

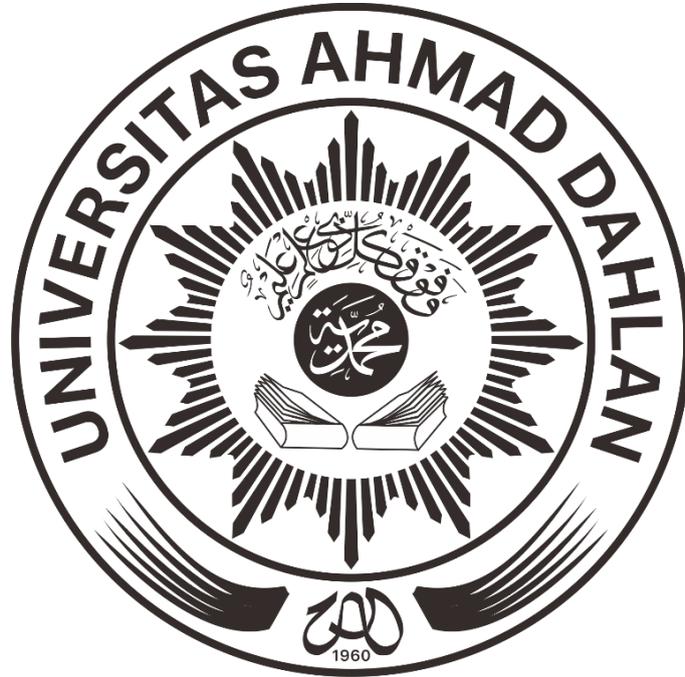
MODUL PRAKTIKUM INSTRUMENTASI ELEKTRONIKA DAN KENDALI



Ir. Alfian Ma'arif, M. Eng. |
Arsyad Cahya Subrata, M.T. |

Laboratorium Otomasi dan Instalasi Listrik

PETUNJUK PRAKTIKUM
INSTRUMENTASI ELEKTRONIKA DAN KENDALI



Disusun Oleh
Ir. Alfian Ma'arif, S.T., M. Eng.
Arsyad Cahya Subrata, S.T., M. T.

LABORATORIUM OTOMASI DAN INSTALASI LISTRIK
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS AHMAD DAHLAN
2023

DAFTAR ISI

Daftar Isi	2
Praktikum IEK Unit 1 Op Amp Inverting dan Non Inverting	3
Praktikum IEK Unit 2 Op Amp Operasi Aritmetika	11
Praktikum IEK Unit 3 Op Amp Sebagai Filter Komparator	17
Praktikum IEK Unit 4 Op Amp Sebagai Penyearah.....	23
Praktikum IEK Unit 5 Op Amp Sebagai Clippers	29
Praktikum IEK Unit 6 Op Amp Sebagai Filter Aktif.....	35
Praktikum IEK Unit 7 Op Amp Sebagai Oscillator Sinusoidal	41
Praktikum IEK Unit 8 Op Amp Sebagai Pembangkit Gelombang	44
Praktikum IEK Unit 9 Op Amp Sebagai Regulator Tegangan.....	50
Praktikum IEK Unit 10 Op Amp Sebagai Digital to Analog Converter (DAC)	55

Praktikum Instrumentasi Elektronika Kendali Unit 1 Op Amp Inverting dan Non-Inverting

Tujuan Praktikum

Mahasiswa memahami tentang cara kerja op-amp dan implementasi op-amp inverting dan non inverting.

Dasar Teori

Operational Amplifier (penguat operasional) atau disebut Op-amp adalah sirkuit terintegrasi yang dapat digunakan untuk melakukan berbagai operasi linier, nonlinear dan matematika. Op-amp adalah penguat gain tinggi yang digabungkan secara langsung. Op-amp dapat dioperasikan baik dengan sinyal AC maupun DC. Op-amp terdiri dari penguat diferensial, penerjemah level dan bagian keluaran. Penguat diferensial ada pada bagian input op-amp, dan karena nya op-amp terdiri atas dua terminal input. Salah satu terminal itu disebut terminal pembalik, dan yang lainnya disebut terminal non-pembalik. Terminal diberi nama berdasarkan hubungan fase antara input dan output masing-masing.

Karakteristik atau parameter penting dari sebuah penguat operasional adalah penguatan tegangan loop terbuka, tegangan offset keluaran, rasio penolakan mode umum (Common Mode Rejection Ratio (CMRR)), dan laju perubahan tegangan (Slew Rate (SR)).

Penguatan Tegangan Loop Terbuka

Gain tegangan loop terbuka dari sebuah op-amp adalah gain diferensialnya tanpa jalur umpan balik. Secara matematis, penguatan tegangan loop terbuka dari sebuah op-amp direpresentasikan sebagai

$$A_v = \frac{v_0}{v_1 - v_2} \quad (1)$$

Tegangan Offset Keluaran

Tegangan yang ada pada keluaran op-amp ketika tegangan masukan diferensialnya nol disebut sebagai tegangan offset keluaran.

Rasio Penolakan Mode Umum (CMRR)

CMRR sebuah op-amp didefinisikan sebagai rasio gain diferensial loop tertutup, A_d dan gain mode umum, A_c . Secara matematis, CMRR dapat direpresentasikan sebagai

$$CMRR = \frac{A_d}{A_c} \quad (2)$$

Dengan gain mode umum, A_c , dari sebuah op-amp adalah rasio tegangan output mode umum dan tegangan input mode umum.

Laju perubahan (SR)

Laju perubahan tegangan op-amp didefinisikan sebagai laju perubahan maksimum tegangan keluaran karena tegangan langkah masukan. Secara matematis SR dapat direpresentasikan sebagai

$$SR = \text{Max} \frac{dv_0}{dt} \quad (3)$$

Dengan v_0 adalah tegangan keluaran. Secara umum, laju perubahan tegangan diukur dalam volt/microseconds atau volt/miliseconds.

Type Op-Am

Sebuah op-amp diwakili dengan simbol segitiga yang memiliki dua input dan satu output. Op-amp terdiri dari op-amp ideal dan op amp praktek.

Op-Amp Ideal

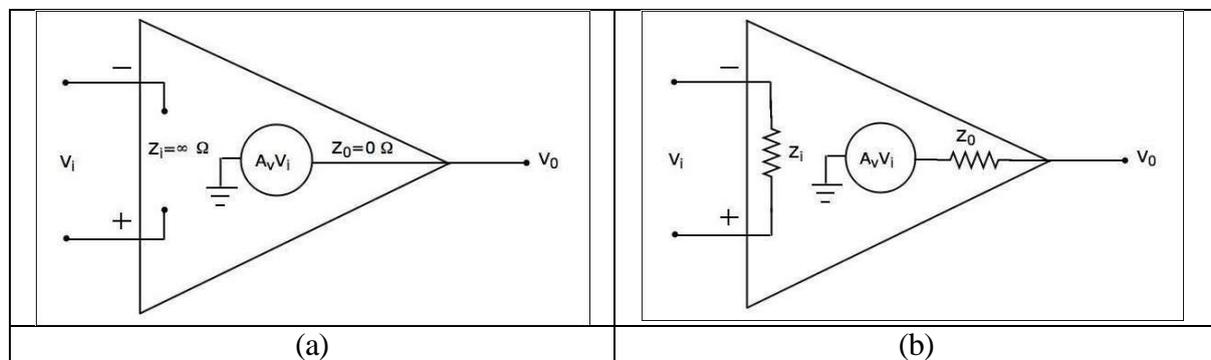
Op-amp ideal hanya ada dalam teori, dan tidak ada secara sebenarnya. Rangkaian ekivalen dari sebuah op-amp ideal ditunjukkan pada Gambar 1.1.(a).

Op-amp ideal memiliki karakteristik sebagai berikut.

- Impedansi masukan tak terhingga, $Z_i = \infty \Omega$
- Impedansi keluaran sama dengan nol, $Z_0 = 0 \Omega$
- Penguatan tegangan loop terbuka tak terhingga, $A_v = \infty$
- Jika (diferensial) tegangan input $V_i = 0V$, maka tegangan output akan menjadi $V_0 = 0V$
- Bandwidth tidak terbatas, artinya, sebuah op-amp yang ideal akan memperkuat sinyal frekuensi apapun tanpa ada redaman apapun.
- CMRR tidak terhingga.
- SR tidak terhingga, artinya, op-amp yang ideal akan menghasilkan perubahan output secara instan sebagai respons terhadap tegangan Langkah input.

Op-Amp Praktek

Prakteknya, Op-amp tidak ideal dan menyimpang dari karakteristik idealnya karena beberapa ketidaksempurnaan selama pembuatan. Rangkaian ekivalen dari op-amp sebenarnya ditunjukkan pada Gambar 1.1.(b).



Gambar 1.1.(a) Op-Amp Ideal (b) Op-Amp Praktek

Op-amp praktek memiliki karakteristik sebagai berikut

- Impedansi masukan, Z_i terhingga dalam orde Mega ohm
- Impedansi keluaran, Z_0 dalam orde beberapa ohm
- Penguatan tegangan loop terbuka, A_v tinggi

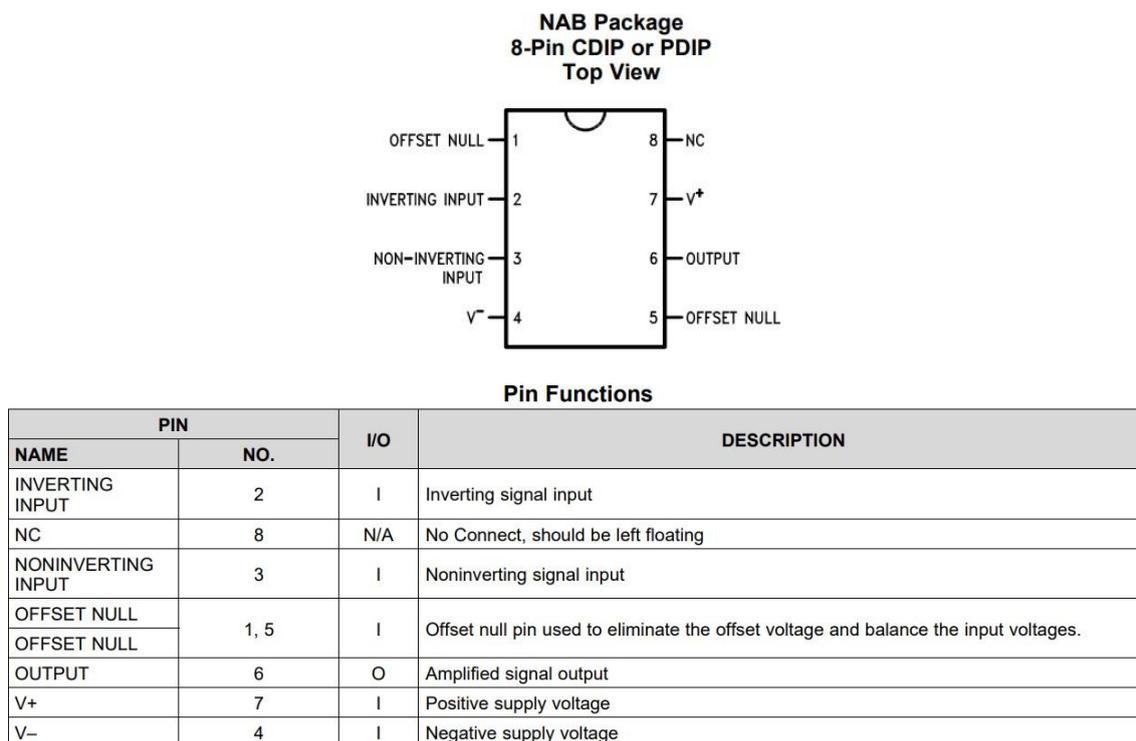
Ketika memilih op-amp praktek, beberapa hal yang perlu diperiksa apakah memenuhi kondisi berikut.

- Impedansi input, Z_i harus setinggi mungkin
- Impedansi output, Z_0 harus serendah mungkin
- Gain tegangan loop terbuka, A_v harus seinggi mungkin
- Tegangan offset keluaran harus serendah mungkin

- Bandwidth operasi harus setinggi mungkin
- CMRR harus setinggi mungkin
- Laju perubahan tegangan harus setinggi mungkin

IC Op Amp 741

Salah satu jenis IC Op Amp yang populer adalah IC Op-Amp LM741. Penampang IC Op Amp LM741 beserta dengan deskripsi masing-masing Pin kaki nya ditunjukkan pada Gambar 1.2. Bagian pin NC adalah Not Connect yang tidak perlu disambung. Bagian Pin V+ dan V- adalah tegangan power supplai. Pin Inverting dan Noninverting adalah sinyal masukan. Pin output adalah sinyal keluaran. Pin Offset berfungsi untuk mengeliminasi tegangan offset dan menyeimbangkan tegangan input.



Gambar 1.2. Penampang Op Amp LM741 beserta fungsi setiap Pin kaki nya

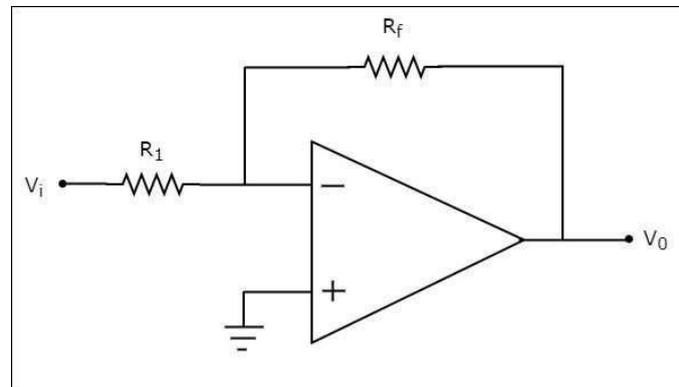
Suatu rangkaian dikatakan linier jika terdapat hubungan linier antara input dan outputnya. Demikian pula, suatu rangkaian dikatakan non-linier jika terdapat hubungan non-linier antara input dan outputnya. Op-amp dapat digunakan baik dalam aplikasi linier maupun non-linier. Berikut ini adalah aplikasi dasar op-amp.

- Penguat pembalik
- Penguat non-pembalik
- Pengikut tegangan

Op Amp Inverting

Penguat pembalik mengambil input melalui terminal pembalikannya melalui resistor R1, dan menghasilkan versi yang diperkuat sebagai output. Penguat ini tidak hanya memperkuat input tetapi juga membalikkannya (mengubah tandanya). Diagram rangkaian penguat pembalik ditunjukkan pada Gambar 1. 3. Perhatikan bahwa untuk sebuah op-amp, tegangan pada terminal input pembalik sama dengan tegangan pada pada terminal input non-pembalikannya. Secara fisik, tidak terhubung antara terminal tersebut tetapi secara virtual keduanya saling terhubung.

Dalam rangkaian pada Gambar 1.3., terminal input non-pembalikan terhubung ke ground. Itu berarti nol volt diterapkan pada terminal input non-pembalikan dari op-amp. Menurut konsep tingkat virtual, tegangan pada terminal input pembalikan sebuah op-amp akan menjadi nol volt.



Gambar 1.3. Op-amp Inverting

Persamaan simpul pada simpul terminal ini adalah

$$\frac{0 - v_i}{R_1} + \frac{0 - v_o}{R_f} = 0 \quad (4)$$

$$-\frac{V_i}{R_1} = \frac{V_o}{R_f} \quad (5)$$

$$V_o = \left(\frac{-R_f}{R_1}\right) V_i \quad (6)$$

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{-R_f}{R_1} \quad (7)$$

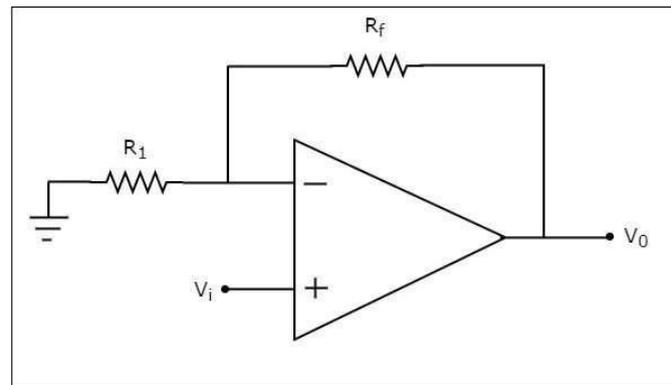
Rasio tegangan keluaran V_o dan tegangan masukan V_i adalah penguatan tegangan atau penguatan penguat. Oleh karena itu, penguatan penguat pembalik sama dengan $Gain = \frac{-R_f}{R_1}$. Perhatikan bahwa penguatan penguat pembalik bertanda negatif. Hal ini menunjukkan bahwa terdapat perbedaan fasa 180° antara input dan output.

Op Amp Non-Inverting

Penguat non-pembalikan mengambil input melalui terminal non-pembalikannya, dan menghasilkan versi yang diperkuat sebagai output. Seperti namanya, amplifier ini hanya memperkuat input, tanpa membalikkan atau mengubah tanda output. Rangkaian Op Amp Non-Inverting ditunjukkan pada Gambar 1.4. Pada rangkaian pada Gambar 1.4., tegangan input V_i diterapkan langsung ke terminal input op-amp non-pembalikan. Jadi, tegangan pada terminal input non-pembalikan dari op-amp akan menjadi V_i .

Dengan menggunakan prinsip pembagian tegangan, dapat dihitung tegangan pada terminal input pembalik op-amp sebagai

$$V_1 = V_o \left(\frac{R_1}{R_1 + R_f}\right) \quad (8)$$



Gambar 1.4. Op-amp noninverting

Menurut konsep virtual short, tegangan pada terminal masukan pembalik sebuah op-amp sama dengan tegangan pada terminal masukan non-pembaliknya.

$$V_1 = V_i \quad (9)$$

$$V_0 \left(\frac{R_1}{R_1 + R_f} \right) = V_i \quad (10)$$

$$\frac{V_0}{V_i} = \frac{R_1 + R_f}{R_1} \quad (11)$$

$$\frac{V_0}{V_i} = 1 + \frac{R_f}{R_1} \quad (12)$$

Sekarang, rasio tegangan keluaran V_0 dan tegangan masukan V_i atau penguatan tegangan atau penguatan penguat non-pembalik sama dengan $Gain = 1 + \frac{R_f}{R_1}$. Perhatikan bahwa penguatan penguat non-pembalik memiliki tanda positif. Hal ini menunjukkan bahwa tidak ada perbedaan fasa antara input dan output.

