatan op-amp yang ada. Rangkaian adder dapat merupakan penjumlahan sinyal pada terminal inverting maupun terminal non-inverting.

Rangkaian Adder Inverting



Gambar 12.2 Adder Inverting.

Pada saat analisis kondisi op-amp ideal diperoleh bahwa pada terminal non-inverting terdapat ground dengan potensial sebesar nol akan sama dengan terminal invertingnya:



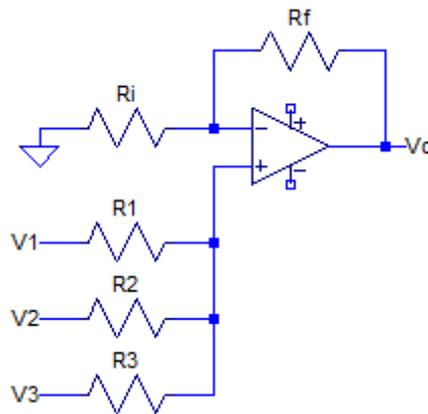
Dengan analisis node pada potensial nol, maka:

$$\frac{0 - V_o}{R_f} + \frac{0 - V_1}{R_1} + \frac{0 - V_2}{R_2} + \frac{0 - V_3}{R_3} = 0$$

sehingga:

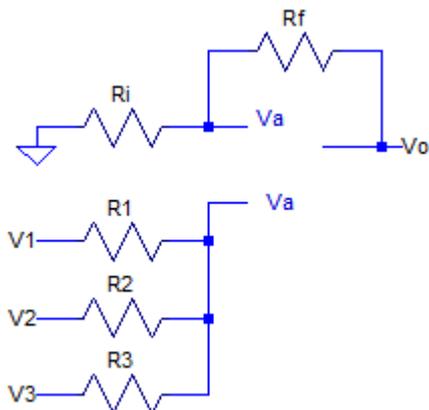
$$V_o = -\left(\frac{R_f}{R_1}V_1 + \frac{R_f}{R_2}V_2 + \frac{R_f}{R_3}V_3\right)$$

Rangkaian Adder Non-Inverting



Gambar 12.3 Adder Non-Inverting

Analisis pada kondisi ideal diperoleh:



Node Va:

$$\frac{V_a - V_o}{R_f} + \frac{V_a - 0}{R_i} = 0$$

$$V_a = \frac{R_i}{R_i + R_f}V_o$$

Node Va:

$$\frac{V_a - V_1}{R_1} + \frac{V_a - V_2}{R_2} + \frac{V_a - V_3}{R_3} = 0$$

Jika $R_1 = R_2 = R_3$, maka:

$$3V_a = V_1 + V_2 + V_3$$

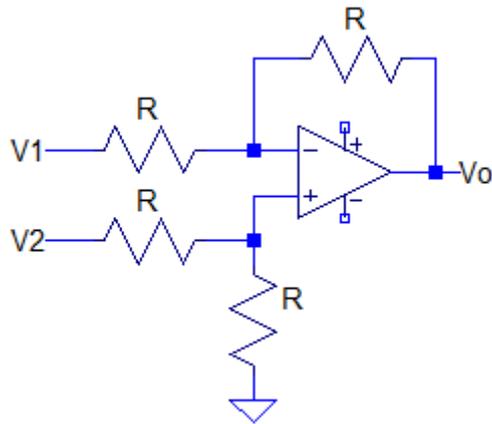
$$3\frac{R_i}{R_i + R_f}V_o = V_1 + V_2 + V_3$$

$$V_o = \left(1 + \frac{R_f}{R_i}\right)\left(\frac{V_1 + V_2 + V_3}{3}\right)$$

Rangkaian adder non-inverting jarang digunakan pada aplikasi rangkaian elektronika, karena hasil penjumlahan masih merupakan rata-rata dari inputnya.

12.1.3. Subtraktor

Rangkaian subtraktor (pengurang) merupakan rangkaian konfigurasi op-amp yang berfungsi untuk melakukan pengurangan antara 2 buah atau lebih input. Output akan memiliki keluaran yang merupakan selisih dari input terminal non-inverting terhadap input terminal inverting.

