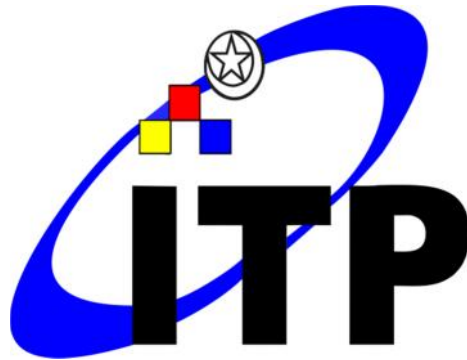


MAKALAH ELEKTRONIKA ANALOG  
ADVANCED OPERATIONAL AMPLIFIER CIRCUITS



DISUSUN OLEH

MASRIAL ZULNI                      2018310028

ILHAM SAPUTRA                      2018310027

SEPDI YALDO RISWANTO   2018310016

GEMA ANWARI SIREGAR   2018310030

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

INSTITUT TEKNOLOGI PADANG

2019

## **KATA PENGANTAR**

Puji syukur Kami panjatkan kehadirat Allah SWT, karena atas Rahmat dan Hidayahnya, Kami dapat menyelesaikan Makalah yang berjudul “**Advanced operational amplifier circuits**” tepat pada waktunya. Makalah ini dibuat dengan sebaik-baiknya. Kami menyadari bahwa makalah ini belum sepenuhnya sempurna, karena itu kami mengharapkan kritik dan saran dari pembaca.

Demikianlah makalah yang dapat kami susun, harapan kami semoga makalah ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Padang, 18 Februari 2019

Penyusun

<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>i</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>ii</b>
<b>BAB I</b>	
<b>PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
A. <b>LATAR BELAKANG .....</b>	<b>1</b>
<b>BAB II</b>	
<b>ISI .....</b>	<b>2</b>
2.1. Pengertian Integrator .....	2
2.2. Pengertian Differentiations .....	4
2.3. Feedback .....	5
2.4. oscillator .....	7
2.5. Active Filter .....	8
2.6 Analog To Digital and Digital To Analog .....	<b>10</b>
<b>BAB III</b>	
<b>PENUTUP .....</b>	<b>16</b>
3.1. Kesimpulan .....	16
3.2. Saran .....	16
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>17</b>

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **A. LATAR BELAKANG**

Operasional amplifier (Op-Amp) adalah suatu penguat berpenguatan tinggi yang terintegrasi memiliki 2 input dan 1 output, dimana rangkaian umpan balik dapat ditambahkan untuk mengendalikan karakteristik tanggapan keseluruhan pada operasional amplifier (Op-Amp). Op-amp ini digunakan untuk membentuk fungsi-fungsi linier yang bermacam-macam atau dapat juga digunakan untuk operasi-operasi tak linier, dan seringkali disebut sebagai rangkaian terpadat linier dasar.

Prinsip kerja sebuah operasional Amplifier (Op-Amp) adalah membandingkan nilai kedua input (input inverting dan input non-inverting), apabila kedua input bernilai sama maka output Op-amp tidak ada (nol) dan apabila terdapat perbedaan nilai input keduanya maka output Op-amp akan memberikan tegangan output. Operasional amplifier (Op-Amp) dibuat dari Karakteristik operasional amplifier (Op-Amp) tidak tergantung temperatur / suhu. Penguat differential merupakan suatu penguat yang bekerja dengan memperkuat sinyal yang merupakan selisih dari kedua masukan

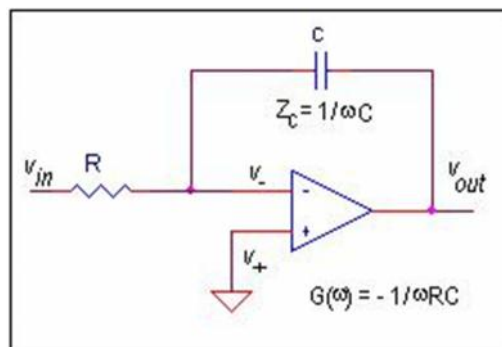
Penguat operational amplifier pada umumnya tersedia dalam bentuk sirkuit terpadu dan paling banyak digunakan adalah rangkaian seri. Penguat operational dalam bentuk terpadu memiliki karakteristik yang mendekati. Karakteristik penguat operational ideal tanpa perlu memperhatikan apa yang terdapat didalamnya.