Tugas Pendahuluan (20 Menit)

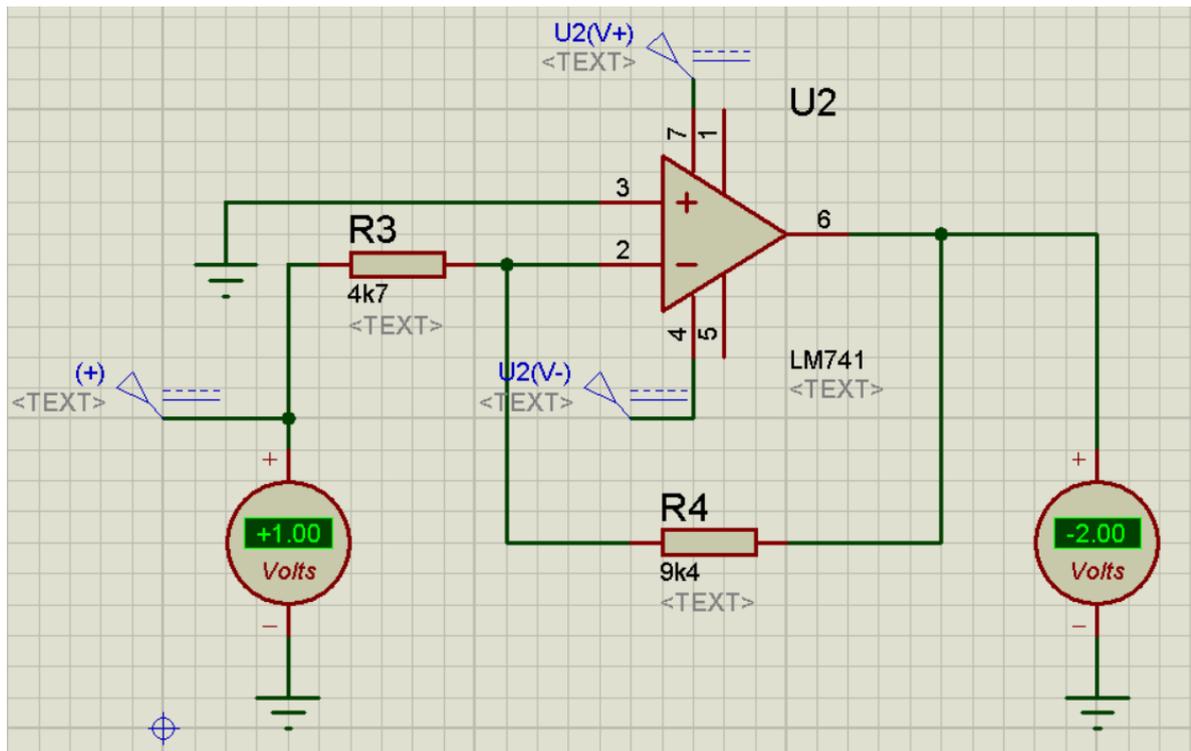
1. Apa itu op-amp?
2. Apa perbedaan antara op-amp inverting dan non-inverting? Gambarkan rangkainnya.
3. Sebutkan salah satu jenis seri op-amp beserta dengan gambar penampang IC dan fungsi kakinya.
4. Tuliskan persamaan untuk menghitung nilai Gain op-amp inverting dan non-inverting.
5. Tuliskan persamaan untuk menghitung tegangan keluaran op-amp inverting dan non-inverting

Langkah Percobaan (100 Menit)

Op Amp Inverting

Buatlah rangkaian proteus seperti pada Gambar 1.5. Komponen yang digunakan adalah Op Amp LM741, resistor 4k7, resistor 9k7 dan volmeter digital. Tegangan catu daya adalah 12volt dan -12volt. Ubah-Ubahlah nilai tegangan input pada bagian kaki non-inverting op amp sesuai dengan Tabel 1.1. Lengkapi nilai pada tabel tersebut. Tuliskan proses perhitungan pada laporan.

Ubahlah nilai R3 dan R4 sesuai dengan nilai pada Tabel 1.2. Lengkapi nilai pada tabel tersebut. Tuliskan proses perhitungan pada laporan.



Gambar 1.6. Op-amp inverting

Tabel 1.1. Tabel pengamatan op-amp inverting

Tegangan Input (Volt)	Nilai Gain	Tegangan Output Perhitungan (Volt)	Tegangan Output Volt Meter (Volt)	Nilai Error
1				
2				
3				
4				
5				

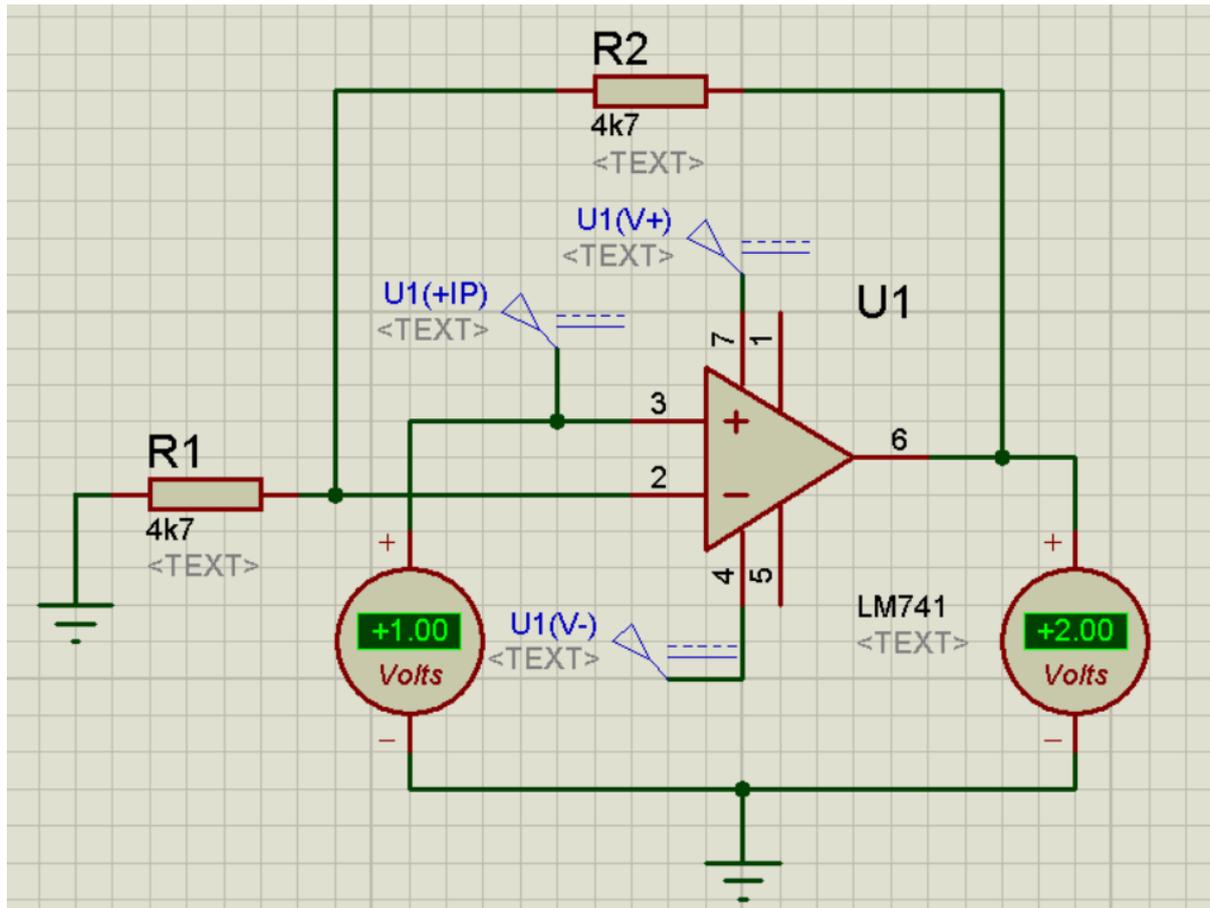
Tabel 1.2. Tabel pengamatan op-amp inverting

Tegangan Input (Volt)	Nilai R3	Nilai R4	Nilai Gain	Tegangan Output Perhitungan (Volt)	Tegangan Output Volt Meter (Volt)	Nilai Error
2	2K	1K				
2	2K	1K5				
2	2K	2K				
2	2K	4K				
2	2K	6K				

Op Amp Non-Inverting

Buatlah rangkaian proteus seperti pada Gambar 1.7. Komponen yang digunakan adalah Op Amp LM741, resistor 4k7 dan voltmeter digital. Tegangan catu daya adalah 12volt dan -12volt. Ubah-Ubahlah nilai tegangan input pada bagian kaki non-inverting op amp sesuai dengan Tabel 1.3. Lengkapi nilai pada tabel tersebut. Tuliskan proses perhitungan pada laporan.

Ubahlah nilai R1 dan R2 sesuai dengan nilai resistansi pada Tabel 1.4. Lengkapi nilai pada tabel tersebut. Tuliskan proses perhitungan pada laporan.



Gambar 1.7. Op-amp non-inverting

Tabel 1.3. Tabel pengamatan op-amp non-inverting

Tegangan Input (Volt)	Nilai Gain	Tegangan Output Perhitungan (Volt)	Tegangan Output Volt Meter (Volt)	Nilai Error
1				
2				
3				
4				
5				

Tabel 1.4. Tabel pengamatan op-amp non-inverting

Tegangan Input (Volt)	Nilai R1	Nilai R2	Nilai Gain	Tegangan Output Perhitungan (Volt)	Tegangan Output Volt Meter (Volt)	Nilai Error
2	2K	1K				
2	2K	1K5				
2	2K	2K				
2	2K	4K				
2	2K	6K				

Tugas Mandiri

Ubahlah inputan op-amp inverting dan non-inverting dengan sinyal sinus. Lalu gambarkan sinyal inputan dan hasil sinyal keluaran dari osiloskop pada proteus.

Format Laporan**(60 Menit)**

1. Laporan ditulis menggunakan kertas folio atau kertas HVS A4 menggunakan bolpoin biru atau hijau dengan batas tepi atas, bawah, kanan dan kiri sebesar 1cm.
2. Laporan menggunakan format 1 kolom (untuk perhitungan bisa menggunakan format 2 kolom)
3. Format laporan adalah
 - Judul Laporan dan Unitnya
 - Nama dan NIM Mahasiswa
 - Tujuan Praktikum
 - Dasar Teori Singkat
 - Jawaban Tugas Pendahuluan
 - Hasil Pengujian, Perhitungan dan Analisis
 - Jawaban Tugas Mandiri
4. Ilustasi format laporan ditunjukkan pada Gambar 1.8.

<p>Laporan Praktikum Instrumentasi Elektronika Kendali Unit 1 Op-Amp Inverting dan Op-Amp Non-Inverting</p> <p>Nama dan NIM</p> <p>Tujuan Praktikum ...</p> <p>Dasar Teori ...</p> <p>Jawaban Tugas Pendahuluan ...</p> <p>Hasil Pengujian, Perhitungan dan Analisis ...</p> <p>Jawaban Tugas Mandiri ...</p>

Praktikum Instrumentasi Elektronika Kendali Unit 2 Op-Amp Operasi Aritmetika

Tujuan Praktikum

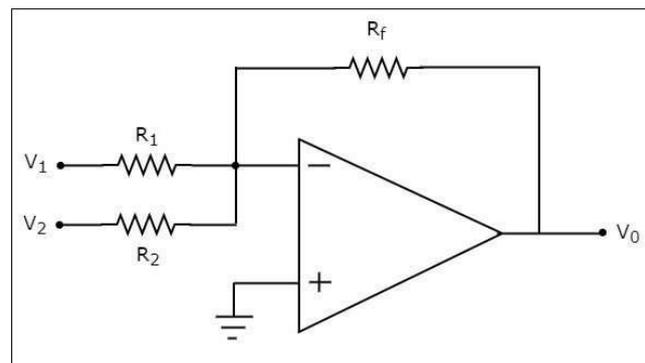
Mahasiswa memahami tentang cara kerja op-amp penjumlah, op-amp pengurang dan implementasinya.

Dasar Teori

Pada bab sebelumnya, telah dibahas tentang aplikasi dasar op-amp. Perhatikan bahwa sistem tersebut merupakan operasi linier op-amp. Dalam bab ini, akan dibahas tentang rangkaian aritmetika, yang juga merupakan aplikasi linier dari op-amp. Rangkaian elektronik yang melakukan operasi aritmetika disebut sebagai rangkaian aritmetika. Dengan menggunakan op-amp, Anda dapat membangun rangkaian aritmetika dasar seperti penjumlah dan pengurang. Dalam bab ini, Anda akan belajar tentang masing-masing secara rinci.

Penjumlah

Penjumlah adalah rangkaian elektronik yang menghasilkan output yang sama dengan jumlah input yang diterapkan. Bagian ini membahas tentang rangkaian penjumlah berbasis op-amp. Sebuah penjumlah berbasis op-amp menghasilkan output yang sama dengan jumlah tegangan input yang diterapkan pada terminal pembalikannya. Ini juga disebut sebagai penguat penjumlahan, karena outputnya adalah penguat. Diagram rangkaian penjumlah berbasis op-amp ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1. Rangkaian Op-Amp Penjumlah

Pada rangkaian pada Gambar 2.1, terminal input non-pembalik dari op-amp terhubung ke ground. Itu berarti nol volt diterapkan pada terminal input non-pembalikannya. Menurut konsep singkat virtual, tegangan pada terminal input pembalik dari sebuah op-amp sama dengan tegangan pada terminal input non-pembalikannya. Jadi, tegangan pada terminal input pembalik op-amp akan menjadi nol volt. Persamaan simpul pada simpul terminal masukan pembalik adalah

$$\begin{aligned} \frac{0 - V_1}{R_1} + \frac{0 - V_2}{R_2} + \frac{0 - V_0}{R_f} &= 0 \\ -\frac{V_1}{R_1} - \frac{V_2}{R_2} &= \frac{V_0}{R_f} \\ V_0 &= -R_f \left(\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} \right) \end{aligned} \quad (2.1)$$

Jika $R_f = R_1 = R_2 = R$, kemudian tegangan keluaran V_0 adalah

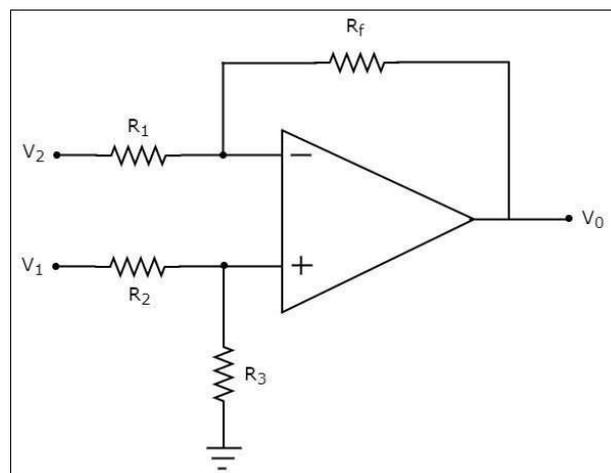
$$V_0 = -R \left(\frac{V_1}{R} + \frac{V_2}{R} \right)$$

$$V_0 = -(V_1 + V_2) \quad (2.3)$$

Oleh karena itu, rangkaian penjumlah berbasis op-amp pada Gambar 2.1 akan menghasilkan jumlah dari dua tegangan input V_1 dan V_2 sebagai output ketika semua resistor yang ada dalam rangkaian memiliki nilai yang sama. Perhatikan bahwa tegangan keluaran V_0 dari rangkaian penambah memiliki tanda negatif, yang menunjukkan bahwa terdapat perbedaan fasa 180° antara masukan dan keluaran.

Pengurang

Pengurang adalah rangkaian elektronik yang menghasilkan output yang sama dengan perbedaan input yang diterapkan. Bagian ini membahas tentang rangkaian pengurang berbasis op-amp. Pengurang berbasis op-amp menghasilkan output yang sama dengan perbedaan tegangan input yang diterapkan pada terminal pembalik dan non-pembalikannya. Ini juga disebut sebagai penguat beda, karena outputnya adalah penguat. Diagram rangkaian pengurang berbasis op-amp ditunjukkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2. Rangkaian Op-Amp Pengurang

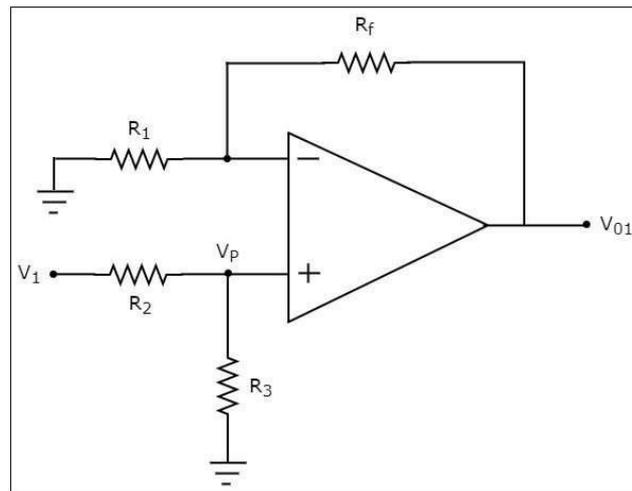
Selanjutnya akan dicari formulasi untuk tegangan keluaran V_0 dari rangkaian pada Gambar 2.2 menggunakan teorema superposisi menggunakan langkah-langkah berikut.

Langkah 1

Pertama, mari kita hitung tegangan keluaran V_{01} dengan hanya mempertimbangkan V_1 . Untuk langkah ini, hilangkan V_2 dengan membuatnya menjadi terhubung dengan ground. Kemudian akan diperoleh diagram rangkaian yang dimodifikasi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.3.