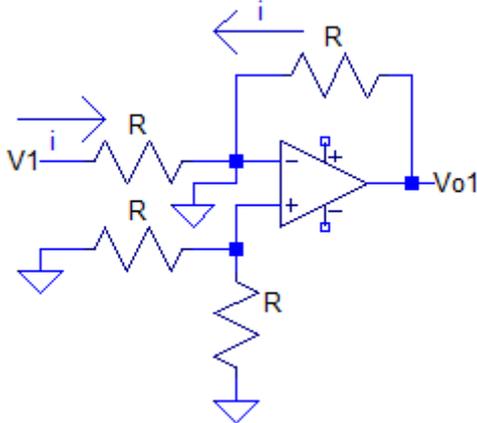


Gambar 12.4 Rangkaian subtraktor.

Teorema Superposisi:

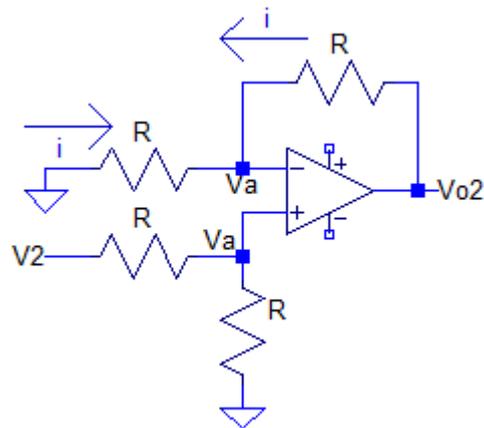
Pada saat V1 “on” V2 “off”, terlihat bahwa pada terminal non-inverting untuk analisis dioda ideal arus yang masuk sama dengan nol sehingga drop tegangan pada resistansi di terminal non-inverting adalah nol. Dengan demikian pada terminal inverting besar potensialnya sama dengan nol.

Pada saat V1 “off” V2 “on”, dengan analisis op-amp ideal dan dengan bantuan node Va, maka diperoleh untuk node Va:



$$i = -i$$

$$\frac{V_i - 0}{R} = -\frac{V_{o1} - 0}{R} \Rightarrow V_{o1} = -V_1$$



$$i = -i$$

$$\frac{0 - V_a}{R} = -\frac{V_{o2} - V_a}{R} \Rightarrow V_a = \frac{V_{o2}}{2}$$

$$\frac{V_2 - V_a}{R} = \frac{V_a - 0}{R}$$

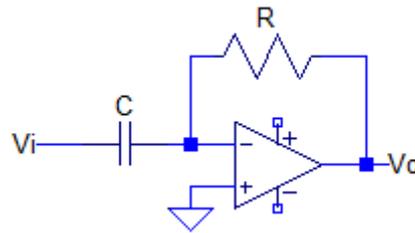
$$\frac{V_2 - V_{o2}/2}{R} = \frac{V_{o2}/2}{R} \Rightarrow V_{o2} = V_2$$

$$V_o = V_2 - V_1$$

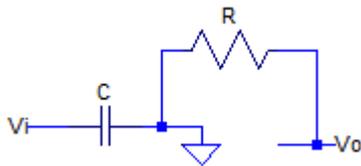
12.1.4. Diferensiator

Rangkaian diferensiator (*differentiator*) adalah rangkaian aplikasi elektronika yang dipengaruhi kinerja dari kapasitor. Fungsi rangkaian ini adalah menghasilkan tegangan output yang dihasilkan dari tegangan input yang terdiferensiasi waktu. Rangkaian diferensiator juga merupakan rangkaian filter di mana untuk frekuensi rendah maka pada output nilai tegangannya sama dengan nol karena kapasitor menjadi rangkaian terbuka (*open circuit*), sedangkan pada frekuensi tinggi kapasitor menjadi rangkaian hubung-singkat (*short circuit*) sehingga tegangan

output sama dengan tegangan input. Rangkaian tersebut berperilaku sebagai *High Pass Filter* (HPF). Contoh praktis sinyal input segitiga maka sinyal outputnya segiempat.



Gambar 12.5 Rangkaian diferensiator.