## BAB II

### ISI

#### ❖ INTEGRATOR

Opamp bisa juga digunakan untuk membuat rangkaian-rangkaian dengan respons frekuensi, misalnya rangkaian penapis (filter). Salah satu contohnya adalah rangkaian integrator seperti yang ditunjukkan pada gambar 3. Rangkaian dasar sebuah integrator adalah rangkaian op-amp inverteng, hanya saja rangkaian umpanbaliknya (*feedback*) bukan resistor melainkan menggunakan kapasitor C.



gambar 3 : integrator

Mari kita coba menganalisa rangkaian ini. Prinsipnya sama dengan menganalisa rangkaian op-amp inverteng. Dengan menggunakan 2 aturan op-amp (*golden rule*) maka pada titik inverteng akan didapat hubungan matematis :

$$i_{in} = (v_{in} - v_-)/R = v_{in}/R, \text{ dimana } v_- = 0 \text{ (aturan 1)}$$

$$i_{out} = -C d(v_{out} - v_-)/dt = -C dv_{out}/dt; v_- = 0$$

$$i_{in} = i_{out} ; \text{ (aturan 2)}$$

Maka jika disubstitusikan, akan diperoleh persamaan :

$i_{in} = i_{out} = v_{in}/R = -C dv_{out}/dt$ , atau dengan kata lain

$$V_{out} = -1/RC \int_{t_0}^{t_1} v_{in} dt \quad \dots(3)$$

Dari sinilah nama rangkaian ini diambil, karena secara matematis tegangan keluaran rangkaian ini merupakan fungsi integral dari tegangan input. Sesuai dengan nama penemunya, rangkaian yang demikian dinamakan juga rangkaian **Miller Integral**. Aplikasi yang paling populer menggunakan rangkaian integrator adalah rangkaian pembangkit sinyal segitiga dari inputnya yang berupa sinyal kotak.

Dengan analisa rangkaian integral serta notasi Fourier, dimana

$$f = 1/t \text{ dan}$$

$$\omega = 2\pi f \quad \dots(4)$$

penguatan integrator tersebut dapat disederhanakan dengan rumus

$$G(\omega) = - 1/\omega RC \quad \dots(5)$$

Sebenarnya rumus ini dapat diperoleh dengan cara lain, yaitu dengan mengingat rumus dasar penguatan opamp inverting

$G = - R_2/R_1$ . Pada rangkaian integrator (gambar 3) tersebut diketahui

$$\begin{aligned} R_1 &= R \\ R_2 &= Z_c = 1/\omega C \end{aligned}$$

Dengan demikian dapat diperoleh penguatan integrator tersebut seperti persamaan (5) atau agar terlihat respons frekuensinya dapat juga ditulis dengan

$$G(f) = - 1/2\pi f RC \quad \dots(6)$$

Karena respons frekuensinya yang demikian, rangkaian integrator ini merupakan dasar dari low pass filter. Terlihat dari rumus tersebut secara matematis, penguatan akan semakin kecil (meredam) jika frekuensi sinyal input semakin besar.

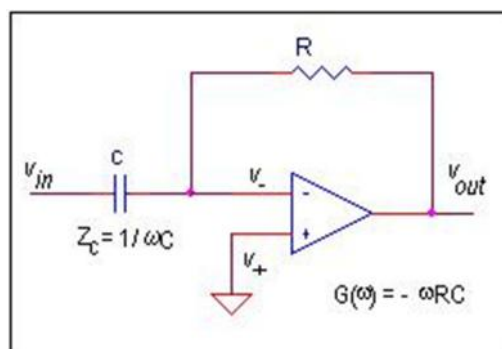
Pada prakteknya, rangkaian *feedback* integrator mesti diparalel dengan sebuah resistor dengan nilai misalnya 10 kali nilai R atau satu besaran tertentu yang diinginkan. Ketika inputnya berupa sinyal dc (frekuensi = 0), kapasitor akan berupa saklar terbuka. Jika tanpa resistor feedback seketika itu juga outputnya akan saturasi sebab rangkaian umpanbalik op-amp menjadi open loop (penguatan open loop opamp ideal tidak berhingga atau sangat besar). Nilai resistor feedback sebesar 10R akan selalu menjamin *output offset voltage* (offset tegangan keluaran) sebesar 10x sampai pada suatu frekuensi *cutoff* tertentu.