Selanjutnya, dengan menggunakan prinsip pembagian tegangan, hitung tegangan pada terminal input non-pembalik dari op-amp.

$$V_p = V_1 \left(\frac{R_3}{R_2 + R_3} \right) \quad (2.4)$$



Gambar 2.3. Diagram Rangkaian

selanjutnya, rangkaian pada Gambar 2.3 terlihat seperti penguat non-pembalikan yang memiliki tegangan input V_p . Oleh karena itu, tegangan keluaran V_{01} dari rangkaian tersebut adalah

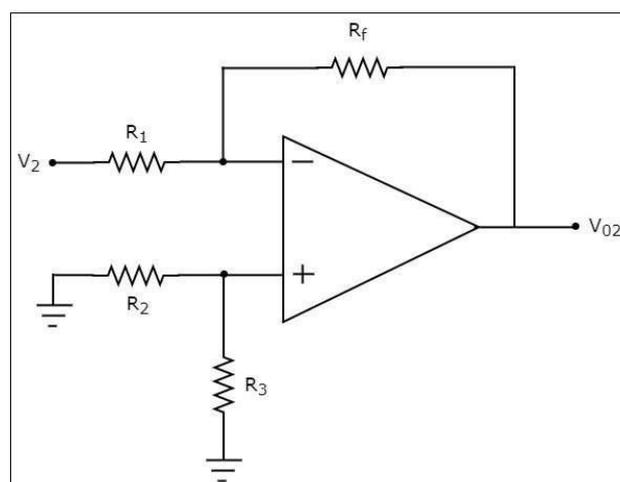
$$V_{01} = V_p \left(1 + \frac{R_f}{R_1}\right) \quad (2.5)$$

Substitusi nilai V_p pada persamaan (2.4) ke persamaan (2.5), lalu diperoleh tegangan keluaran V_{01} dengan hanya mempertimbangkan V_1 , sebagai

$$V_{01} = V_1 \left(\frac{R_3}{R_2 + R_3}\right) \left(1 + \frac{R_f}{R_1}\right) \quad (2.6)$$

Langkah 2

Pada langkah ini, akan dicari tegangan keluaran V_{02} dengan hanya mempertimbangkan V_2 . Mirip dengan langkah sebelumnya, hilangkan V_1 dengan membuatnya terhubung dengan ground. Diagram rangkaian yang dimodifikasi ditunjukkan pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4. Diagram Rangkaian

Terlihat bahwa tegangan pada terminal input non-pembalikan dari op-amp akan menjadi nol volt. Artinya, rangkaian pada Gambar 2.4 hanyalah sebuah op-amp pembalik. Oleh karena itu, tegangan keluaran V_{02} dari rangkaian tersebut adalah

$$V_{02} = \left(-\frac{R_f}{R_1}\right) V_2 \quad (2.7)$$

Langkah 3

Pada langkah ini, akan dicari tegangan keluaran V_0 dari rangkaian pengurang dengan menjumlahkan tegangan keluaran yang diperoleh pada Langkah 1 dan Langkah 2. Secara matematis, dapat ditulis sebagai

$$V_0 = V_{01} + V_{02} \quad (2.8)$$

Mengganti nilai V_{01} dan V_{02} persamaan (2.6) dan persamaan (2.7), diperoleh

$$V_0 = V_1 \left(\frac{R_3}{R_2 + R_3}\right) \left(1 + \frac{R_f}{R_1}\right) + \left(-\frac{R_f}{R_1}\right) V_2 \quad (2.9)$$

Jika $R_f = R_1 = R_2 = R_3 = R$, maka tegangan output V_0 adalah

$$\begin{aligned} V_0 &= V_1 \left(\frac{R}{R+R}\right) \left(1 + \frac{R}{R}\right) - \left(\frac{R}{R}\right) V_2 \\ V_0 &= V_1 \left(\frac{R}{2R}\right) (2) - (1)V_2 \\ V_0 &= V_1 - V_2 \end{aligned} \quad (2.10)$$

Dengan demikian, rangkaian pengurang berbasis op-amp yang dibahas sebelumnya akan menghasilkan output yang merupakan selisih dua tegangan input V_1 dan V_2 , ketika semua resistor yang ada dalam rangkaian memiliki nilai yang sama.

Tugas Pendahuluan (20 Menit)

1. Gambarkan rangkaian op amp sebagai penjumlah dan pengurang.
2. Tuliskan persamaan untuk menghitung keluaran op amp penjumlah dan pengurang dengan dua buah input tegangan.

Langkah Percobaan (100 Menit)

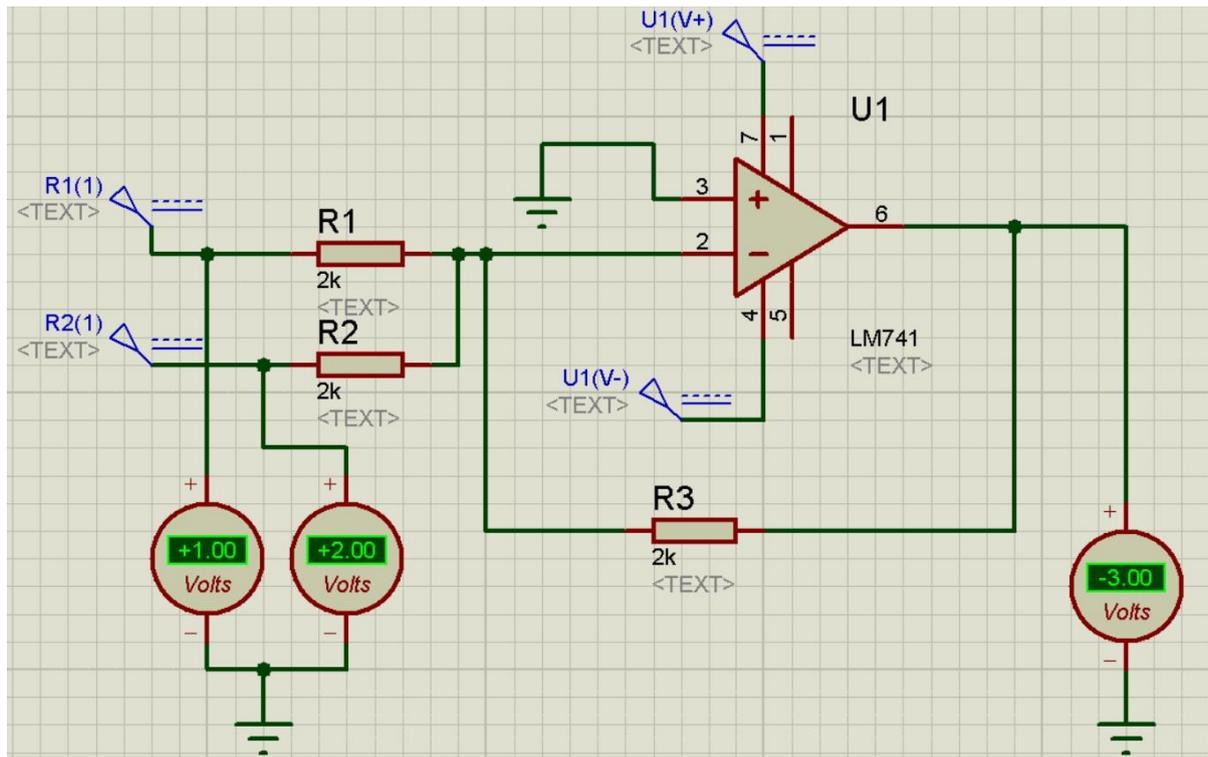
Op Amp Penjumlah

Buatlah rangkaian proteus seperti pada Gambar 2.5. Komponen yang digunakan adalah Op Amp LM741, resistor 2K, dan voltmeter digital. Tegangan catu daya adalah 12volt dan -12volt. Ubah-Ubahlah nilai tegangan input pada bagian kaki inverting dan non-inverting op amp sesuai dengan Tabel 2.1. Lengkapi nilai pada tabel tersebut. Tuliskan proses perhitungan pada laporan.

Tabel 2.1. Tabel pengamatan op-amp penjumlah

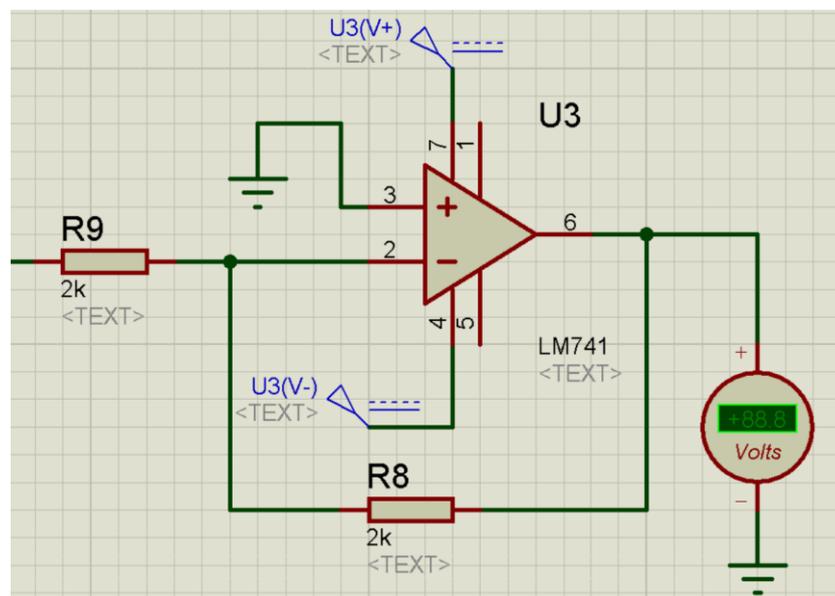
Tegangan Input V_1 (Volt)	Tegangan Input V_2 (Volt)	Tegangan Output Perhitungan (Volt)	Tegangan Output Volt Meter (Volt)	Nilai Error
1	2			
2	3			
3	4			
4	-2			
5	-4			

Rangkaian pada Gambar 2.5, keluaran op-amp bernilai negatif. Agar keluaran op amp menjadi positif rangkaian op-amp apa yang harus ditambahkan?



Gambar 2.5. Op-Amp Penjumlah

Tambahkan rangkaian Gambar 2.6 di bagian kanan rangkaian Gambar 2.5. Sambungkan keluaran rangkaian Gambar 2.5 sebagai input rangkaian 2.6. Amati nilai keluaran rangkaian pada Gambar 2.6. Apa kesimpulan yang dapat diperoleh? Jenis rangkaian op-amp apa pada Gambar 2.6?



Gambar 2.6. Rangkaian Op-Amp

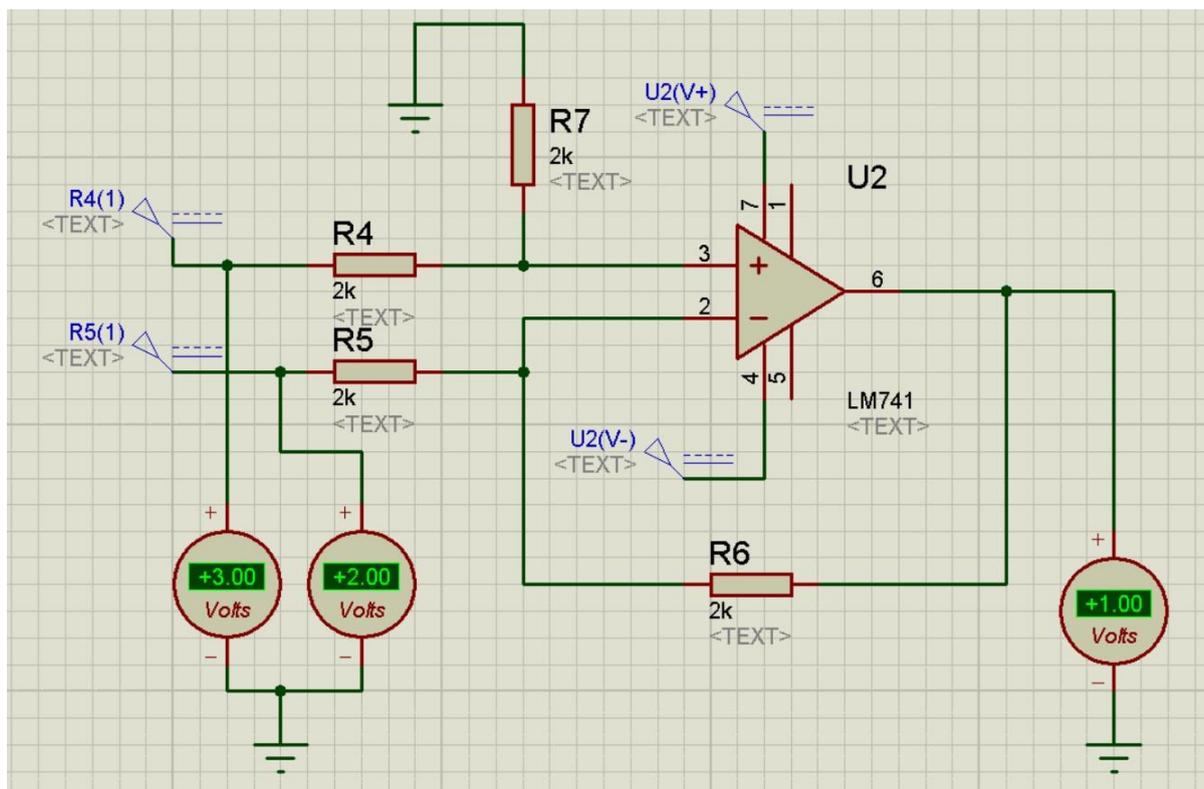
Op Amp Pengurang

Buatlah rangkaian proteus seperti pada Gambar 2.7. Komponen yang digunakan adalah Op Amp LM741, resistor 2K, dan voltmeter digital. Tegangan catu daya adalah 12volt dan -12volt.

Ubah-Ubahlah nilai tegangan input pada bagian kaki inverting dan non-inverting op amp sesuai dengan Tabel 2.2. Lengkapi nilai pada tabel tersebut. Tuliskan proses perhitungan pada laporan.

Tabel 2.2. Tabel pengamatan op-amp pengurang

Tegangan Input V_1 (Volt)	Tegangan Input V_2 (Volt)	Tegangan Output Perhitungan (Volt)	Tegangan Output Volt Meter (Volt)	Nilai Error
3	2			
4	1			
5	-1			
4	-2			
5	-4			



Gambar 2.7. Op-Amp Pengurang

Tugas Mandiri

Ubahlah inputan op-amp penjumlah dan pengurang dengan sinyal sinus. Lalu gambarkan sinyal inputan dan hasil sinyal keluaran dari osiloskop pada proteus.

Praktikum Instrumentasi Elektronika Kendali Unit 3

Op-Amp sebagai Komparator

Tujuan Praktikum

Mahasiswa memahami tentang cara kerja op-amp sebagai komparator dan implementasinya.

Dasar Teori

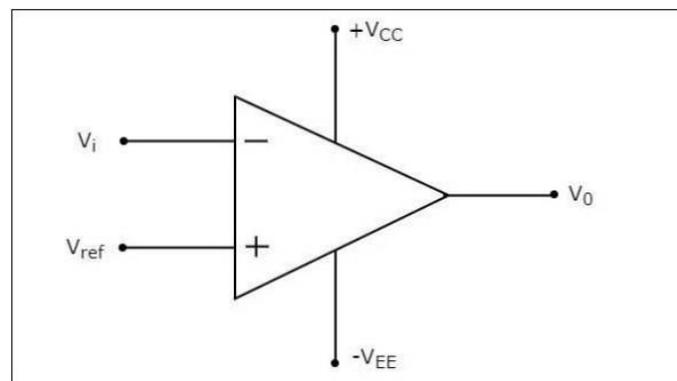
Komparator adalah sirkuit elektronik yang membandingkan dua input yang diterapkan padanya dan menghasilkan output. Nilai keluaran komparator menunjukkan masukan mana yang lebih besar atau lebih kecil. Harap dicatat bahwa komparator termasuk dalam aplikasi IC non-linear. Sebuah op-amp terdiri dari dua terminal input dan karenanya sebuah komparator berbasis op-amp membandingkan dua input yang diterapkan padanya dan menghasilkan hasil perbandingan sebagai output. Bab ini membahas tentang komparator berbasis op-amp.

Jenis Komparator

Komparator terdiri dari dua jenis: Pembalik dan Non-pembalik. Bagian ini membahas tentang kedua jenis ini secara rinci.

Komparator Pembalik

Komparator pembalik adalah komparator berbasis op-amp dengan tegangan referensi diterapkan ke terminal non-pembaliknya dan tegangan input diterapkan ke terminal pembaliknya. Komparator ini disebut sebagai komparator pembalik karena tegangan input yang harus dibandingkan diterapkan pada terminal pembalik op-amp. Diagram rangkaian pembanding pembalik ditunjukkan pada Gambar 3.1.



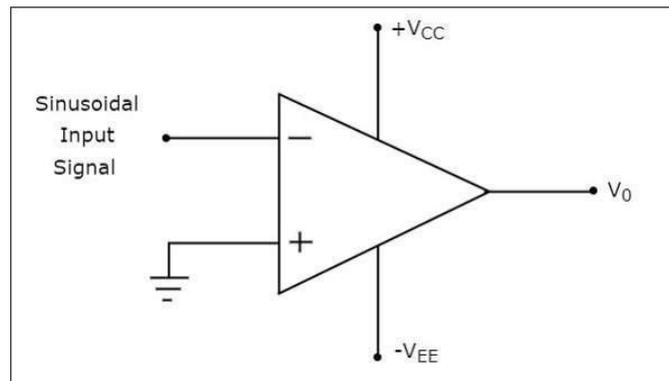
Gambar 3.1. Rangkaian Komparator Pembalik

Pengoperasian komparator pembalik sangat sederhana. Ini menghasilkan salah satu dari dua nilai, $+V_{sat} = V_{cc}$ dan $-V_{sat} = -V_{ee}$ pada output berdasarkan nilai tegangan inputnya V_i dan tegangan referensi V_{ref} .

- Nilai keluaran dari pembanding pembalik adalah $-V_{sat}$, dengan tegangan masukan V_i lebih besar dari tegangan referensi V_{ref} .
- Nilai keluaran dari pembanding pembalik adalah $+V_{sat}$, dimana masukan V_i lebih kecil dari tegangan referensi V_{ref} .

Contoh

Pada bagian ini akan diberikan contoh bentuk gelombang keluaran dari komparator pembalik ketika sinyal input sinus dan tegangan referensi nol volt diterapkan masing-masing ke terminal pembalik dan non-pembaliknya.