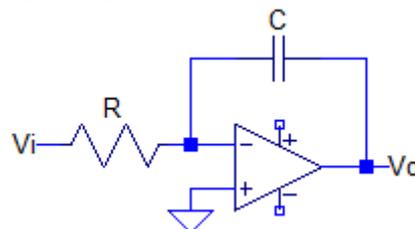
$$-i_i + \frac{0 - V_o}{R} = 0$$

$$-C \frac{dV_i}{dt} = \frac{V_o}{R}$$

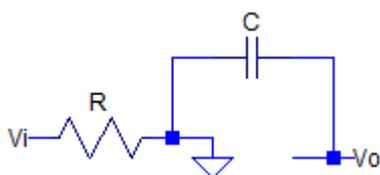
$$V_o = -RC \frac{dV_i}{dt}$$

12.1.5. Integrator

Rangkaian integrator op-amp adalah rangkaian dengan menggunakan op-amp yang difungsikan untuk melakukan operasi matematika integrasi. Banyak digunakan dalam “komputasi sinyal analog” di mana rangkaian ini banyak membantu menyelesaikan persamaan integral. Rangkaian dasar sebuah integrator adalah rangkaian op-amp inverting, hanya saja rangkaian umpan baliknya (*feedback*) bukan resistor melainkan menggunakan kapasitor. Rangkaian integrator dapat juga difungsikan sebagai sebuah filter, di mana pada saat frekuensi rendah maka kapasitor pada rangkaian feedback-nya menjadi terbuka sehingga tegangan output sama dengan tegangan input sedangkan pada saat frekuensi tinggi nilai kapasitor menjadi hubung-singkat atau nilai potensialnya sama dengan nol. Rangkaian filter tersebut adalah *Low Pass Filter* (LPF) dan rangkaian ini mengubah sinyal input segiempat menjadi sinyal output segitiga.



Gambar 12.6 Rangkaian integrator.



$$\frac{0 - V_i}{R} - i_c = 0$$

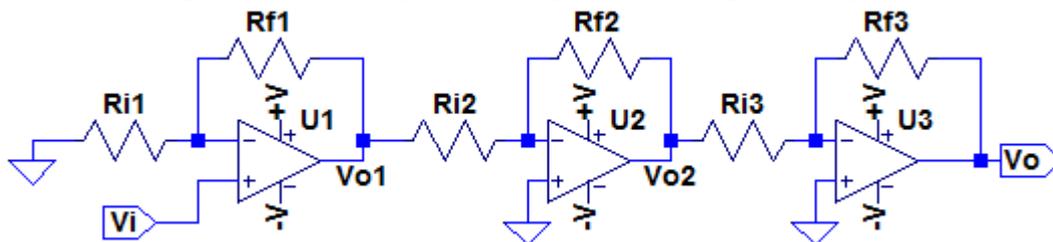
$$\frac{V_i}{R} = -C \frac{dV_o}{dt}$$

$$V_o = -\frac{1}{RC} \int V_i dt$$

12.2. Penguat Bertingkat Op-Amp

Rangkaian penguat bertingkat op-amp merupakan rangkaian yang disusun dari hubungan dua atau lebih penguat op-amp di mana keluaran dari satu op-amp menjadi masukan untuk op-amp

yang lainnya. Dimaksudkan untuk mendapatkan penguatan yang lebih besar lagi. Keunggulan rangkaian penguat operasional (Op-Amp) adalah bahwa mereka dapat dihubungkan secara bertingkat tanpa menyebabkan perubahan hubungan masukan-keluaran dari masing-masing rangkaian. Rangkaian penguat operasional (Op-Amp) mempunyai resistansi keluaran nol. Oleh karena itu pada hubungan bertingkat tidak terjadi pengaruh pembebanan pada rangkaian penguat operasional (Op-Amp) dan dengan demikian tidak mengubah hubungan masukan-keluaran. Walaupun demikian, daya yang diperlukan oleh suatu tingkat harus masih dalam batas kemampuan daya tingkat di depannya. Oleh karena itu kita perlu mengetahui resistansi masukan rangkaian penguat operasional (Op-Amp) agar kita dapat melakukan evaluasi apakah keperluan daya suatu tingkat tidak melampaui kemampuan daya tingkat di depannya.