#### ❖ **Differensiator**

Kalau komponen C pada rangkaian penguat inverting di tempatkan di depan, maka akan diperoleh rangkaian differensiator seperti pada gambar 4. Dengan analisa yang sama seperti rangkaian integrator, akan diperoleh persamaan penguatannya :

$$v_{out} = - RC \frac{dv_{in}}{dt} \dots(7)$$

Rumus ini secara matematis menunjukkan bahwa tegangan keluaran  $v_{out}$  pada rangkaian ini adalah differensiasi dari tegangan input  $v_{in}$ . Contoh praktis dari hubungan matematis ini adalah jika tegangan input berupa sinyal segitiga, maka outputnya akan menghasilkan sinyal kotak.



gambar 4 : differensiator

Bentuk rangkain differensiator adalah mirip dengan rangkaian inverting. Sehingga jika berangkat dari rumus penguat inverting

$$G = -R_2/R_1$$

dan pada rangkaian differensiator diketahui :

$$R_2 = R$$
$$R_1 = Z_c = 1/\omega C$$

maka jika besaran ini disubtitusikan akan didapat rumus penguat differensiator

$$G(\omega) = - \omega RC \quad \dots(8)$$

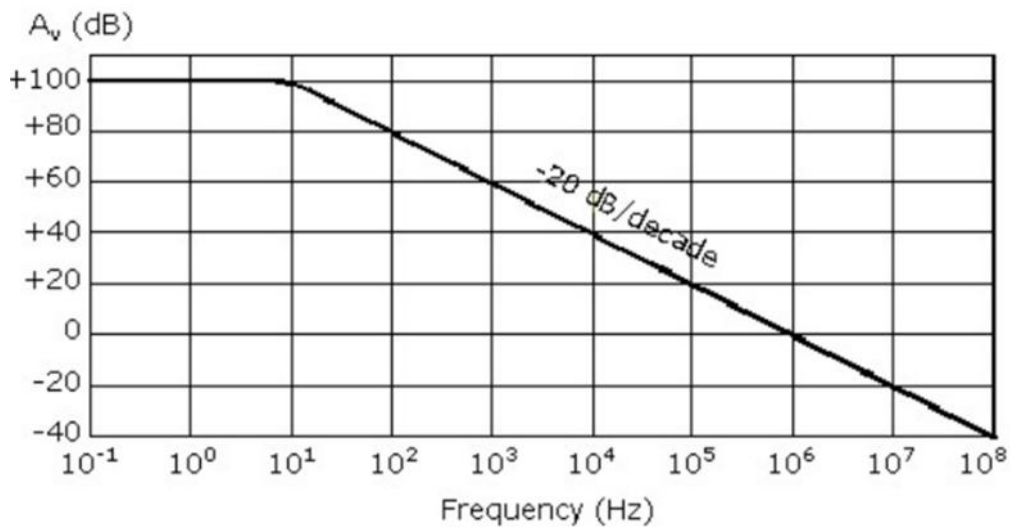
Dari hubungan ini terlihat sistem akan meloloskan frekuensi tinggi (*high pass filter*), dimana besar penguatan berbanding lurus dengan frekuensi. Namun demikian, sistem seperti ini akan menguatkan noise yang umumnya berfrekuensi tinggi. Untuk praktisnya, rangkain ini dibuat dengan penguatan dc sebesar 1 (*unity gain*). Biasanya kapasitor diseri dengan sebuah resistor yang nilainya sama dengan R. Dengan cara ini akan diperoleh penguatan 1 (*unity gain*) pada nilai frekuensi *cutoff* tertentu.

#### ❖ FEED BACK

Umpan Balik (Feedback) Secara umum, skema dasar sebuah sistem penguat berumpan balik. Umpan Balik dalam Penguat Operasional Seperti dibahas sebelumnya, op-amp praktis memiliki gain yang tinggi di bawah kondisi dc (frekuensi nol) dan penguatan berkurang dengan meningkatnya frekuensi. Ketergantungan frekuensi ini dibangun ke dalam op-amp melalui jaringan kompensasi internal untuk meningkatkan kinerja dan stabilitas. Selain kompensasi bawaan ini, banyak op-amp dirancang untuk memungkinkan pemilihan jaringan kompensasi eksternal yang memungkinkan



peningkatan kinerja lebih lanjut dan tercermin dalam bentuk plot amplifier Bode.