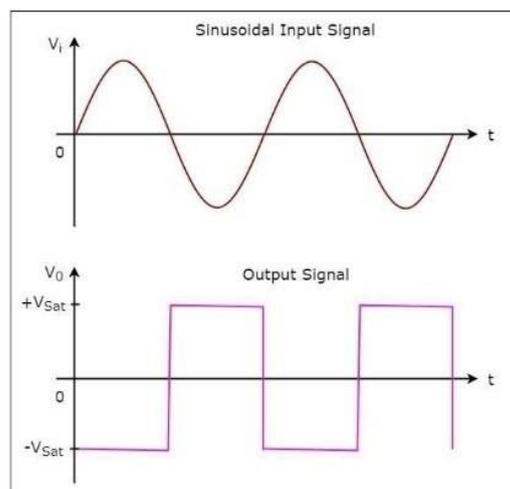


Gambar 3.2. Op-Amp Komparator Pembalik

Operasi komparator pembalik yang ditunjukkan pada Gambar 3.2 adalah sebagai berikut.

- Selama setengah siklus positif dari sinyal input sinus, tegangan yang ada pada terminal pembalik op-amp lebih besar dari nol volt. Oleh karena itu, nilai output dari pembanding pembalik akan sama dengan $-V_{sat}$ selama setengah siklus positif dari sinyal input sinus.
- Demikian pula, selama setengah siklus negatif dari sinyal input sinus, tegangan yang ada pada terminal pembalik op-amp kurang dari nol volt. Oleh karena itu, nilai output dari pembanding pembalik akan sama dengan $+V_{sat}$ selama setengah siklus negatif dari sinyal input sinus.

Gambar 3.3 menunjukkan bentuk gelombang input dan output dari komparator pembalik, ketika tegangan referensi adalah nol volt.



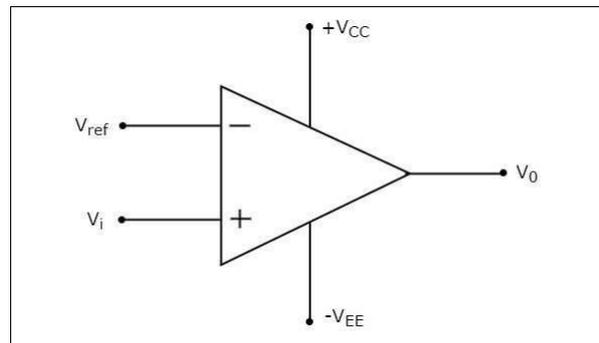
Gambar 3.3. Gelombang Input dan Output Komparator Pembalik

Pada Gambar 3.3 dapat diamati bahwa transisi keluaran baik dari $-V_{sat}$ ke $+V_{sat}$ atau dari $+V_{sat}$ ke $-V_{sat}$ setiap kali sinyal input sinusoidal melintasi nol volt. Dengan kata lain, output berubah nilainya ketika input melewati nol volt. Oleh karena itu, rangkaian Gambar 3.2 juga disebut sebagai detektor persilangan nol pembalik.

Komparator Non-Pembalik

Komparator non-pembalik adalah komparator berbasis op-amp dengan tegangan referensi diterapkan ke terminal pembaliknya dan tegangan input diterapkan ke terminal non-pembaliknya. Komparator berbasis op-amp ini disebut sebagai komparator non-pembalik

karena tegangan input, yang harus dibandingkan diterapkan ke terminal non-pembalikan dari op-amp. Diagram rangkaian komparator non-pembalikan ditunjukkan pada Gambar 3.4.



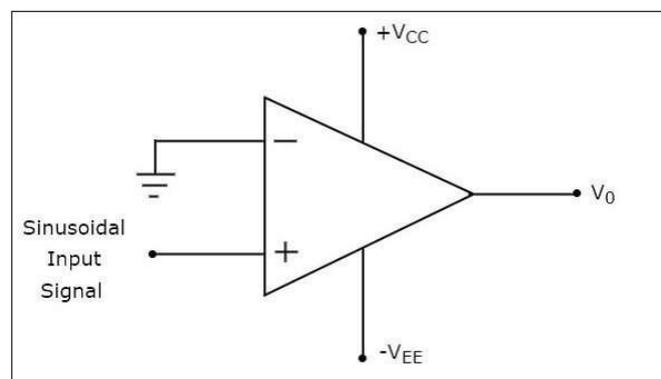
Gambar 3.4. Rangkaian Komparator Non Pembalik

Pengoperasian komparator non-pembalikan sangat sederhana. Ini menghasilkan salah satu dari dua nilai, $+V_{sat} = +V_{CC}$ dan $-V_{sat} = -V_{EE}$ pada output berdasarkan nilai tegangan input V_i dan tegangan referensi $+V_{ref}$.

- Nilai keluaran dari komparator non-pembalikan akan menjadi $+V_{sat}$, dengan tegangan input V_i lebih besar dari tegangan referensi $+V_{ref}$.
- Nilai keluaran dari komparator non-pembalikan akan menjadi $-V_{sat}$ dengan tegangan input V_i lebih kecil dari tegangan referensi $+V_{ref}$.

Contoh

Pada bagian ini akan diberikan contoh gambar bentuk gelombang keluaran dari komparator non-pembalikan, ketika sinyal input sinus dan tegangan referensi nol volt diterapkan ke terminal non-pembalikan dan pembalik dari op-amp masing-masing.

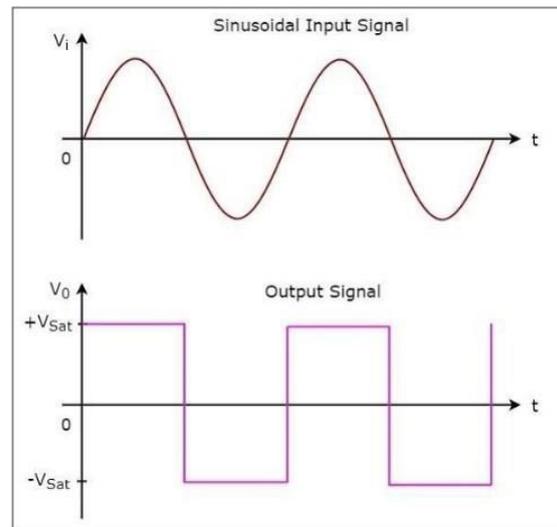


Gambar 3. 5 Rangkaian Op-Amp Komparator Non-Pembalikan

Operasi komparator non-pembalikan dijelaskan sebagai berikut

- Selama setengah siklus positif dari sinyal input sinus, tegangan yang ada pada terminal non-pembalikan op-amp lebih besar dari nol volt. Oleh karena itu, nilai output dari komparator non-pembalikan akan sama dengan $+V_{sat}$ selama setengah siklus positif dari sinyal input sinus.
- Demikian pula, selama setengah siklus negatif dari sinyal input sinus, tegangan yang ada pada terminal non-pembalikan op-amp kurang dari nol volt. Oleh karena itu, nilai keluaran komparator non-pembalikan akan sama dengan $-V_{sat}$ selama setengah siklus negatif dari sinyal input sinus.

Gambar 3.6 menunjukkan bentuk gelombang input dan output dari komparator non-pembalik, ketika tegangan referensi adalah nol volt.



Gambar 3.6. Gelombang Input dan Output Komparator Non Pembalik

Dari Gambar 3.6 dapat diamati bahwa transisi keluaran baik dari $+V_{sat}$ ke $-V_{sat}$ atau dari $-V_{sat}$ ke $+V_{sat}$ setiap kali sinyal input sinus melintasi nol volt. Itu berarti, output berubah nilainya ketika input melewati nol volt. Oleh karena itu, rangkaian pada Gambar 3.5 juga disebut sebagai detektor persimpangan nol non-pembalik.

Tugas Pendahuluan (20 Menit)

1. Gambarkan rangkaian op-amp sebagai komparator pembalik dan komparator non-pembalik.
2. Apa perbedaan hasil antara op-amp komparator pembalik dan op-amp komparator non-pembalik.

Langkah Percobaan (100 Menit)

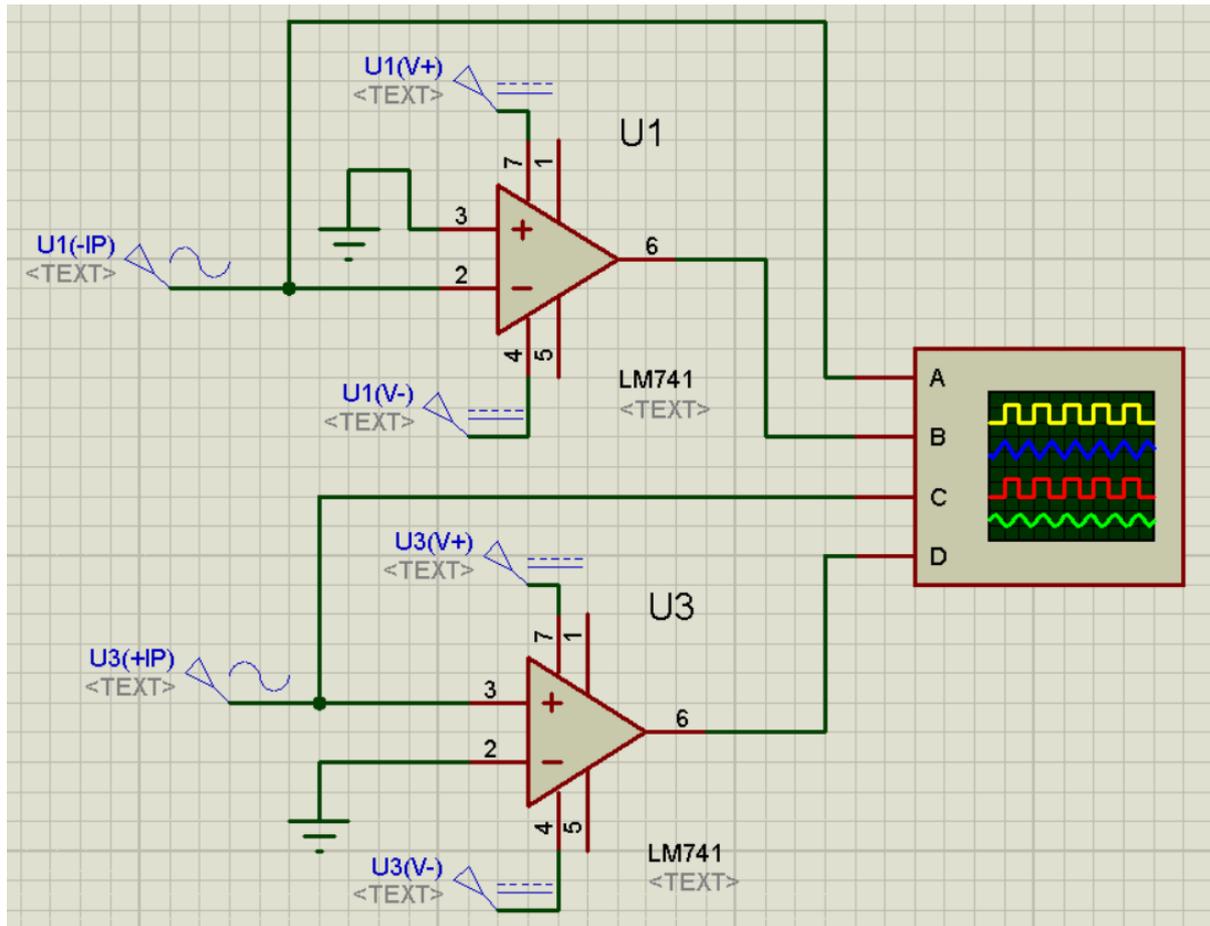
Buatlah rangkaian proteus seperti pada Gambar 3.7 yang berisi rangkaian op-amp komparator pembalik dan non pembalik. Komponen yang digunakan adalah Op Amp LM741, input sinyal sinus dan osiloskop. Tegangan catu daya op-amp adalah 5volt dan -5volt. Nilai amplitudo pada sinyal sinus adalah 5-volt dan nilai frekuensi sinyal sinus adalah 1-Hz. Gambarkan hasil sinyal input sinyal dan output komparator pada Tabel 3.1.

Komparator Pembalik

1. Berapa nilai tegangan referensi komparator pembalik pada Gambar 3.7?
2. Ketika sinyal sinus di puncak dimana letak sinyal output komparator pembalik?
3. Pada komparator pembalik, ketika nilai sinyal sinus lebih besar dari tegangan referensi, berapa nilai tegangannya?

Komparator Non-Pembalik

1. Berapa nilai tegangan referensi komparator non-pembalik pada Gambar 3.7?
2. Ketika sinyal sinus di lembah dimana letak sinyal output komparator non-pembalik?
3. Pada komparator non-pembalik, ketika nilai sinyal sinus lebih besar dari tegangan referensi, berapa nilai tegangannya?



Gambar 3.7. Rangkaian Op-Amp sebagai komparator pembalik dan non-pembalik

Tabel 3.1. Tabel pengamatan op-amp komparator
Gambar sinyal input dan sinyal output komparator inverting

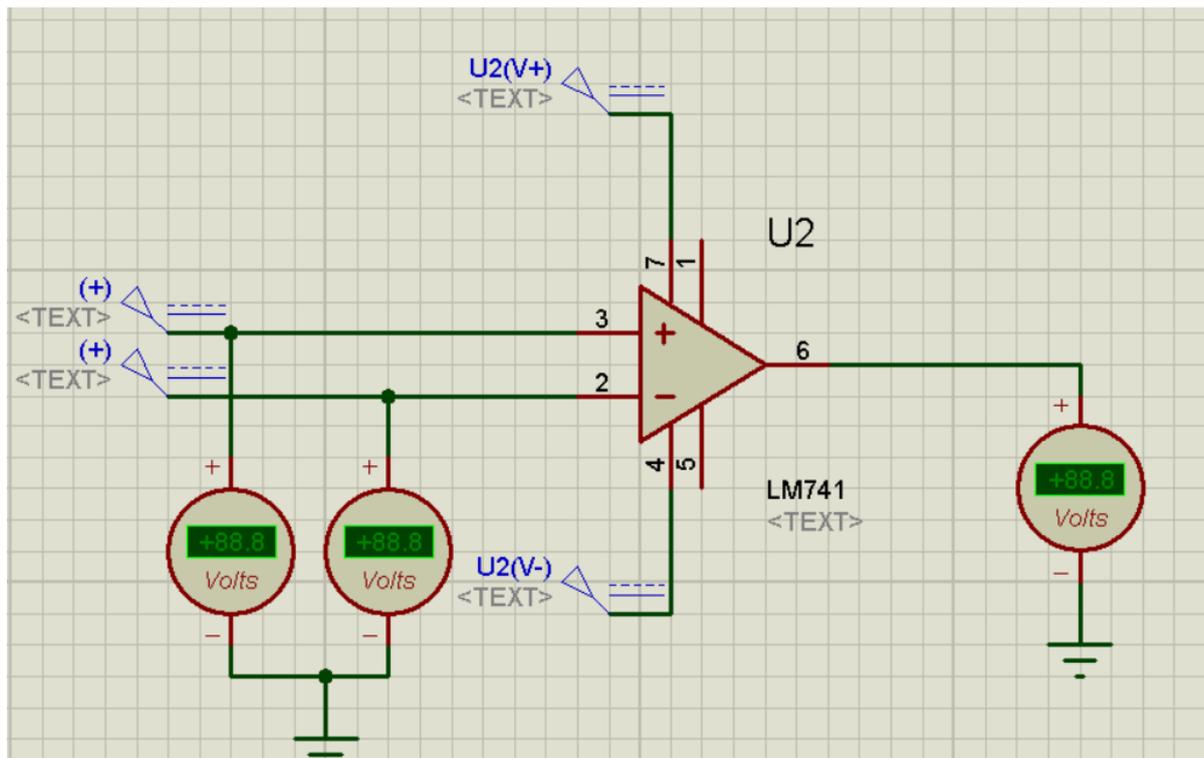
--

Gambar sinyal input dan sinyal output komparator non-inverting

--

Buatlah rangkaian proteus seperti pada Gambar 3.8. Komponen yang digunakan adalah Op Amp LM741, input sinyal DC dan voltmeter digital. Tegangan catu daya op-amp adalah 5volt dan -5volt. Ubah-Ubahlah nilai tegangan input pada bagian kaki inverting dan non-inverting op amp sesuai dengan Tabel 3.2. Lengkapi nilai pada tabel tersebut. Jawablah pertanyaan berikut.

1. Ketika tegangan input inverting lebih besar daripada tegangan input non-inverting, tegangan keluaran bernilai negatif atau positif? Bagaimana sebaliknya?
2. Ketika tegangan input non-inverting lebih besar daripada tegangan input inverting, tegangan keluaran bernilai negatif atau positif? Bagaimana sebaliknya?



Gambar 3.8. Rangkaian Op-Amp sebagai komparator

Tabel 3.2. Tabel pengamatan op-amp komparator

Tegangan Input Non-Inverting (Volt)	Tegangan Input Inverting (Volt)	Tegangan Output Volt Meter (Volt)
1	2,5	
2	2,5	
3	2,5	
4	2,5	
5	2,5	
2,5	1	
2,5	2	
2,5	3	
2,5	4	
2,5	5	

Tugas Mandiri

Buatlah persamaan untuk mendeskripsikan prinsip kerja dari komparator.

Praktikum Instrumentasi Elektronika Kendali Unit 4

Op-Amp sebagai Penyearah

Tujuan Praktikum

Mahasiswa memahami tentang cara kerja op-amp sebagai penyearah dan implementasinya.

Dasar Teori

AC dan DC adalah dua istilah yang sering Anda temui saat mempelajari aliran muatan listrik. Arus Bolak-balik (AC) memiliki sifat untuk mengubah keadaannya secara terus-menerus. Misalnya, jika kita memperhatikan gelombang sinus, arus mengalir dalam satu arah untuk setengah siklus positif dan dalam arah yang berlawanan untuk setengah siklus negatif. Di sisi lain, Arus Searah (DC) mengalir hanya dalam satu arah.