Gambar 12.7 Penguat bertingkat.

$$A_V = \frac{V_o}{V_i} = \frac{V_o}{V_{o2}} \frac{V_{o2}}{V_{o1}} \frac{V_{o1}}{V_i}$$

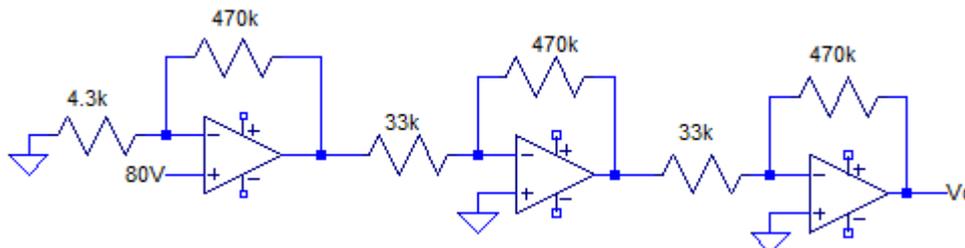
$$\frac{V_o}{V_{o2}} = -\frac{R_{f3}}{R_{i3}}$$

$$\frac{V_{o2}}{V_{o1}} = -\frac{R_{f2}}{R_{i2}}$$

$$\frac{V_{o1}}{V_i} = 1 + \frac{R_{f1}}{R_{i1}}$$

$$A_V = \frac{V_o}{V_i} = \frac{R_{f3}}{R_{i3}} \frac{R_{f2}}{R_{i2}} \left(1 + \frac{R_{f1}}{R_{i1}}\right)$$

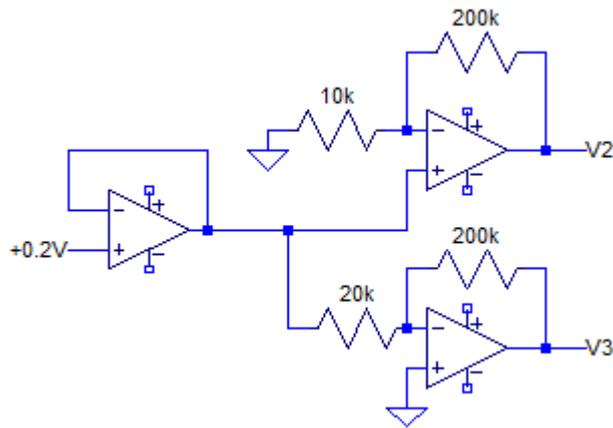
Contoh soal 12.1 Tentukan



Jawaban:

$$V_o = \left(1 + \frac{470k}{4,3k}\right) 80V \left[-\frac{470k}{33k}\right] \left[-\frac{470k}{33k}\right] = 1,79V$$

Contoh soal 12.2 Tentukan



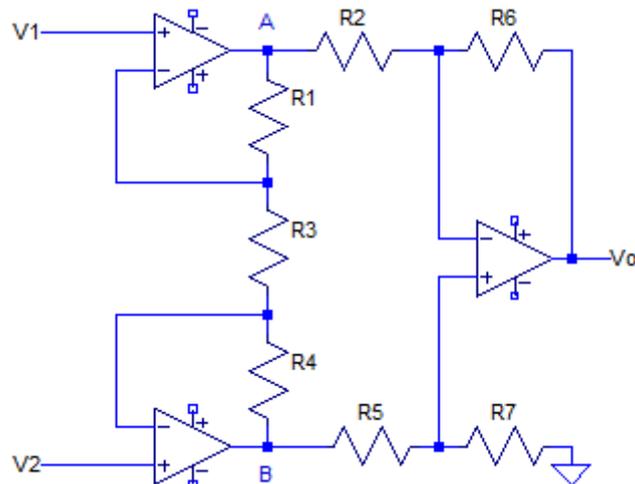
Jawaban:

$$V_2 = -\frac{200k}{20k} 0,2 = -2V$$

$$V_3 = \left(1 + \frac{200k}{10k}\right) 0,2 = +4,2V$$

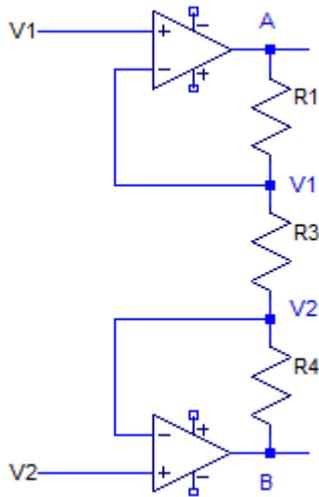
12.3. Penguat Instrumentasi

Penguat instrumentasi adalah suatu penguat *loop* tertutup dengan input diferensial dan penguatannya dapat diatur tanpa mempengaruhi *Common Mode Rejection Ratio* (CMRR).