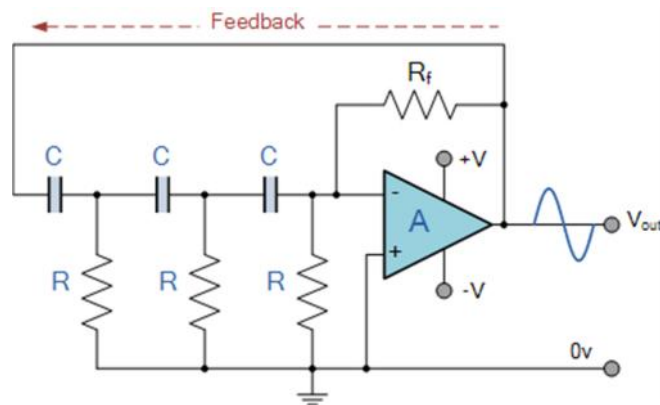
Gambar 11.7, yang direproduksi di bawah, adalah plot garis lurus dari frekuensi loop terbuka gain versus untuk 741 op-amp yang khas. Perhatikan bahwa kurva mengikuti bentuk jaringan kompensasi kutub tunggal, dengan roll  $-20$  dB / dekade setelah frekuensi sudut ( $f_0$  atau  $\omega_0$ ). Perhatikan juga bahwa produk bandwidth gain (GBP) tetap konstan pada rentang operasional yang ditentukan untuk perangkat ini. Ekspresi analitik untuk respons frekuensi jenis ini dikembangkan di Bagian H7 dan diulangi di bawah ini:

$$G(s) = \frac{G_o}{1 + s/\omega_0}$$

Mengetahui bentuk hubungan ini, kita dapat mengambil informasi dari gambar di atas. Frekuensi sudut adalah  $f_0 = 10$  Hz atau, untuk menyatakan dalam form compatible dengan persamaan di atas,  $\omega_0 = 2\pi(10) = 20\pi$  radian / detik. Gain tegangan frekuensi nol,  $G_o$ , adalah 100 dB atau 105 V / V.

## ❖ OSCILLATOR

Ketika digunakan sebagai oscillator RC, penguat operasional RC oscillator lebih umum dari rekan-rekan transistor bipolar. Rangkaian oscillator terdiri dari penguat operasional gain negatif dan jaringan RC tiga bagian yang menghasilkan pergeseran fasa 180°. Jaringan pergeseran fasa terhubung dari keluaran op-amp ke input pembalik seperti pada gambar dibawah ini



Karena umpan balik terhubung ke input pembalik, maka penguat operasional terhubung dalam konfigurasi "penguat pembalik" yang menghasilkan pergeseran fasa 180° yang diperlukan sementara jaringan RC menghasilkan pergeseran fasa 180° lainnya pada frekuensi yang diperlukan ( $180^\circ + 180^\circ$ ).

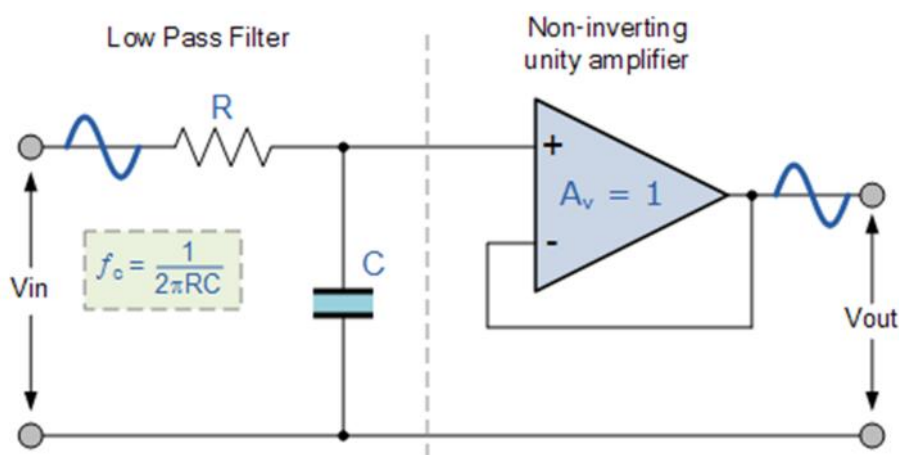
Meskipun dimungkinkan untuk melakukan cascade bersama hanya dua tahap RC kutub tunggal untuk memberikan perubahan fasa 180° ( $90^\circ + 90^\circ$ ) yang diperlukan, stabilitas osilator pada frekuensi rendah umumnya buruk.