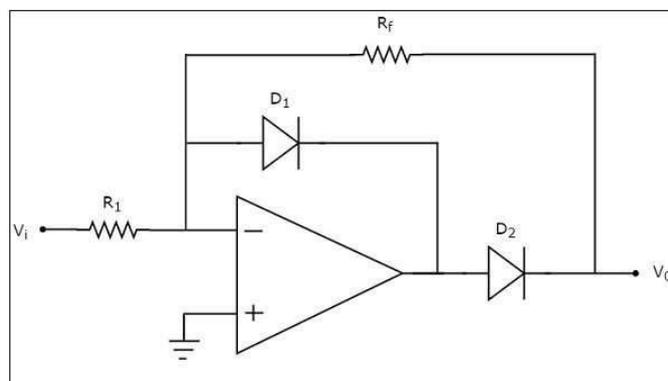
Sirkuit elektronik yang menghasilkan sinyal DC atau sinyal DC berdenyut, ketika sinyal AC diterapkan padanya disebut sebagai penyearah. Bab ini membahas tentang penyearah berbasis op-amp secara rinci.

Jenis Penyearah

Penyearah diklasifikasikan menjadi dua jenis: Penyearah setengah gelombang dan Penyearah gelombang penuh. Bagian ini membahas tentang kedua jenis ini secara rinci.

Penyearah Setengah Gelombang

Penyearah setengah gelombang adalah penyearah yang menghasilkan setengah siklus positif pada output untuk satu setengah siklus input dan output nol untuk setengah siklus lainnya. Diagram rangkaian penyearah setengah gelombang ditunjukkan pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1. Rangkaian Op-Amp Penyearah Setengah Gelombang

Perhatikan bahwa diagram rangkaian penyearah setengah gelombang yang ditunjukkan pada Gambar 4.1 terlihat seperti penguat pembalik, dengan dua dioda D_1 dan D_2 sebagai tambahan.

Cara kerja rangkaian penyearah setengah gelombang yang ditunjukkan pada Gambar 4.1 dijelaskan sebagai berikut.

- Untuk setengah siklus positif dari input sinusoidal, output dari op-amp akan menjadi negatif. Oleh karena itu, dioda D_1 akan dibias maju.
- Ketika dioda D_1 dalam bias maju, tegangan keluaran op-amp akan menjadi $-0,7V$. Jadi, dioda D_2 akan dibias mundur. Oleh karena itu, tegangan output dari rangkaian tersebut adalah nol volt.

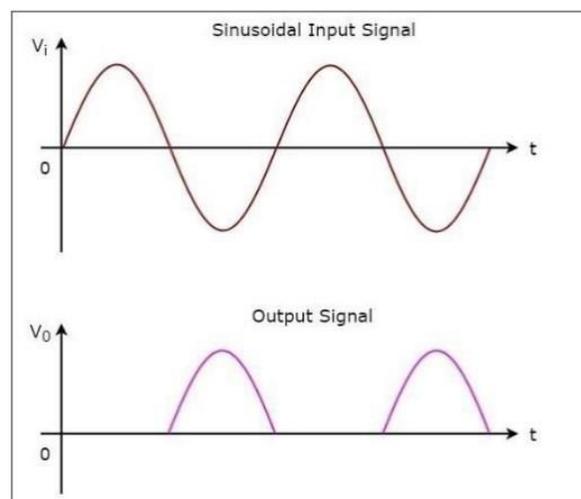
- Oleh karena itu, tidak ada keluaran (nol) dari penyearah setengah gelombang untuk setengah siklus positif dari masukan sinusoidal
- Untuk setengah siklus negatif input sinusoidal, output op-amp akan positif. Oleh karena itu, dioda D_1 dan D_2 masing-masing akan dibias mundur dan dibias maju. Jadi, tegangan keluaran rangkaian tersebut adalah

$$V_0 = -\left(\frac{R_f}{R_1}\right) V_1 \quad (4.1)$$

- Oleh karena itu, output dari penyearah setengah gelombang akan menjadi setengah siklus positif untuk setengah siklus negatif dari input sinusoidal.

Bentuk gelombang

Bentuk gelombang input dan output dari penyearah setengah gelombang ditunjukkan pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2. Hasil Gelombang Penyearah Setengah Gelombang

Seperti yang dapat dilihat dari grafik pada Gambar 4.2, diagram rangkaian penyearah setengah gelombang yang dibahas akan menghasilkan setengah siklus positif untuk setengah siklus negatif input sinusoidal dan output nol untuk setengah siklus positif input sinusoidal.

Penyearah Gelombang Penuh

Penyearah gelombang penuh menghasilkan setengah siklus positif pada output untuk kedua setengah siklus input. Diagram rangkaian penyearah gelombang penuh ditunjukkan pada Gambar 4.3.

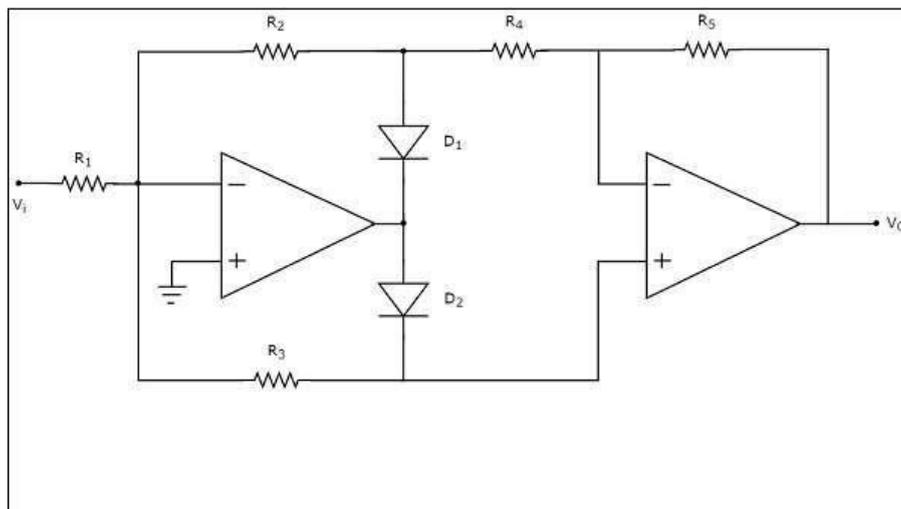
Diagram rangkaian pada Gambar 4.3 terdiri dari dua op-amp, dua dioda, D_1 & D_2 dan lima resistor, R_1 hingga R_5 . Cara kerja rangkaian penyearah gelombang penuh yang ditunjukkan di atas dijelaskan sebagai berikut.

- Untuk setengah siklus positif dari input sinusoidal, output dari op-amp pertama akan negatif. Oleh karena itu, dioda D_1 dan D_2 masing-masing akan dibias maju dan dibias mundur.
- Maka tegangan keluaran op-amp pertama adalah

$$V_{01} = -\left(\frac{R_f}{R_1}\right) V_i \quad (4.2)$$

- Amati bahwa keluaran op-amp pertama terhubung ke resistor R_4 , yang terhubung ke terminal pembalik op-amp kedua. Tegangan yang ada pada terminal non-pembalik op-amp kedua adalah 0V. Jadi, op-amp kedua dengan resistor, R_4 dan R_5 bertindak sebagai penguat pembalik.
- Tegangan keluaran op-amp kedua adalah

$$V_0 = - \left(\frac{R_0}{R_4} \right) V_{01} \quad (4.3)$$



Gambar 4.3. Rangkaian Op-Amp Penyearah Gelombang Penuh

Mensubstitusi nilai V_{01} dalam Persamaan (4.3), maka didapatkan

$$V_0 = - \left(\frac{R_5}{R_4} \right) \left\{ - \left(\frac{R_2}{R_1} \right) V_i \right\} \quad (4.3)$$

$$V_0 = - \left(\frac{R_2 R_5}{R_1 R_4} \right) V_i \quad (4.4)$$

- Oleh karena itu, output dari penyearah gelombang penuh akan menjadi setengah siklus positif untuk setengah siklus positif dari input sinusoidal. Dalam hal ini, diperoleh nilai output adalah

$$\frac{R_2 R_5}{R_1 R_4}$$

Jika diketahui $R_1 = R_2 = R_4 = R_5 = R$, maka diperoleh nilai output yaitu satu.

- Untuk setengah siklus negatif dari input sinusoidal, output dari op-amp pertama akan menjadi positif. Oleh karena itu, dioda D_1 dan D_2 masing-masing akan dibias mundur dan dibias maju.
- Tegangan keluaran op-amp pertama adalah

$$V_0 = \left(\frac{R_3}{R_1} \right) V_i \quad (4.5)$$

- Output dari op-amp pertama terhubung langsung ke terminal non-pembalik dari op-amp kedua. Sekarang, op-amp kedua dengan resistor, R_4 dan R_5 bertindak sebagai penguat non-pembalik.

Tegangan keluaran op-amp kedua adalah

$$V_0 = \left(1 + \frac{R_5}{R_4}\right) V_{01} \quad (4.6)$$

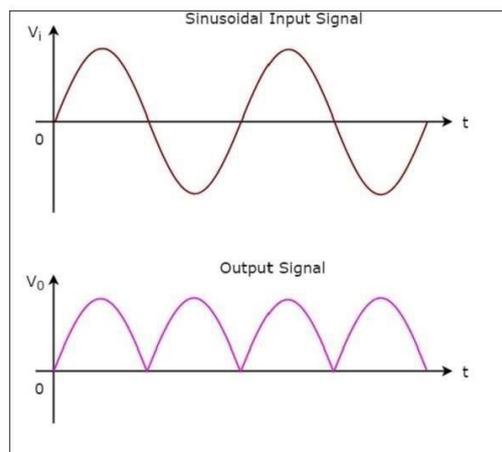
Mensubstitusi nilai V_{01} dalam Persamaan (4.6), diperoleh

$$V_0 = - \left(1 + \frac{R_5}{R_4}\right) \left\{ - \left(\frac{R_3}{R_1}\right) V_i \right\} \quad (4.7)$$

$$V_0 = - \left(\frac{R_3}{R_1}\right) \left(1 + \frac{R_5}{R_4}\right) V_i \quad (4.8)$$

- Oleh karena itu, output penyearah gelombang penuh akan menjadi setengah siklus positif untuk setengah siklus negatif input sinusoidal juga. Dalam hal ini, besarnya penguatan output adalah $\left(\frac{R_3}{R_1}\right) \left(1 + \frac{R_5}{R_4}\right)$. Jika diketahui $R_1 = R_3 = R_4 = R_5 = R$ maka diperoleh nilai output yaitu satu.

Bentuk gelombang input dan output dari penyearah gelombang penuh ditunjukkan pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4. Hasil Gelombang Penyearah Gelombang Penuh

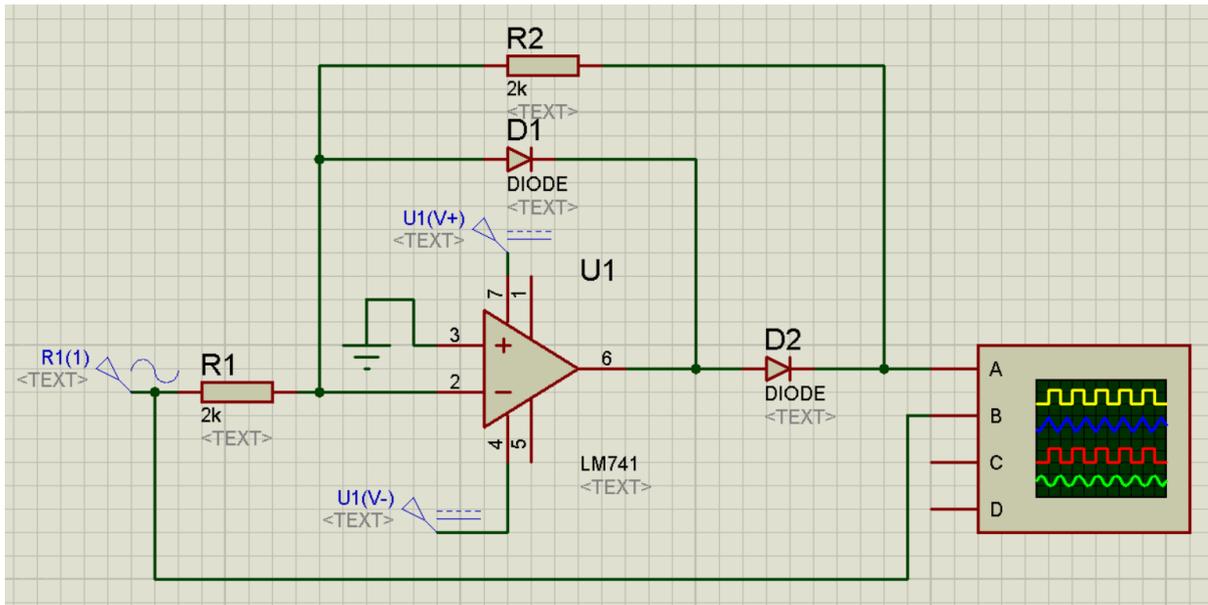
Seperti yang dapat dilihat pada Gambar 4.4, diagram rangkaian penyearah gelombang penuh hanya akan menghasilkan setengah siklus positif untuk setengah siklus positif dan negatif dari input sinusoidal.

Tugas Pendahuluan (20 Menit)

1. Bagaimana prinsip kerja op-amp sebagai penyearah setengah gelombang?
2. Bagaimana prinsip kerja op-amp sebagai penyearah gelombang penuh?

Langkah Percobaan (100 Menit)

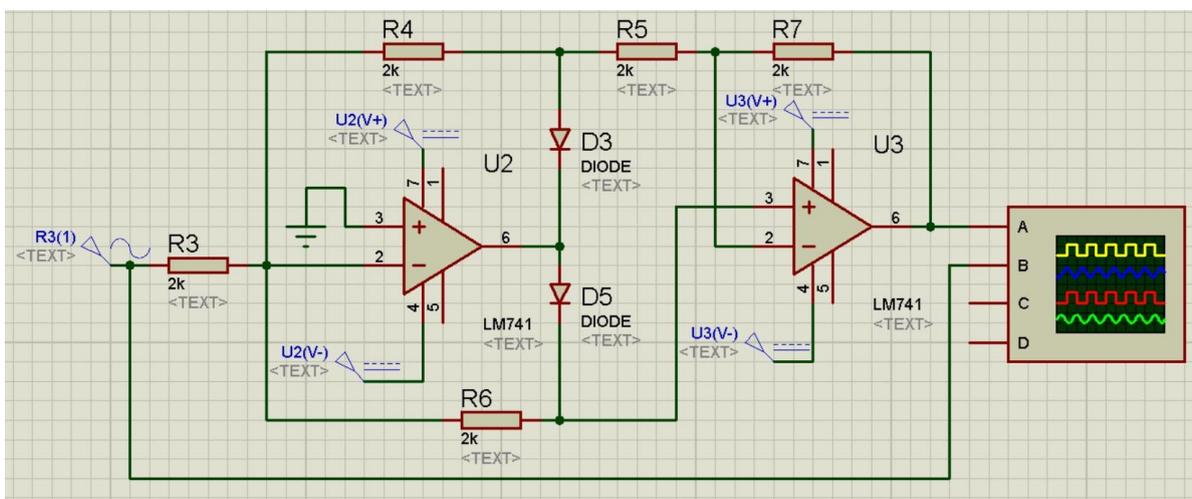
Buatlah rangkaian proteus seperti pada Gambar 4.5 dan Gambar 4.6 yang berisi rangkaian op-amp penyearah setengah gelombang dan gelombang penuh. Komponen yang digunakan adalah Op Amp LM741, input sinyal sinus, resistor 2K, dioda dan osiloskop. Tegangan catu daya op-amp adalah 12volt dan -12volt. Nilai amplitudo pada sinyal sinus adalah 3-volt dan nilai frekuensi sinyal sinus adalah 10Hz. Gambarkan hasil sinyal input dan sinyal output penyearah pada Tabel 4.1. dan Tabel 4.2.



Gambar 4.5. Rangkaian Op-Amp Penyearah Setengah Gelombang

Tabel 4.1. Hasil Pengamatan Op-Amp Penyearah Setengah Gelombang
Gambar Sinyal Input dan Output Op-Amp Penyearah Setengah Gelombang

--



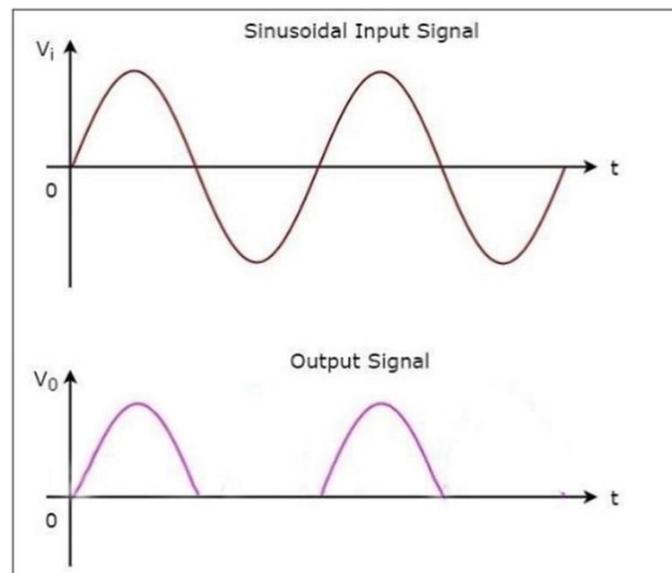
Gambar 4.6. Rangkaian Op-Amp Penyearah Gelombang Penuh

Tabel 4.2. Hasil Pengamatan Op-Amp Penyearah Gelombang Penuh
Gambar Sinyal Input dan Output Op-Amp Penyearah Gelombang Penuh

--

Tugas Mandiri

Modifikasi rangkaian pada Gambar 4.5 agar output menjadi setengah siklus positif untuk setengah siklus positif dari input sinusoidal seperti pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7. Hasil Gelombang Penyearah Setengah Gelombang

Praktikum Instrumentasi Elektronika Kendali Unit 5

Op-Amp sebagai Clippers

Tujuan Praktikum

Mahasiswa memahami tentang cara kerja op-amp sebagai Clippers (pemotong sinyal) dan implementasinya.

Dasar Teori

Sirkuit pembentuk gelombang adalah sirkuit elektronik yang menghasilkan bentuk yang diinginkan pada output dari bentuk gelombang input yang diterapkan. Sirkuit ini melakukan dua fungsi yaitu

- Melemahkan gelombang yang diterapkan
- Mengubah level DC dari gelombang yang diterapkan.

Ada dua jenis rangkaian pembentuk gelombang: clippers (pemotong sinyal) dan clampers (Penggeser). Dalam bab ini akan dipelajari secara rinci tentang Clippers.