Gambar 12.8 Penguat instrumentasi.

Analisis:

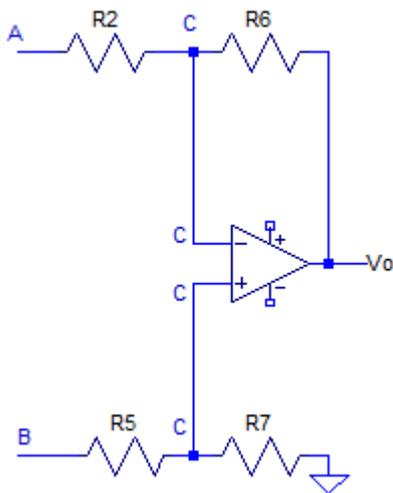


Kondisi ideal op-amp arus pada terminal inverting untuk kedua op-amp tersebut adalah nol, sehingga semua resistor dianggap hubung seri.

$$V_1 - V_2 = \frac{R_3}{R_1 + R_2 + R_3} (V_A - V_B)$$

Sehingga:

$$V_A - V_B = \frac{R_1 + R_2 + R_3}{R_3} (V_1 - V_2)$$



Node Vc bawah:

$$\frac{V_C - V_B}{R_5} + \frac{V_C - 0}{R_7} = 0$$

$$V_C = \frac{R_7}{R_7 + R_5} V_B$$

Node Vc atas:

$$\frac{V_C - V_A}{R_2} + \frac{V_C - V_o}{R_6} = 0$$

$$V_C \left(\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_6} \right) - \frac{V_A}{R_2} = \frac{V_o}{R_6}$$

$$\frac{R_7}{R_7 + R_5} V_B \left(\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_6} \right) - \frac{V_A}{R_2} = \frac{V_o}{R_6}$$

$$V_o = \left(\frac{R_7}{R_7 + R_5} \right) \left(\frac{R_2 + R_6}{R_2} \right) V_B - \frac{R_6}{R_2} V_A$$

Jika $R_1 = R_2 = R_4 = R_5 = R_6 = R_7 = R$, maka:

$$V_A - V_B = \frac{R_1 + R_2 + R_3}{R_3} (V_1 - V_2)$$

$$V_A - V_B = \frac{2R + R_3}{R_3} (V_1 - V_2)$$

$$V_A - V_B = \left(1 + \frac{2R}{R_3} \right) (V_1 - V_2)$$

dan

$$V_o = \left(\frac{R_7}{R_7 + R_5} \right) \left(\frac{R_2 + R_6}{R_2} \right) V_B - \frac{R_6}{R_2} V_A$$

$$V_o = \left(\frac{R}{2R} \right) \left(\frac{2R}{R} \right) V_B - \frac{R}{R} V_A$$

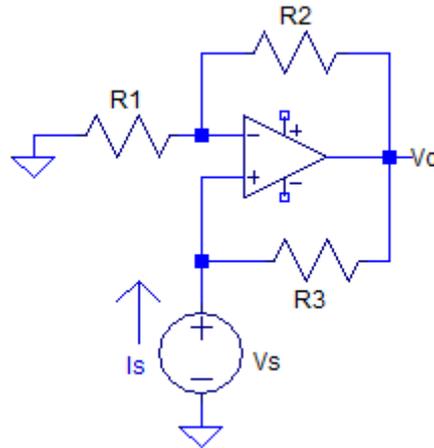
$$V_o = V_A - V_B$$

Sehingga:

$$V_o = \left(1 + \frac{2R}{R_3} \right) (V_1 - V_2)$$

12.4. Negative Impedance Converter (NIC) –GIC

NIC adalah rangkaian op-amp yang berfungsi sebagai beban negatif yang menyuntikkan energi ke rangkaian berbeda dengan beban biasa yang mengkonsumsi energi darinya. Hal ini dicapai dengan menambahkan atau Mengurangkan tegangan berlebih secara seri ke drop tegangan pada impedansi ekuivalen positif. Hal ini membalikkan polaritas tegangan atau arah arus dan memperkenalkan pergeseran fasa 180° antara tegangan dan arus untuk setiap sinyal generator. NIC terdiri dari dua yaitu VNIC (NIC untuk pembalik tegangan) dan INIC (NIC untuk pembalik arus).