## ❖ ACTIVE FILTER

### Filter Low Pass Aktif

Filter aktif yang paling umum dan mudah dipahami adalah Filter Low Pass Aktif. Prinsip operasi dan respons frekuensinya persis sama dengan yang digunakan untuk filter pasif yang terlihat sebelumnya, satu-satunya perbedaan kali ini adalah menggunakan op-amp untuk penguatan dan kontrol gain. Bentuk paling sederhana dari filter aktif low pass adalah menghubungkan penguat pembalik atau non-pembalik, sama seperti yang dibahas dalam tutorial Op-amp, ke sirkuit dasar filter low pass RC seperti yang ditunjukkan.

### Filter Low Pass Orde Pertama



Filter aktif low-order low-order ini, hanya terdiri dari tahap filter RC pasif yang menyediakan jalur frekuensi rendah ke input penguat operasional non-pembalik. Penguat dikonfigurasi sebagai pengikut-tegangan (Buffer) yang memberinya penguatan DC sebesar satu,  $A_v = +1$  atau gain yang berlawanan dengan filter RC pasif sebelumnya yang memiliki gain DC kurang dari satu.

Keuntungan dari konfigurasi ini adalah bahwa impedansi input op-amp yang tinggi mencegah pembebanan yang berlebihan pada output filter sedangkan impedansi output yang rendah mencegah titik frekuensi cut-off filter dari dipengaruhi oleh perubahan impedansi beban.

Meskipun konfigurasi ini memberikan stabilitas yang baik ke filter, kelemahan utamanya adalah tidak ada kenaikan tegangan di atas filter. Namun, meskipun gain tegangan adalah satu, gain daya sangat tinggi karena impedans outputnya jauh lebih rendah daripada impedansi inputnya. Jika diperlukan peningkatan tegangan lebih dari satu, kita dapat menggunakan rangkaian filter berikut.

### Active Low Pass Filter with Amplification

Respons frekuensi rangkaian akan sama dengan yang untuk filter RC pasif, kecuali bahwa amplitudo output ditingkatkan oleh kenaikan pass band, AF dari amplifier. Untuk rangkaian penguat non-pembalikan, besarnya penguatan tegangan untuk filter diberikan sebagai fungsi dari resistor umpan balik (R2) dibagi dengan nilai input resistor (R1) yang sesuai dan diberikan sebagai:

$$\text{DC gain} = \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right)$$

Oleh karena itu, penguatan filter low pass aktif sebagai fungsi frekuensi adalah:

Dapatkan filter low pass orde pertama

$$\text{Voltage Gain, } (A_v) = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{A_F}{\sqrt{1 + \left(\frac{f}{f_c}\right)^2}}$$

Frequency Gain in Decibels

Dimana:

AF = penguatan band pass filter, (1 R2 / R1)

f = frekuensi sinyal input dalam Hertz, (Hz)

fc = frekuensi cut-off dalam Hertz, (Hz)

Dengan demikian, pengoperasian filter aktif low pass dapat diverifikasi dari persamaan gain frekuensi di atas sebagai:

1. Pada frekuensi yang sangat rendah,  $f \ll f_c$  diperoleh pada frekuensi rendah
2. Pada frekuensi cut-off,  $f = f_c$  pada frekuensi rendah cut-off
3. Pada frekuensi sangat tinggi,  $f \gg f_c$  diperoleh pada frekuensi tinggi

Dengan demikian, Active Low Pass Filter memiliki gain gain AF konstan dari 0Hz ke titik batas frekuensi tinggi,  $f_c$ . Pada  $f_c$ , gainnya adalah  $0,707AF$ , dan setelah  $f_c$  berkurang pada tingkat yang konstan ketika frekuensi meningkat. Artinya, ketika frekuensi meningkat sepuluh kali lipat (satu dekade), kenaikan tegangan dibagi dengan 10.