Clippers Berbasis Op-Amp

Clippers adalah sirkuit elektronik yang menghasilkan output dengan menghapus bagian dari input di atas atau di bawah nilai referensi. Maka, output dari clippers akan sama dengan input untuk selain bagian yang dipotong. Oleh karena itu, amplitudo puncak ke puncak dari output clippers akan selalu lebih kecil dari input.

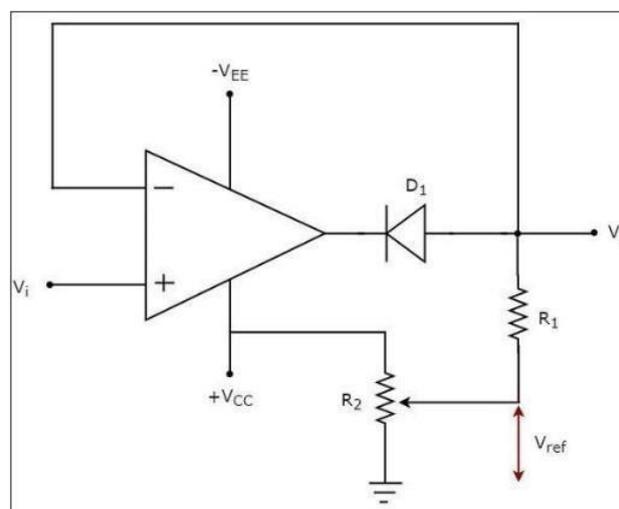
Keuntungan utama dari clippers adalah dapat menghilangkan noise yang tidak diinginkan yang ada dalam amplitudo sinyal AC. Clippers dapat diklasifikasikan ke dalam dua jenis berdasarkan bagian hasil clippers dari input yaitu

- Clippers Positif
- Clippers Negatif

Kedua jenis clippers tersebut secara rinci dibahas pada bab ini sebagai berikut.

Clippers Positif

Clippers positif adalah clippers yang hanya memotong bagian positif dari sinyal input. Diagram rangkaian clippers positif ditunjukkan pada Gambar 5.1.



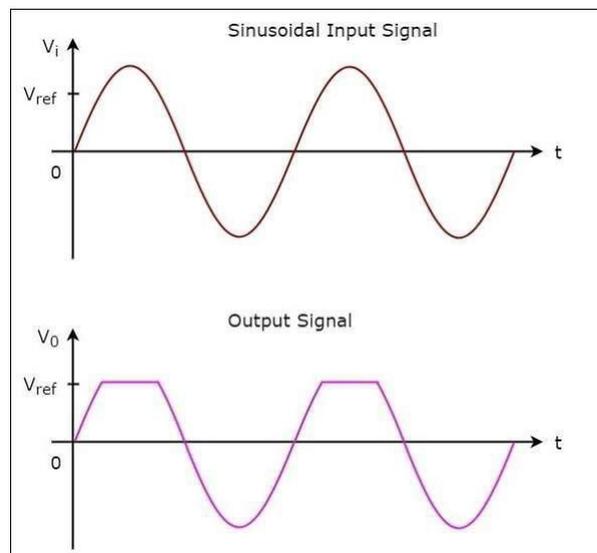
Gambar 5.1. Rangkaian Clippers Positif

Dalam rangkaian yang ditunjukkan pada Gambar 5.1, sinyal tegangan sinusoidal V_i diterapkan ke terminal non-pembalik op-amp. Nilai tegangan referensi V_{ref} dapat dipilih dengan memvariasikan resistor R_2 .

Pengoperasian rangkaian yang ditunjukkan Gambar 5.1 dijelaskan sebagai berikut.

- Jika nilai tegangan input V_i lebih kecil dari nilai tegangan referensi V_{ref} , maka dioda D_1 konduksi. Kemudian, rangkaian berperilaku sebagai pengikut tegangan. Oleh karena itu, tegangan keluaran V_0 dari rangkaian akan sama dengan tegangan masukan V_i , untuk $V_i < V_{ref}$.
- Jika nilai tegangan input V_i lebih besar dari nilai tegangan referensi V_{ref} , maka diode D_1 akan mati. Sekarang, op-amp beroperasi dalam loop terbuka karena jalur umpan balik terbuka. Oleh karena itu, tegangan keluaran V_0 dari rangkaian akan sama dengan nilai tegangan referensi V_{ref} , untuk $V_i > V_{ref}$.

Bentuk gelombang input dan bentuk gelombang output dari clipper positif untuk tegangan referensi positif V_{ref} ditunjukkan pada Gambar 5.2.



Gambar 5.2. Hasil Clippers Positif

Clipper Negatif

Clipper negatif adalah clipper yang hanya memotong bagian negatif dari sinyal input. Rangkaian clipper negatif dapat diperoleh dengan membalik diode dan mengambil polaritas terbalik dari tegangan referensi, di sirkuit yang telah Anda lihat untuk clipper positif. Diagram rangkaian clipper negatif ditunjukkan pada Gambar 5.3.

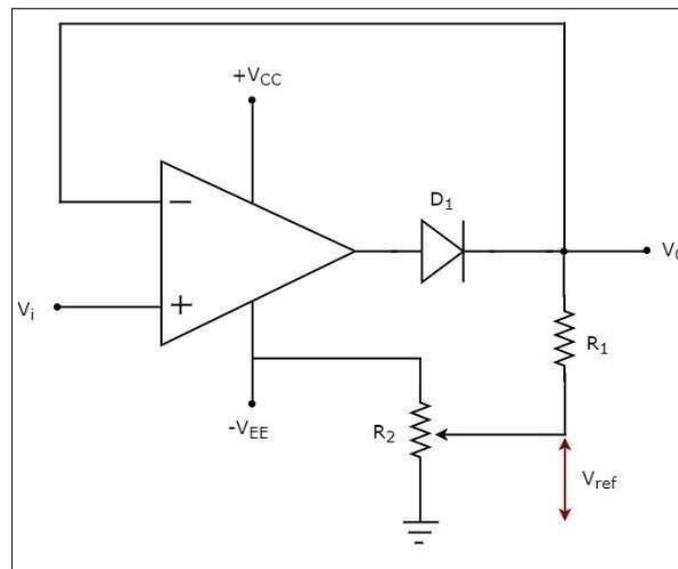
Pada rangkaian Gambar 5.3, sinyal tegangan sinusoidal V_i diterapkan ke terminal non-pembalik op-amp. Nilai tegangan referensi V_{ref} dapat dipilih dengan memvariasikan resistor R_2 .

Pengoperasian rangkaian clipper negatif dijelaskan sebagai berikut.

- Jika nilai tegangan input V_i lebih besar dari nilai tegangan referensi V_{ref} , maka dioda D_1 konduksi. Kemudian, rangkaian berperilaku sebagai pengikut tegangan. Oleh karena itu,

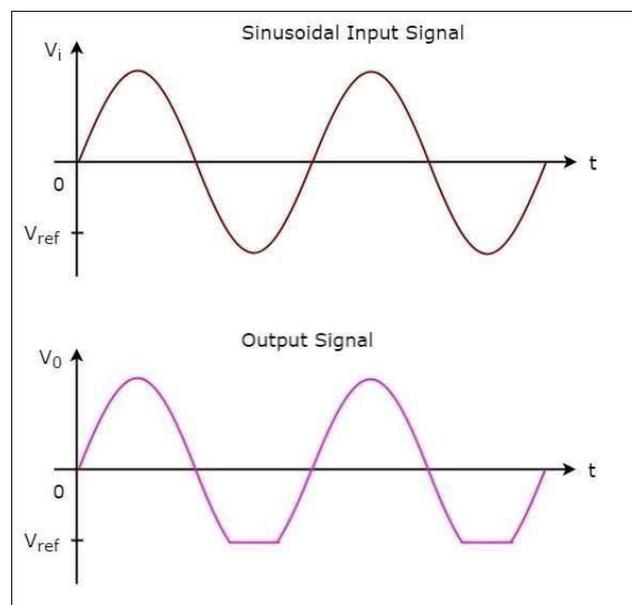
tegangan keluaran V_0 dari rangkaian akan sama dengan tegangan masukan V_i untuk $V_i > V_{ref}$.

- Jika nilai tegangan input V_i lebih kecil dari nilai tegangan referensi, maka dioda D_1 akan mati. Sekarang, op-amp beroperasi dalam loop terbuka karena jalur umpan balik terbuka. Oleh karena itu, tegangan keluaran V_0 dari rangkaian akan sama dengan nilai tegangan referensi, V_{ref} untuk $V_i < V_{ref}$.



Gambar 5.3. Rangkaian Clippers Negatif

Bentuk gelombang input dan bentuk gelombang output yang sesuai dari clipper negatif, untuk tegangan referensi negatif V_{ref} , ditunjukkan pada Gambar 5.4.



Gambar 5.4. Hasil Clippers Negatif

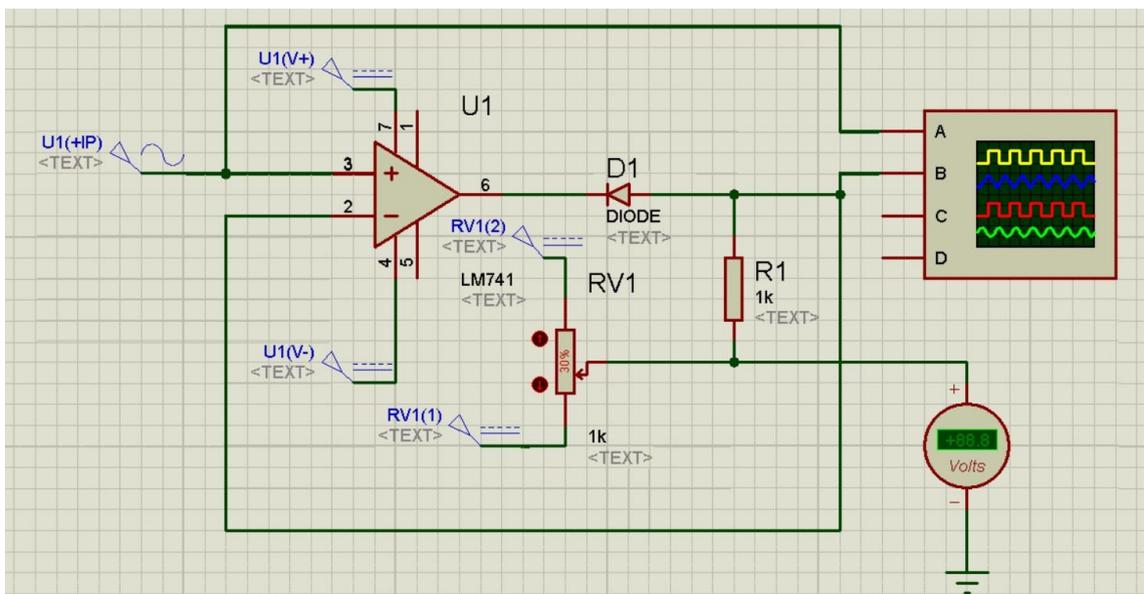
Tugas Pendahuluan (20 Menit)

1. Bagaimana prinsip kerja op-amp sebagai clippers positif?
2. Bagaimana prinsip kerja op-amp sebagai clippers negatif?

Langkah Percobaan (100 Menit)

Op Amp Clippers Positif

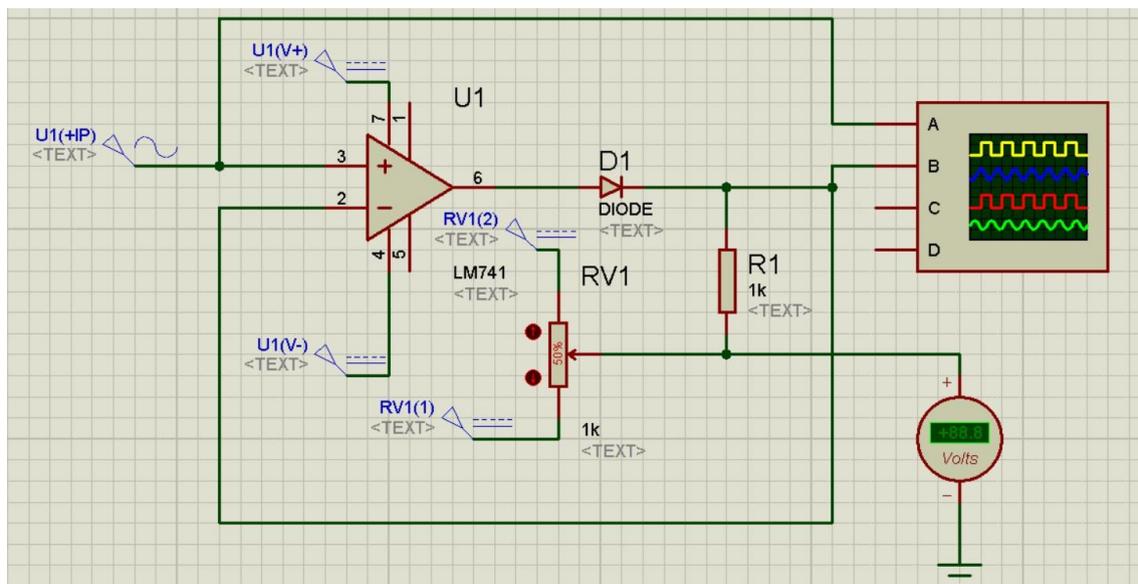
Buatlah rangkaian proteus op-amp clippers positif seperti pada Gambar 5.5. Komponen yang digunakan adalah Op Amp LM741, input sinyal sinus, resistor 1K, potensiometer 1K, diode, voltmeter digital dan osiloskop. Tegangan catu daya op-amp adalah 5volt dan -5volt. Tegangan catu daya potensiometer adalah 5volt dan 0volt. Nilai amplitudo sinyal sinus adalah 3volt dan nilai frekuensinya adalah 10Hz. Ubah-ubahlah nilai persentase potensiometer sesuai pada Tabel 5.1. Gambarkan sinyal input dan sinyal output clippers.



Gambar 5.5. Simulasi Proteus Op Amp Clippers Positif

Op Amp Clippers Negatif

Modifikasi rangkaian proteus pada Gambar 5.5 menjadi rangkaian proteus clippers negatif seperti Gambar 5.6. Tegangan catu daya potensiometer adalah 0volt dan -5volt. Ubah-ubahlah nilai persentase potensiometer sesuai pada Tabel 5.2. Gambarkan hasil sinyal input dan sinyal output.



Gambar 5.6. Simulasi Proteus Op Amp Clippers Negatif

Tabel 5.1. Hasil Percobaan Clippers Positif

Persentase	Amplitudo	Tegangan Referensi	Grafik Sinyal Sinus Input dan Output
100%			
60%			
50%			
40%			
20%			
10%			
0%			

1. Pada tegangan berapa sampai berapa gelombang sinus mulai terpotong?
2. Pada tegangan berapa sampai berapa gelombang sinus tidak terpotong?

Tabel 5.2. Hasil Percobaan Clippers Negatif

Persentase	Amplitudo	Tegangan Referensi	Grafik Sinyal Sinus Input dan Output
0%			
30%			
50%			
60%			
80%			
90%			
100%			

1. Pada tegangan berapa sampai berapa gelombang sinus mulai terpotong?
2. Pada tegangan berapa sampai berapa gelombang sinus tidak terpotong?

Tugas Mandiri

Hitunglah nilai tegangan referensi potensiometer dengan persamaan hukum pembagi tegangan.

Praktikum Instrumentasi Elektronika Kendali Unit 6

Op Amp Sebagai Filter Aktif

Pre-Test (20 Menit)

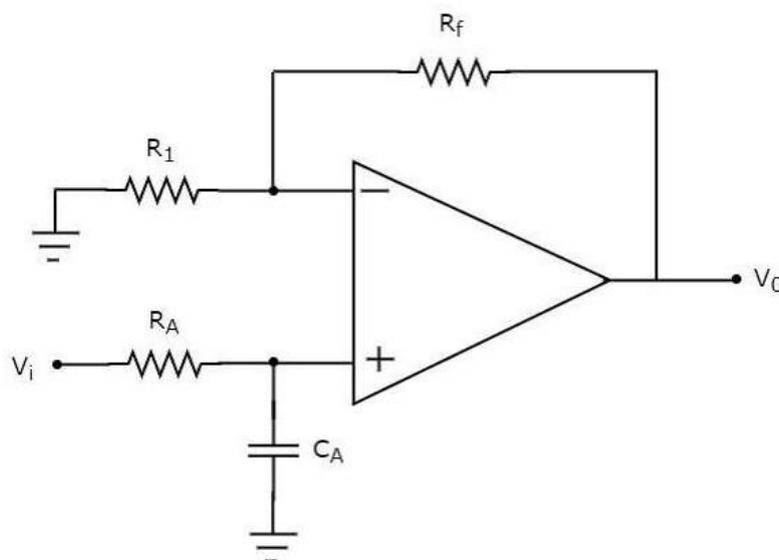
1. Apa yang dimaksud dengan Filter Aktif?
2. Pada *active low pass filter*, frekuensi apa yang diloloskan?
3. Pada *active high pass filter*, frekuensi apa yang diloloskan?

Filter Aktif

Filter adalah sirkuit elektronik yang meloloskan frekuensi tertentu dan/atau tidak meloloskan frekuensi lainnya. Filter aktif adalah rangkaian elektronik, yang terdiri dari elemen aktif seperti op-amp dengan elemen pasif seperti resistor dan kapasitor. Filter aktif umumnya diklasifikasikan ke dalam empat jenis berdasarkan pita frekuensi yang diizinkan dan/atau ditolak, yaitu *Active Low Pass Filter*, *Active High Pass Filter*, *Active Band Pass Filter*, dan *Active Band Stop Filter*.

A. Active Low Pass Filter

Active Low Pass Filter mengizinkan (meloloskan) hanya komponen frekuensi rendah dan menolak (memblokir) semua komponen frekuensi tinggi lainnya. Diagram rangkaian *Active Low Pass Filter* ditunjukkan pada gambar berikut 6.1.