Gambar 12.9 Rangkaian NIC.

Untuk analisis rangkaian di atas untuk kondisi op-amp ideal maka diperoleh pada terminal inverting tegangan yang sama dengan V_s , sehingga:

$$V_o = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) V_s$$

Pada saat V_s menghasilkan arus I_s maka saat arus yang masuk ke terminal non-inverting sama dengan nol, maka:

$$I_s = \frac{V_s - V_o}{R_3} = \frac{V_s - \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) V_s}{R_3} = -\frac{R_2}{R_1 R_3} V_s$$

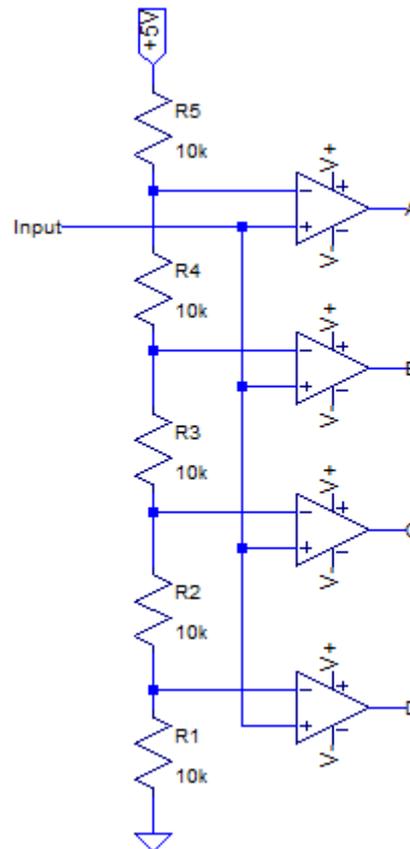
$$R_{in} = \frac{V_s}{I_s} = -R_3 \frac{R_1}{R_2}$$

12.5. Analog Digital Converter (ADC) -DAC

Analog Digital Converter (ADC) adalah perangkat elektronika yang berfungsi untuk mengubah sinyal analog (sinyal kontinu) menjadi sinyal digital, dalam artian sinyal yang awalnya tidak bisa ditentukan nilai numeriknya menjadi sinyal yang mempunyai sifat numerik. Rangkaian ADC memanfaatkan rangkaian pembanding op-amp sebagai rangkaian dasar. Di mana perbedaan yang sedikit pada kedua terminal input op-amp akan menghasilkan tegangan sebesar V_{DD} , V_{CC} , V_{S+} , atau V_+ op-amp. Jika tegangan yang masuk terminal non inverting lebih besar dari terminal inverting maka output op-amp sebesar 1 (*high*) atau sebesar tegangan V_+ nya, demikian juga sebaliknya.

Sebenarnya prinsip dasar ADC muncul dari pemikiran bahwa sinyal analog yang mempunyai amplitudo dari 0 volt sampai dengan tegangan puncak bisa dibagi rata menjadi beberapa potongan atau bagian yang nantinya setiap bagian potongan tersebut mewakili satu

angka numerik atau digital. Sebagai contoh membuat rangkaian ADC dengan menerapkan aturan tegangan per 1 V akan menghasilkan output 1 angka numerik, jika input sinyal analog rangkaian adalah sinyal dengan tegangan 5 V, maka akan dibagi amplitudo 5 V tersebut menjadi 5 bagian dan hasilnya akan didapatkan output dengan jumlah numerik 5.



Gambar 12.10 Rangkaian ADC.

Analisis:

$$V_{R1} = \frac{R1}{R1 + R2 + R3 + R4 + R5} \times 5 = \frac{10k}{50k} \times 5 = 1 \text{ Volt}$$

$$V_{R2} = \frac{R1 + R2}{R1 + R2 + R3 + R4 + R5} \times 5 = \frac{20k}{50k} \times 5 = 2 \text{ Volt}$$

$$V_{R3} = \frac{R1 + R2 + R3}{R1 + R2 + R3 + R4 + R5} \times 5 = \frac{30k}{50k} \times 5 = 3 \text{ Volt}$$