Dengan kata lain, gain berkurang 20dB ( $= 20 * \log (10)$ ) setiap kali frekuensinya meningkat 10. Ketika berurusan dengan sirkuit filter, besarnya gain band pass dari rangkaian umumnya dinyatakan dalam desibel atau dB sebagai fungsi dari kenaikan tegangan, dan ini didefinisikan sebagai:

$$A_v(\text{dB}) = 20\log_{10}\left(\frac{V_{\text{out}}}{V_{\text{in}}}\right)$$

$$-3\text{dB} = 20\log_{10}\left(0.707 \frac{V_{\text{out}}}{V_{\text{in}}}\right)$$

#### ❖ ANALOG TO DIGITAL CONVERTER

Rangkaian ADC adalah rangkaian elektronika yang berfungsi untuk mengubah sinyal analog menjadi sinyal digital, dalam artian sinyal yang awalnya tidak bisa ditentukan nilai numeriknya menjadi sinyal yang mempunyai sifat numeric. Sebenarnya saat ini sudah banyak sekali IC yang dibuat khusus untuk kegunaan fungsi ADC, bahkan ada yang sudah terintegrasi dengan IC Mikrokontroler yang pastinya lebih mendukung aplikasi rangkaian yang lebih kompleks. Tetapi dengan contoh rangkaian adc diatas

setidaknya anda akan dapat memahami prinsip kerja dari rangkaian adc yang sesungguhnya.

Sebenarnya prinsip dasar adc muncul dari pemikiran bahwa sinyal analog yang mempunyai jangkah amplitude dari 0 volt sampai dengan tegangan puncak bisa dibagi rata menjadi beberapa potongan atau bagian yang nantinya setiap bagian potongan tersebut mewakili satu angka numeric atau digital. Sebagai contoh anda membuat rangkaian adc dengan menerapkan aturan jangkah tegangan per 1 mV akan menghasilkan output 1 angka numeric, jika input sinyal analog rangkaian anda adalah sinyal dengan tegangan 20 mV, maka anda akan membagi jangkah amplitudo 20 mV tersebut menjadi 20 bagian dan hasilnya anda akan mendapatkan output dengan jumlah numeric 20.

Dengan kata lain rangkaian adc anda berfungsi membagi tegangan analog dengan jangkah pembagian per 1 mV. Lain cerita jika anda menerapkan aturan pada rangkaian adc anda dengan jangkah pembagian per 1 V untuk mewakili satu keluaran numeric, maka dapat dipastikan bahwa sinyal input analog 20 mV tersebut hanya akan menghasilkan keluaran digital numeric 1. Begitupun dengan sinyal analog 30 mV, 45 mV, 60 mV, 500 mV atau berapapun selama tidak melebihi 1 volt maka rangkaian adc anda tetap akan menghasilkan angka 1 (satu).

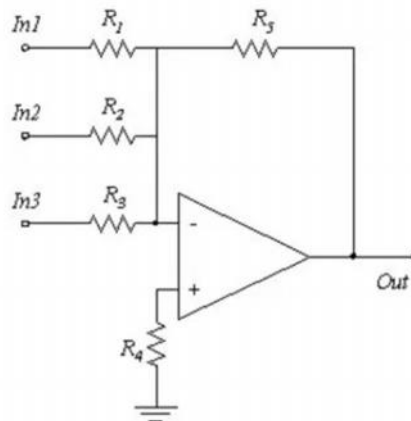
Jadi dengan demikian dapat kita simpulkan bahwa semakin rapat range pembagian yang digunakan pada rangkaian adc maka keluaran yang didapat akan semakin bagus dan mendekati sempurna. Sehingga dengan begitu kemungkinan pembalikan kembali sinyal keluaran menjadi sinyal analog akan lebih bisa dilakukan. Tetapi semuanya tergantung dari aplikasi dan kegunaan rangkaian adc anda tersebut, bisa saja penggunaan range yang lebih rapat malah akan menjadi sia-sia manakala aplikasi dari rangkaian tersebut hanya menuntut kegunaan yang lebih sederhana.

## **ANALISA DAN PRINSIP KERJA RANGKAIAN ADC|DIATAS**

1. Rangkaian adc diatas memanfaatkan rangkaian pembanding op-amp sebagai rangkaian dasar. Dimana perbedaan yang sedikit pada kedua terminal input op-amp akan menghasilkan tegangan sebesar Vdd atau Vcc op-amp. Jika tegangan pada terminal positif input lebih besar dari pada terminal negative input maka keluaran adalah 9 volt (sesuai dengan Vdd), sedangkan jika tegangan pada terminal negative input lebih besar maka tegangan keluarannya adalah 0 volt (sesuai dengan Vcc).
2. Menggunakan 3 (tiga) buah op-amp dengan tujuan setiap satu op-amp mewakili satu jangkah pembagian tegangan input.
3. Pada masing-masing terminal negative input op-amp mendapatkan tegangan referensi (penentuan) yang ditentukan oleh pembagian tegangan antara R1, R2, R3 dan R4.
4. R2, R3 dan R4 sengaja dibuat dengan nilai yang sama dengan maksud supaya tegangan pada terminal negative (referensi) masing-masing op-amp membentuk jangkah atau range yang teratur.
5. Masing-masing terminal positif input op-amp digabung dan digunakan sebagai jalur input sinyal analog. Hal ini sengaja diatur supaya posisi sinyal input analog tersebut bisa dibaca oleh masing-masing op-amp yang mana pada masing-masing terminal negative input op-amp tersebut sudah dipasang tegangan penentu.
6. IC3 mewakili range tegangan terendah, kemudian dilanjutkan oleh IC2, IC1 mewakili range tertinggi.
7. Tegangan pada terminal negative input IC3 adalah  $(R4 / (R1+R2+R3+R4)) \times 9$  volt.