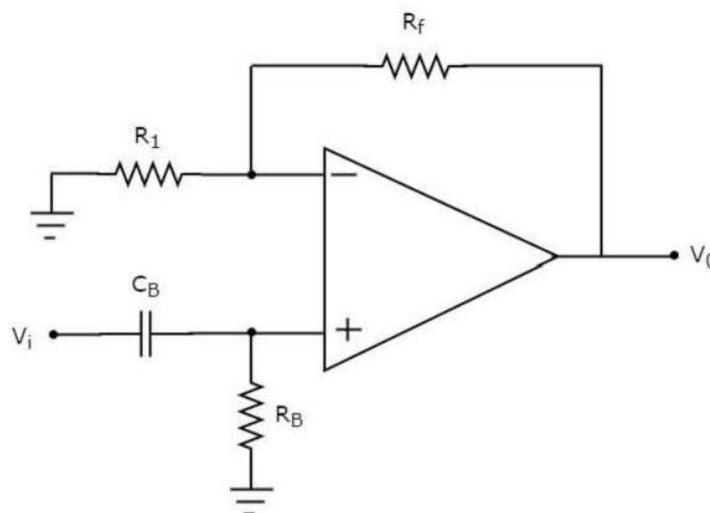


Gambar 6.1. Rangkaian *Active Low Pass Filter*

Seperti yang telah diketahui bahwa jaringan listrik yang terhubung ke terminal non-inverting dari sebuah op-amp adalah *Passive Low Pass Filter*. Jadi, input dari terminal non-inverting dari op-amp adalah output dari *Passive Low Pass Filter*. Perhatikan bahwa rangkaian di atas menyerupai penguat non-inverting. Rangkaian ini memiliki output dari *Passive Low Pass Filter* sebagai input ke terminal op-amp non-inverting. Oleh karena itu, rangkaian ini menghasilkan output, yaitu $(1 + \frac{R_f}{R_1})$ kali input yang ada pada terminal non-inverting. R_f dan R_1 dapat dipilih sesuai untuk mendapatkan gain yang diinginkan pada output. Misalkan, jika nilai resistansi R_f dan R_1 dianggap sebagai nol ohm dan ohm tak terhingga, maka rangkaian di atas akan menghasilkan output *Low Pass Filter* gain satu.

B. Active High Pass Filter

Active High Pass Filter mengizinkan (meloloskan) hanya komponen frekuensi tinggi dan menolak (memblokir) semua komponen frekuensi rendah lainnya. Diagram rangkaian filter lolos tinggi aktif ditunjukkan pada Gambar 6.2.



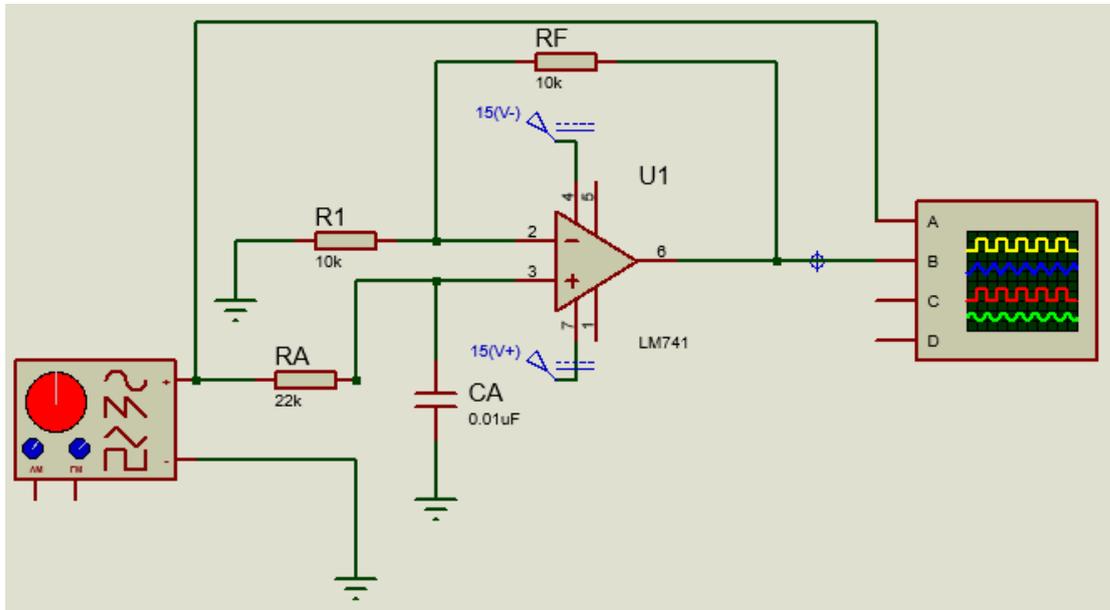
Gambar 6.2. Rangkaian *Active High Pass Filter*

Pada *Active High Pass Filter*, jaringan listrik terhubung ke terminal non-inverting dari sebuah op-amp. Jadi, input dari terminal opamp non-inverting adalah output dari *Active High Pass Filter*. Rangkaian di atas menyerupai penguat non-inverting. Rangkaian ini memiliki output dari *Active High Pass Filter* sebagai input ke terminal op-amp non-inverting. Oleh karena itu, rangkaian ini menghasilkan output, yaitu $(1 + \frac{R_f}{R_1})$ kali input yang ada pada terminal non-invertingnya. R_f dan R_1 dapat dipilih untuk mendapatkan gain yang diinginkan pada

output. Misalkan, jika kita menganggap nilai resistansi R_f dan R_1 sebagai nol ohm dan ohm tak terhingga, maka rangkaian di atas akan menghasilkan output *High Pass Filter* gain satu.

Langkah Percobaan (100 Menit)

A. Active Low Pass Filter



Gambar 6.3. Rangkaian *Active Low Pass Filter* dengan Proteus

1. Hubungkan rangkaian seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6.3.
2. Jalankan simulasi.
3. Hubungkan sinyal sinusoidal dengan amplitudo 1V (p-p) frekuensi 1KHz ke V_{in} dari *Low Pass filter* dari function generator.
4. Hubungkan Ch-1 dari osiloskop ke sumber sinyal
5. Amati keluaran pada Ch-2 dari osiloskop
6. Naikkan frekuensi sinyal input selangkah demi selangkah dan amati efeknya pada output V_{out} pada osiloskop

Tugas Mandiri

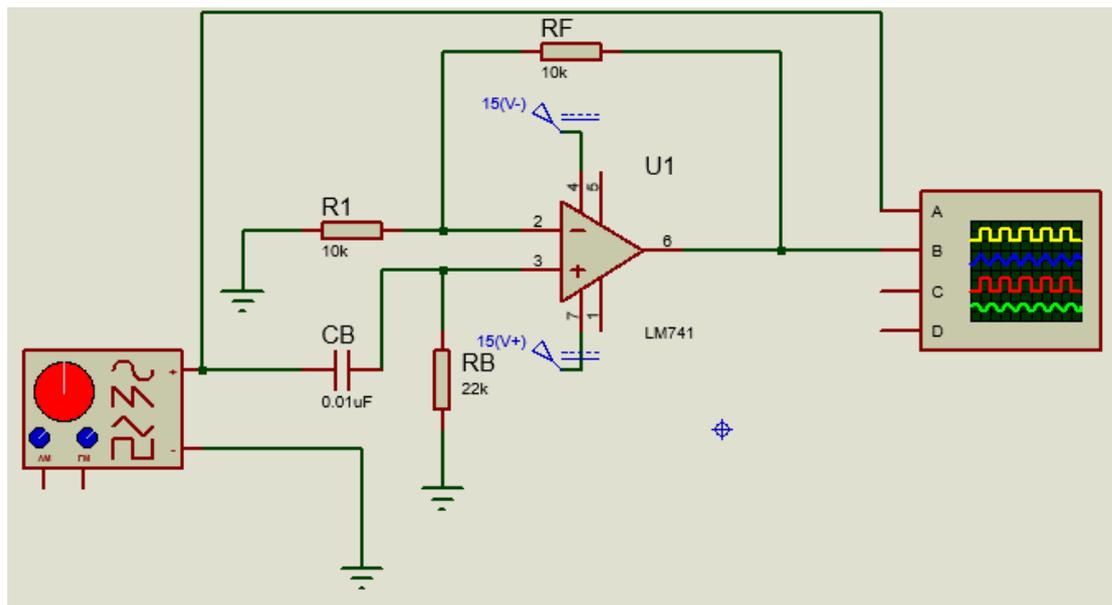
1. Tabulasi nilai V_{out} , dan gain pada nilai frekuensi input yang berbeda dengan melengkapi Tabel 6.1.
2. Screenshot hasil respon frekuensi *low pass filter* menggunakan data yang diperoleh pada frekuensi input yang berbeda.

Tabel 6.1. Tabel Pengamatan Percobaan *Active Low Pass Filter*

No.	Frekuensi Input (Hz)	V_{out} (V)	$Gain = \left \frac{V_{out}}{V_{in}} \right $
1.	300		
2.	500		
3.	1K		
4.	5K		
5.	10K		

Gambar Hasil Keluaran

300 Hz	500 Hz
1K Hz	5K Hz
10K Hz	

B. *Active High Pass Filter*Gambar 6.4. Rangkaian *Active High Pass Filter* dengan Proteus

1. Hubungkan rangkaian seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6.4.
2. Jalankan simulasi.
3. Hubungkan sinyal sinusoidal dengan amplitudo 1V (p-p) frekuensi 1KHz ke V_{in} dari *High Pass filter* dari function generator.
4. Hubungkan Ch-1 dari osiloskop ke sumber sinyal
5. Amati keluaran pada Ch-2 dari osiloskop
6. Naikkan frekuensi sinyal input selangkah demi selangkah dan amati efeknya pada output V_{out} pada osiloskop

Tugas Mandiri

1. Tabulasi nilai V_{out} , dan gain pada nilai frekuensi input yang berbeda dengan melengkapi Tabel 6.2.
2. Screenshot hasil respon frekuensi *high pass filter* menggunakan data yang diperoleh pada frekuensi input yang berbeda.

Tabel 6.2. Tabel Pengamatan Percobaan *Active High Pass Filter*

No.	Frekuensi Input (Hz)	V_{out} (V)	$Gain = \left \frac{V_{out}}{V_{in}} \right $
1.	300		
2.	500		
3.	1K		
4.	5K		
5.	10K		

Gambar Hasil Keluaran

300 Hz	500 Hz
1K Hz	5K Hz
10K Hz	

Praktikum Instrumentasi Elektronika Kendali Unit 7

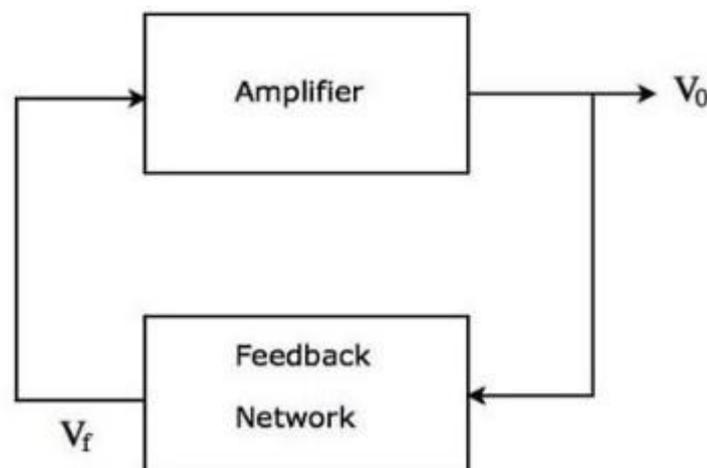
Op Amp Sebagai Oscillator Sinusoidal

Pre-Test (20 Menit)

1. Apa yang dimaksud dengan osilator?
2. Bagaimana cara kerja osilator sinusoidal?

Oscillator Sinusoidal

Osilator adalah rangkaian elektronik yang menghasilkan sinyal periodik. Jika osilator menghasilkan osilasi sinusoidal, maka disebut sebagai osilator sinusoidal. Osilator sinusoidal ini mengubah energi input dari sumber DC menjadi energi output AC dari sinyal periodik. Sinyal periodik ini akan memiliki frekuensi dan amplitudo tertentu. Diagram blok osilator sinusoidal ditunjukkan pada Gambar 7.1.



Gambar 7.1. Diagram blok osilator sinusoidal

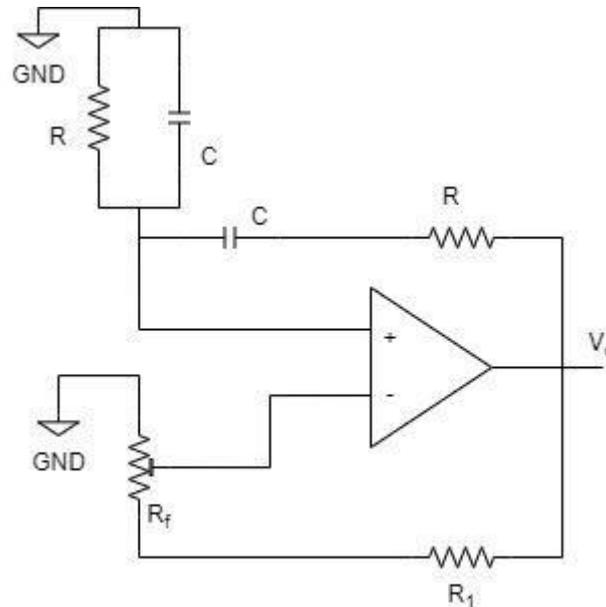
Gambar 7.1 terdiri dari dua blok: penguat dan jaringan umpan balik. Jaringan umpan balik dari output penguat sebagai input dan menghasilkan sinyal tegangan. Sinyal tegangan ini diterapkan sebagai input ke amplifier. Diagram blok osilator sinusoidal yang ditunjukkan pada Gambar 7.1 menghasilkan osilasi sinusoidal, ketika dua kondisi berikut dipenuhi:

- Penguatan loop $A_v\beta$ dari diagram blok osilator sinusoidal di atas harus lebih besar atau sama dengan satu. Di sini, A_v dan β masing-masing adalah penguatan penguat dan penguatan jaringan umpan balik.
- Pergeseran fasa total di sekitar loop diagram blok di atas dari osilator sinusoidal harus 0° atau 360° .

Kedua kondisi di atas bersama-sama disebut sebagai kriteria Barkhausen.

Wien Bridge Oscillator

Osilator berbasis op-amp, yang menghasilkan sinyal tegangan sinusoidal pada output dengan bantuan penguat non-inverting dan jaringan umpan balik dikenal sebagai Wien bridge osilator. Diagram rangkaian Wien bridge osilator ditunjukkan pada Gambar 7.3.



Gambar 7.3. Rangkaian Wien bridge osilator

Dalam rangkaian yang ditunjukkan Gambar 7.3, untuk Wien bridge osilator, op-amp beroperasi dalam mode non-inverting. Oleh karena itu, op-amp memberikan pergeseran fasa 0° . Jadi, jaringan umpan balik yang ada di rangkaian di atas seharusnya tidak memberikan pergeseran fasa apa pun. Jika jaringan umpan balik memberikan beberapa pergeseran fasa, maka harus diseimbangkan sedemikian rupa sehingga tidak boleh ada pergeseran fasa. Jadi, rangkaian di atas memberikan pergeseran fasa total 0° pada beberapa frekuensi.

- Frekuensi keluaran Wien bridge osilator adalah

$$f = \frac{1}{2\pi RC}$$

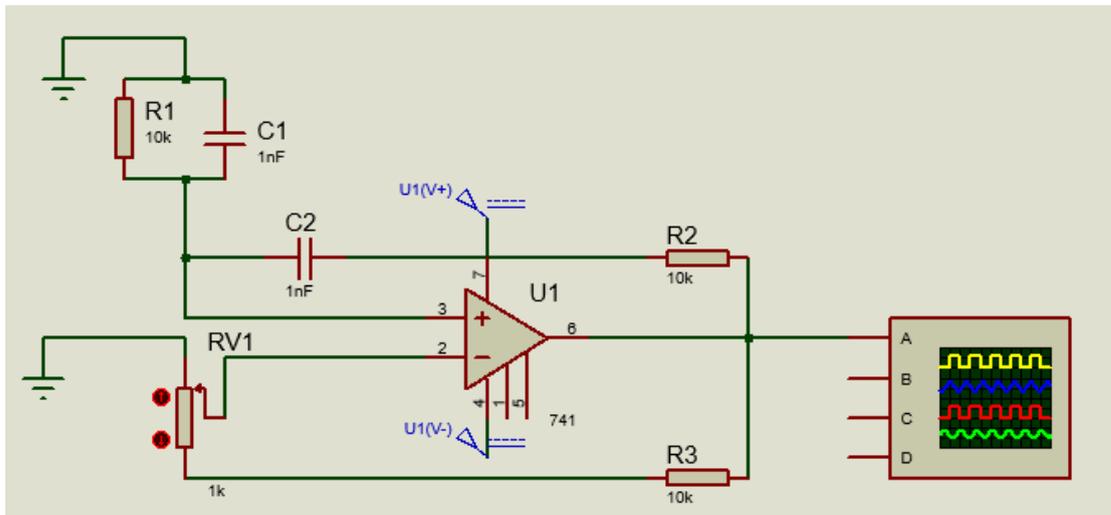
- Gain A_v dari penguat non-inverting harus lebih besar dari atau sama dengan 3

$$\begin{aligned} 1 + \frac{R_f}{R_1} &\geq 3 \\ &= \frac{R_f}{R_1} \geq 2 \\ &= R_f \geq 2R_1 \end{aligned}$$

Jadi, nilai resistor umpan balik R_f harus dipertimbangkan setidaknya dua kali nilai resistor, R_1 untuk menghasilkan osilasi berkelanjutan pada output Wien bridge osilator.