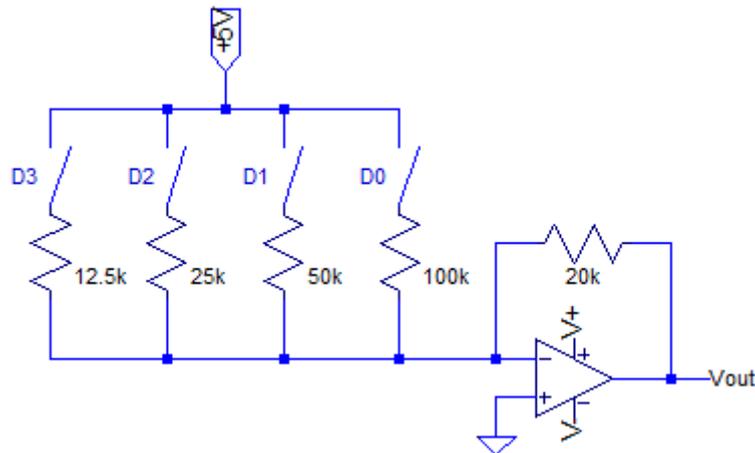
$$V_{R4} = \frac{R1 + R2 + R3 + R4}{R1 + R2 + R3 + R4 + R5} \times 5 = \frac{40k}{50k} \times 5 = 4 \text{ Volt}$$

$$V_{R5} = \frac{R1 + R2 + R3 + R4 + R5}{R1 + R2 + R3 + R4 + R5} \times 5 = \frac{50k}{50k} \times 5 = 5 \text{ Volt}$$

Tabel 12.1 ADC

Tegangan Input (Volt)	Output Op-Amp			
	A	B	C	D
< 1	V-	V-	V-	V-
	0	0	0	0
1 - 2	V-	V-	V-	V+
	0	0	0	1
2 - 3	V-	V-	V+	V+
	0	0	1	1
3 - 4	V-	V+	V+	V+
	0	1	1	1
4 - 5	V+	V+	V+	V+
	1	1	1	1

Digital Analog Converter (DAC) adalah perangkat elektronika yang berfungsi untuk mengubah sinyal digital (diskret) menjadi sinyal analog (kontinu). DAC dapat dibangun menggunakan penguat penjumlah inverting dari sebuah operasional amplifier (Op-Amp) yang diberikan sinyal input berupa data logika digital (0 dan 1).



Gambar 12.11 Rangkaian DAC.

Analisis DAC:

Saat semua saklar dalam kondisi terbuka maka tegangan V_{out} pada op-amp sebesar 0 volt, pada

Saat saklar D0 tertutup maka $V_{out} = -\frac{20k}{100k} \times 5 = -1 \text{ Volt}$

Saat saklar D1 tertutup maka $V_{out} = -\frac{20k}{50k} \times 5 = -2 \text{ Volt}$

Saat saklar D1 dan D0 tertutup maka $V_{out} = -\frac{20k}{50k \parallel 100k} \times 5 = -3 \text{ Volt}$

Saat saklar D2 tertutup maka $V_{out} = -\frac{20k}{25k} \times 5 = -4 \text{ Volt}$

Saat saklar D2 dan D0 tertutup maka $V_{out} = -\frac{20k}{25k \parallel 100k} \times 5 = -5 \text{ Volt}$

demikian seterusnya, dapat dilihat dari tabel berikut:

Tabel 12.2 DAC

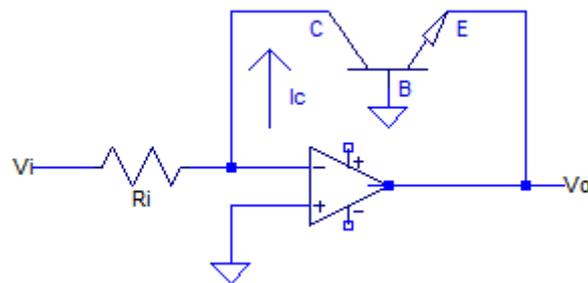
Saklar				Vout (- Volt)
D3	D2	D1	D0	
0	0	0	0	0
0	0	0	1	1
0	0	1	0	2
0	0	1	1	3
0	1	0	0	4
0	1	0	1	5
0	1	1	0	6
0	1	1	1	7
1	0	0	0	8
1	0	0	1	9
1	0	1	0	10
1	0	1	1	11
1	1	0	0	12
1	1	0	1	13
1	1	1	0	14
1	1	1	1	15

12.6. Logaritmik Amplifier

Penguat logaritmik berguna untuk kompresi atau ekspansi amplitudo sinyal. Pada kompresi kegunaannya dimaksudkan untuk sinyal lemah/kecil diperkuat lebih besar dari pada sinyal kuat/besar. Sedangkan pada ekspansi, sinyal lemah/kecil diperkuat lebih kecil dari pada sinyal kuat/besar. Penguat logaritmik adalah penguat dengan tegangan output sebanding dengan logaritma tegangan input.

$$V_o = A \log kV_i$$

dengan A dan k sebuah konstanta



Gambar 12.12 Penguat logaritmik.