### **❖ DIGITAL TO ANALOG CONVERTER**

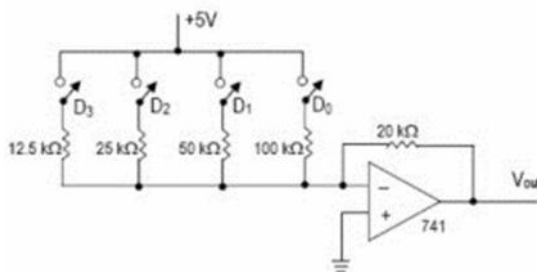
Digital Analog Converter mengambil kode digital sebagai inputnya dan menghasilkan tegangan atau arus analog sebagai outputnya. output analog ini sebanding dengan input 100101 DAC



### Jenis-Jenis DAC (Digital To Analog Converter)

#### 1. Binary-Weighted DAC (Digital To Analog Converter)

Suatu rangkaian *Binary-weighted DAC* dapat disusun dari beberapa Resistor dan Operational Amplifier (Op-Amp) seperti gambar berikut.



*Rangkaian Binary Weighted DAC*

Secara prinsip rangkaian DAC diatas dapat dijelaskan sebagai berikut. Resistor 20 k menjumlahkan arus yang dihasilkan dari penutupan switch-switch  $D_0$  sampai  $D_3$ . Resistor-resistor ini diberi skala nilai sedemikian rupa sehingga memenuhi bobot biner (*binary-weighted*) dari arus yang selanjutnya akan dijumlahkan oleh resistor 20 k . Dengan menutup  $D_0$  menyebabkan arus  $50 \mu\text{A}$  mengalir melalui resistor 20 k , menghasilkan tegangan  $-1 \text{ V}$  pada  $V_{\text{out}}$ . Penutupan masing-masing switch menyebabkan penggandaan nilai arus yang dihasilkan dari switch sebelumnya. Nilai konversi dari kombinasi penutupan switch ditunjukkan pada tabel berikut.

#### Tabel Output *Binary-weighted DAC*

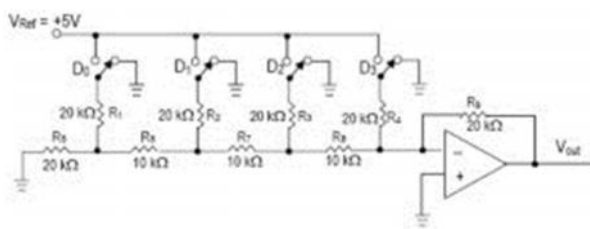


Konversi dari nilai digital ke nilai analog berdasarkan rangkaian *Binary Weighted DAC* diatas

D <sub>3</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>1</sub>	D <sub>0</sub>	V <sub>out</sub> (-V)
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

## 2. R/2R Ladder DAC (Digital To Analog Converter)

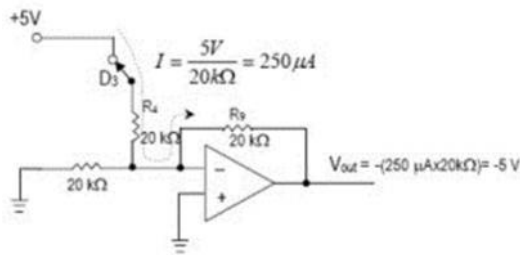
Metode lain dari konversi Digital to Analog adalah R/2R Ladder. Metode ini banyak digunakan dalam IC-IC DAC. Pada rangkaian R/2R Ladder, hanya dua nilai resistor yang diperlukan, yang dapat diaplikasikan untuk IC DAC dengan resolusi 8,10 atau 12 bit. Rangkaian R/2R Ladder ditunjukkan pada gambar berikut.