Dasar penguat logaritmik adalah hubungan antara arus dan tegangan pada sambungan PN transistor bipolar.

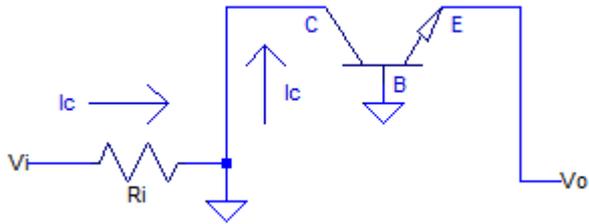
$$I_e = I_o e^{qV_{BE}/kT}$$

di mana I_o adalah arus jenuh, q adalah muatan elektron, k adalah konstanta Boltzman, dan T adalah suhu mutlak. Jika penguatan transistor $\beta \gg 1$, maka arus $I_c = I_e$, sehingga:

$$\ln I_c = \ln I_o e^{qV_{BE}/kT} = \ln I_o + \frac{qV_{BE}}{kT}$$

$$V_{BE} = \frac{kT}{q} \ln \frac{I_c}{I_o}$$

Berdasarkan Gambar 12.11 untuk analisis op-amp ideal, diperoleh:

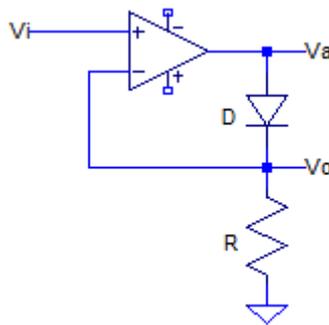


$$I_c = \frac{V_i}{R_i}$$

$$V_o = -V_{BE} = -\frac{kT}{q} \ln \frac{I_c}{I_o} = -\frac{kT}{q} \ln \frac{V_i}{R_i I_o}$$

12.7. Dioda Super

Penyearah presisi, juga dikenal sebagai **dioda super**, adalah konfigurasi yang diperoleh dengan penguat operasional agar rangkaian berperilaku seperti dioda dan penyearah ideal. Hal ini berguna untuk pemrosesan sinyal presisi tinggi. Dioda super digunakan untuk menyearahkan sinyal yang kecil (pada orde 100 mV) atau yang memerlukan presisi yang tinggi. Dioda super terdiri dari op-amp dengan dioda ditempatkan pada jalur umpan-balik negatif dan R merupakan resistansi beban.



Gambar 12.13 Dioda super.

Cara kerja:

Jika V_i positif, tegangan keluaran op-amp V_a akan positif dan dioda akan terhubung, sehingga membentuk jalur umpan-balik tertutup antara terminal keluaran op-amp dengan terminal masukan negatif. Jalur umpan balik negatif ini akan menyebabkan hubung-singkat semu di antara kedua terminal masukan. Jadi tegangan pada terminal masukan negatif yang sama dengan tegangan keluaran akan sama dengan tegangan masukan pada terminal masukan positif.

$$V_o = V_i \quad V_i \geq 0$$

Op-amp dapat beroperasi dengan V_i hanya sedikit lebih besar dari penurunan tegangan dioda dibagi dengan penguatan op-amp loop terbuka.

Jadi transfer karakteristik $V_o - V_i$ yang berupa garis lurus hampir melalui titik nol, sehingga rangkaian ini cocok digunakan untuk sinyal yang sangat kecil.

Ketika tegangan V_i negatif, tegangan keluaran op-amp V_a akan menjadi negatif. Hal ini akan menyebabkan dioda dalam keadaan reverse biased, tidak ada arus yang melalui R, sehingga V_o sama dengan nol. Jadi untuk $V_i < 0$, $V_o = 0$, dan op-amp bekerja dalam mode loop terbuka.