Rangkaian R/2R Ladder DAC

Prinsip kerja dari rangkaian R/2R Ladder DAC adalah sebagai berikut : informasi digital 4 bit masuk ke switch D<sub>0</sub> sampai D<sub>3</sub>. Switch ini mempunyai kondisi “1” (sekitar 5 V) atau “0” (sekitar 0 V). Dengan pengaturan switch akan menyebabkan perubahan arus yang mengalir melalui R<sub>9</sub> sesuai dengan nilai ekuivalen biner-nya Sebagai contoh, jika D<sub>0</sub> = 0, D<sub>1</sub> = 0, D<sub>2</sub> = 0 dan D<sub>3</sub> = 1, maka R<sub>1</sub> akan paralel dengan R<sub>5</sub> menghasilkan

10 k . Selanjutnya 10 k ini seri dengan R6 = 10 k menghasilkan 20 k . 20 k ini paralel dengan R2 menghasilkan 10 k , dan seterusnya sampai R7, R3 dan R8. Rangkaian ekivalennya ditunjukkan pada gambar 6. Vout yang dihasilkan dari kombinasi switch ini adalah -5V.



*Rangkaian Ekuivalen R/2R Ladder DAC*

Untuk mendapatkan  $V_{out}$  analog dari rangkaian *R/2R Ladder DAC* diatas dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$V_{out} = (-V_{ref}(R9/R)) * ((D0/16)+(D1/8)+(D2/4)+(D1/2))$$

### **Tabel Output Rangkaian R/2R Ladder DAC**

Nilai kombinasi dan hasil konversi rangkaian *R/2R Ladder DAC* ditunjukkan pada tabel dibawah.

$D_3$	$D_2$	$D_1$	$D_0$	$V_{out} (-V)$
0	0	0	0	0.000
0	0	0	1	0.625
0	0	1	0	1.250
0	0	1	1	1.875
0	1	0	0	2.500
0	1	0	1	3.125
0	1	1	0	3.750
0	1	1	1	4.375
1	0	0	0	5.000
1	0	0	1	5.625
1	0	1	0	6.250
1	0	1	1	6.875
1	1	0	0	7.500
1	1	0	1	8.125
1	1	1	0	8.750
1	1	1	1	9.375

### 3.1 KESIMPULAN

Amplifier merupakan alat yang berfungsi sebagai penguat daya ,tegangan dan arus ,yang didalamnya terdapat komponen–komponen elektronika seperti kapasitor, resistor, transistor, potensiometer dan IC. Dalam sebuah amplifier yang merupakan bagian yang sangat penting yaitu ialah penguat akhir yang berupa IC dan pendingin. Dimana IC ini lah sebagai otak dari rangkaian ampli agar ampli bias berfungsi dengan baik dan menghasilkan output yang bagus tanpa adanya noise.

### 3.2 SARAN

Dalam makalah ini, kami menyadari masih banyak memiliki kekurangan, maka dari itu perlu adanya pengembangan dan kontribusi positif untuk menyempurnakannya.

## DAFTAR PUSTAKA

<https://dokumen.tips/documents/makalah-operasional-amplifier.html>

<http://blog.unnes.ac.id/antosupri/dac-digital-to-analog-converter/>

<https://www.scribd.com/doc/34597438/Makalah-OP-AMP>

[https://ocw.mit.edu/courses/electrical-engineering-and-computer-science/6-071j-](https://ocw.mit.edu/courses/electrical-engineering-and-computer-science/6-071j-introduction-to-electronics-signals-and-measurement-spring-2006/lecture-notes/24_op_amps3.pdf)

[introduction-to-electronics-signals-and-measurement-spring-2006/lecture-](https://ocw.mit.edu/courses/electrical-engineering-and-computer-science/6-071j-introduction-to-electronics-signals-and-measurement-spring-2006/lecture-notes/24_op_amps3.pdf)

[notes/24\\_op\\_amps3.pdf](https://ocw.mit.edu/courses/electrical-engineering-and-computer-science/6-071j-introduction-to-electronics-signals-and-measurement-spring-2006/lecture-notes/24_op_amps3.pdf)

<https://alfith.itp.ac.id/wp-content/uploads/2018/11/MAKALAH-Power-Amplifier-80->

[Watt.pdf](https://alfith.itp.ac.id/wp-content/uploads/2018/11/MAKALAH-Power-Amplifier-80-Watt.pdf)