Langkah Percobaan (100 Menit)

A. Wien bridge ocillator



Gambar 7.4. Rangkaian Wien bridge ocillator dengan Proteus

1. Hubungkan rangkaian seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7.4.
2. Jalankan simulasi.

Tugas Mandiri

1. Atur resistor variable (potensiometer) dalam beberapa nilai.
2. Lengkapi Tabel 7.1

Tahanan (Ω)	Tegangan output (Volt)

Praktikum Instrumentasi Elektronika Kendali Unit 8

Op Amp Sebagai Pembangkit Gelombang

Pre-Test (20 Menit)

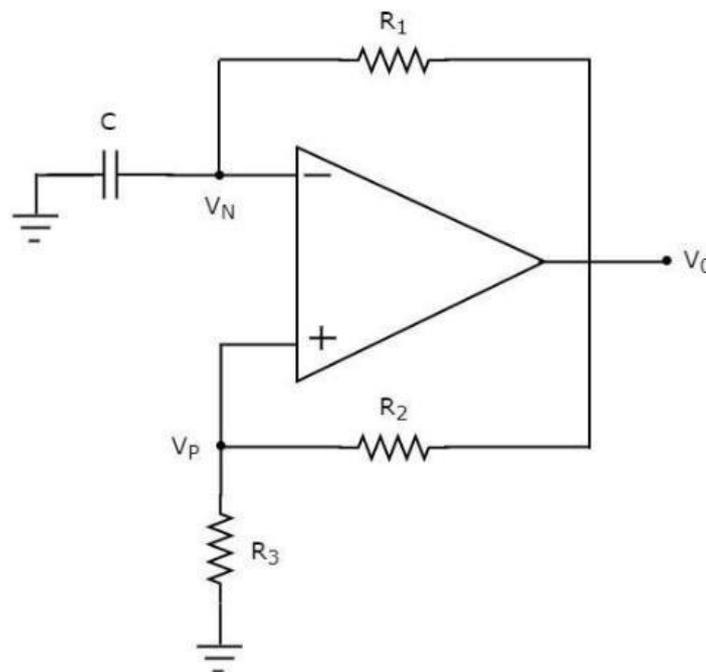
1. Apa yang dimaksud dengan pembangkit gelombang?
2. Apa perbedaan pembangkit gelombang persegi dan pembangkit gelombang segitiga?
3. Dari sisi rangkaian, apa yang membedakan antara rangkaian pembangkit gelombang persegi dan pembangkit gelombang segitiga?

Pembangkit Gelombang

Pembangkit gelombang adalah sirkuit elektronik yang menghasilkan gelombang standar. Ada dua jenis generator bentuk gelombang berbasis op-amp, yaitu *Square wave generator* (pembangkit gelombang persegi) dan *Triangular wave generator* (pembangkit gelombang segitiga).

A. Pembangkit Gelombang Persegi

Pembangkit gelombang persegi adalah rangkaian elektronik yang menghasilkan gelombang persegi. Diagram rangkaian pembangkit gelombang persegi berbasis op-amp ditunjukkan pada Gambar 8.1.



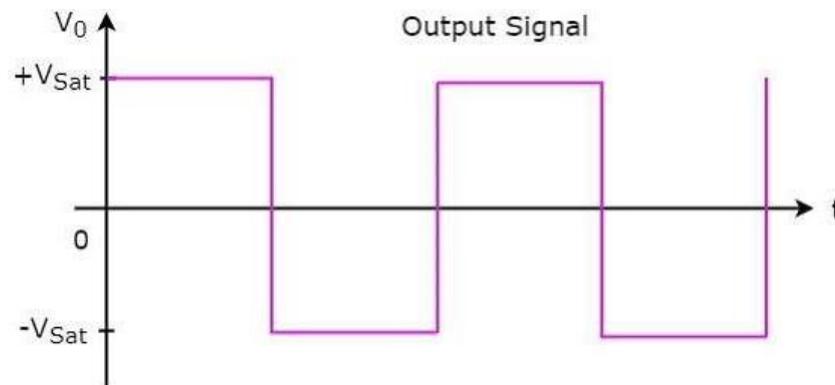
Gambar 8.1. Rangkaian pembangkit gelombang persegi

Pada diagram rangkaian yang ditunjukkan Gambar 8.1, resistor R_1 terhubung antara terminal input inverting dari op-amp dan output dari op-amp. Jadi, resistor R_1 digunakan dalam umpan balik negatif. Demikian pula, resistor R_2 terhubung antara terminal input non-inverting dari op-amp dan outputnya. Jadi, resistor R_2 digunakan di jalur umpan balik positif.

Sebuah kapasitor C dihubungkan antara terminal input inverting op-amp dan ground. Jadi, tegangan melintasi kapasitor C akan menjadi tegangan input pada terminal inverting op-amp ini. Demikian pula, resistor R_3 dihubungkan antara terminal input non-inverting dari op-amp dan ground. Jadi, tegangan melintasi resistor R_3 akan menjadi tegangan input pada terminal op-amp non-inverting ini. Pengoperasian generator gelombang persegi dijelaskan sebagai berikut.

- Asumsikan, pada awalnya tidak ada muatan yang tersimpan dalam kapasitor. Kemudian, tegangan yang ada pada terminal inverting op-amp adalah nol volt. Tapi, ada beberapa tegangan offset pada terminal non-inverting op-amp. Karena ini, nilai yang ada pada output dari rangkaian di atas akan menjadi $+V_{sat}$.
- Sekarang, kapasitor C mulai mengisi melalui resistor R_1 . Nilai yang ada pada output dari rangkaian Gambar 8.1 akan berubah menjadi $-V_{sat}$, ketika tegangan melintasi kapasitor C mencapai hanya lebih besar dari tegangan (nilai positif) melintasi resistor R_3 .
- Kapasitor C mulai pengosongan melalui resistor R_1 , ketika output dari rangkaian di atas adalah $-V_{sat}$. Nilai yang ada pada output rangkaian di atas akan berubah menjadi $+V_{sat}$, ketika tegangan melintasi kapasitor C mencapai kurang dari (lebih negatif) tegangan (nilai negatif) melintasi resistor R_3 .

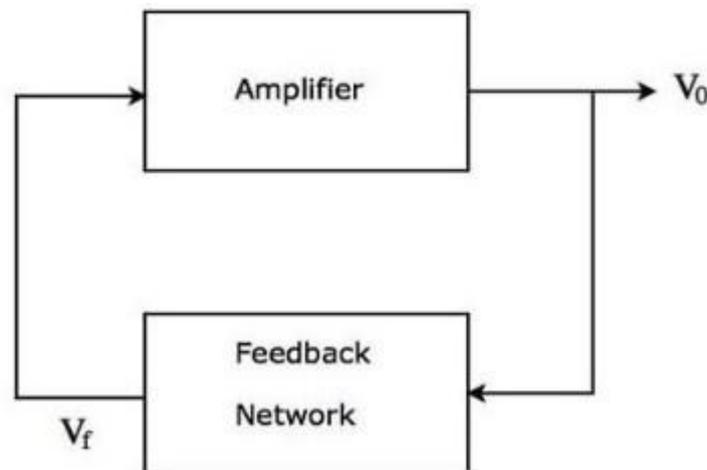
Dengan demikian, rangkaian yang ditunjukkan pada Gambar 8.1 akan menghasilkan gelombang persegi pada output seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8.2.



Gambar 8.2. Hasil gelombang rangkaian pembangkit gelombang persegi

Dari Gambar 8.2, dapat diamati bahwa output pembangkit gelombang persegi akan memiliki salah satu dari dua nilai: $+V_{sat}$ dan $-V_{sat}$. Jadi, output tetap pada satu nilai untuk beberapa durasi dan kemudian transisi ke nilai lain dan tetap di sana untuk beberapa durasi.

Osilator adalah rangkaian elektronik yang menghasilkan sinyal periodik. Jika osilator menghasilkan osilasi sinusoidal, maka disebut sebagai osilator sinusoidal. Osilator sinusoidal ini mengubah energi input dari sumber DC menjadi energi output AC dari sinyal periodik. Sinyal periodik ini akan memiliki frekuensi dan amplitudo tertentu. Diagram blok osilator sinusoidal ditunjukkan pada Gambar 8.1.



Gambar 8.1. Diagram blok osilator sinusoidal

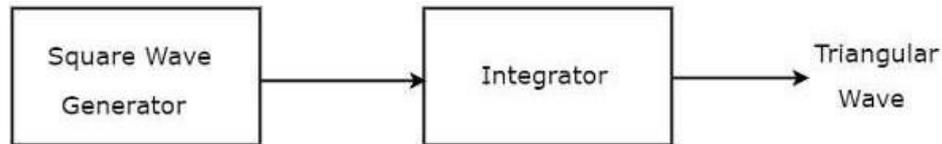
Gambar 8.1 terdiri dari dua blok: penguat dan jaringan umpan balik. Jaringan umpan balik dari output penguat sebagai input dan menghasilkan sinyal tegangan. Sinyal tegangan ini diterapkan sebagai input ke amplifier. Diagram blok osilator sinusoidal yang ditunjukkan pada Gambar 8.1 menghasilkan osilasi sinusoidal, ketika dua kondisi berikut dipenuhi:

- Penguatan loop $A_v\beta$ dari diagram blok osilator sinusoidal di atas harus lebih besar atau sama dengan satu. Di sini, A_v dan β masing-masing adalah penguatan penguat dan penguatan jaringan umpan balik.
- Pergeseran fasa total di sekitar loop diagram blok di atas dari osilator sinusoidal harus 0° atau 360° .

Kedua kondisi di atas bersama-sama disebut sebagai kriteria Barkhausen.

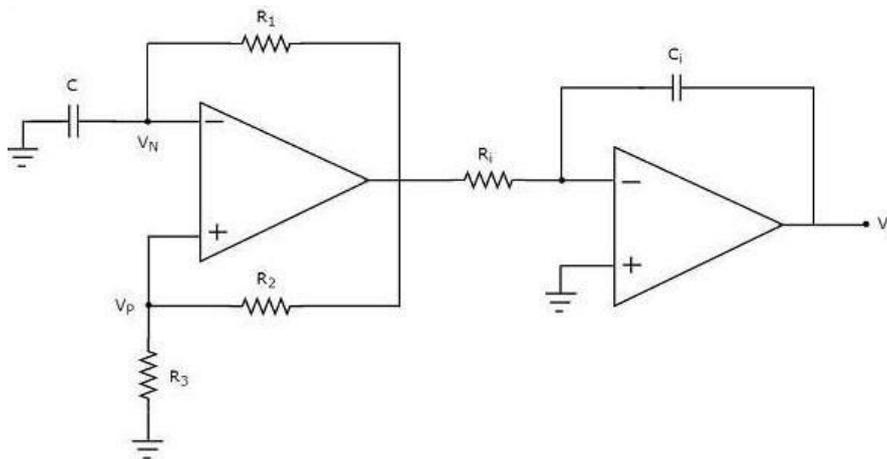
B. Pembangkit Gelombang Segitiga

Sebuah pembangkit gelombang segitiga adalah sirkuit elektronik, yang menghasilkan gelombang segitiga. Diagram blok pembangkit gelombang segitiga ditunjukkan pada Gambar 8.3.



Gambar 8.3. Diagram blok pembangkit gelombang segitiga

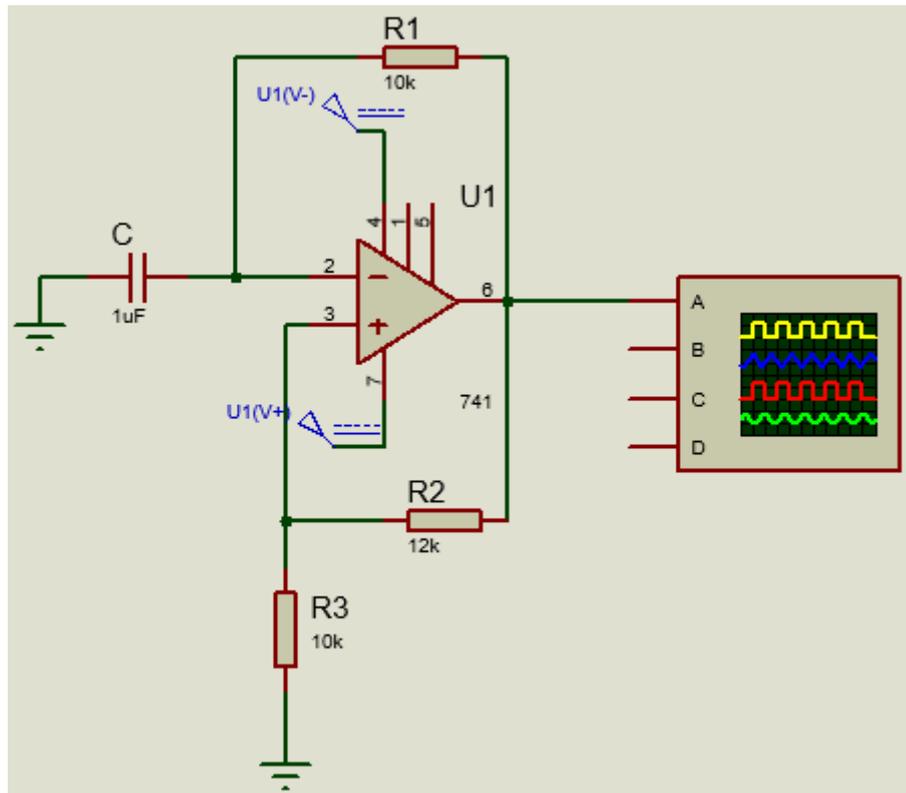
Diagram blok pembangkit gelombang segitiga terdiri dari dua blok: pembangkit gelombang persegi dan integrator. Kedua blok ini mengalir. Artinya, keluaran dari pembangkit gelombang persegi diterapkan sebagai masukan dari integrator. Perhatikan bahwa integrasi gelombang persegi tidak lain adalah gelombang segitiga. Diagram rangkaian pembangkit gelombang segitiga berbasis op-amp ditunjukkan pada Gambar 8.4.



Gambar 8.4. Rangkaian pembangkit gelombang segitiga

Langkah Percobaan (100 Menit)

A. Pembangkit Gelombang Persegi



Gambar 8.5. Rangkaian pembangkit gelombang persegi dengan Proteus

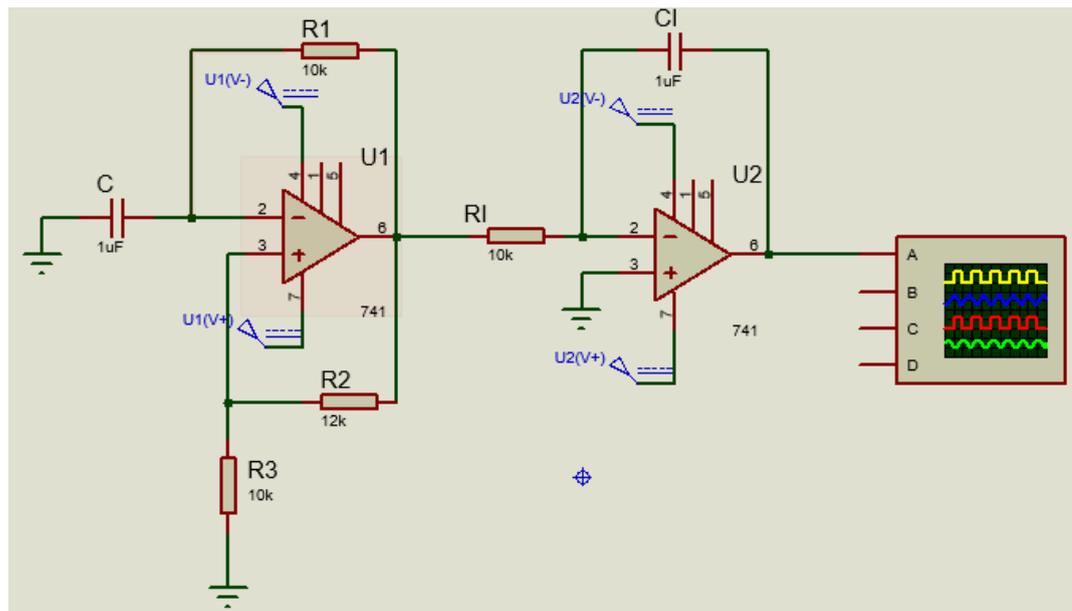
1. Hubungkan rangkaian seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8.5.
2. Jalankan simulasi.
3. Amati keluaran pada Ch-1 dari oscilloscope
4. *Screenshot* gelombang yang dihasilkan
5. Gambar gelombang yang dihasilkan dan tuliskan parameter-parameter oscilloscope yang digunakan

Gelombang hasil rangkaian pembangkit gelombang persegi

Tugas Mandiri

1. Variasikan nilai resistor R2, amati dan jelaskan perbedaan jika diberikan tahanan rendah dan tahanan tinggi.

B. Pembangkit Gelombang Segitiga



Gambar 8.6. Rangkaian pembangkit gelombang segitiga dengan Proteus

1. Hubungkan rangkaian seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8.6.
2. Jalankan simulasi.
3. Amati keluaran pada Ch-1 dari oscilloscope
4. *Screenshot* gelombang yang dihasilkan
5. Gambar gelombang yang dihasilkan dan tuliskan parameter-parameter oscilloscope yang digunakan

Gelombang hasil rangkaian pembangkit gelombang segitiga

Tugas Mandiri

1. Hubungkan output pembangkit gelombang persegi dengan oscilloscope channel-B.
2. Gambarkan tampilan oscilloscope dengan gelombang persegi dan gelombang segitiga saling berhimpitan (tumpang tindih).

Praktikum Instrumentasi Elektronika Kendali Unit 9

Op Amp Sebagai Regulator Tegangan

Pre-Test (20 Menit)

1. Apa yang dimaksud dengan regulator tegangan?
2. Apa yang membedakan antara *Fixed voltage regulator* dengan *Adjustable voltage regulator*?
3. Bagaimana cara mengatur tegangan pada *Adjustable voltage regulator*?

Regulator Tegangan

Fungsi regulator tegangan adalah untuk mempertahankan tegangan DC konstan pada output terlepas dari fluktuasi tegangan pada input dan (atau) variasi arus beban. Dengan kata lain, regulator tegangan menghasilkan tegangan keluaran DC yang diatur. Ada dua jenis regulator tegangan, yaitu Regulator tegangan tetap (*Fixed voltage regulator*) dan Regulator tegangan yang dapat disesuaikan (*Adjustable voltage regulator*).

1. Fixed Voltage Regulator

Fixed voltage regulator menghasilkan tegangan keluaran DC tetap, yang positif atau negatif. Dengan kata lain, beberapa regulator tegangan tetap menghasilkan nilai tegangan DC tetap positif, sementara yang lain menghasilkan nilai tegangan DC tetap negatif. IC regulator tegangan 78xx menghasilkan nilai tegangan DC tetap positif, sedangkan IC regulator tegangan 79xx menghasilkan nilai tegangan DC tetap negatif. Hal-hal berikut harus diperhatikan saat bekerja dengan IC regulator tegangan 78xx dan 79xx.

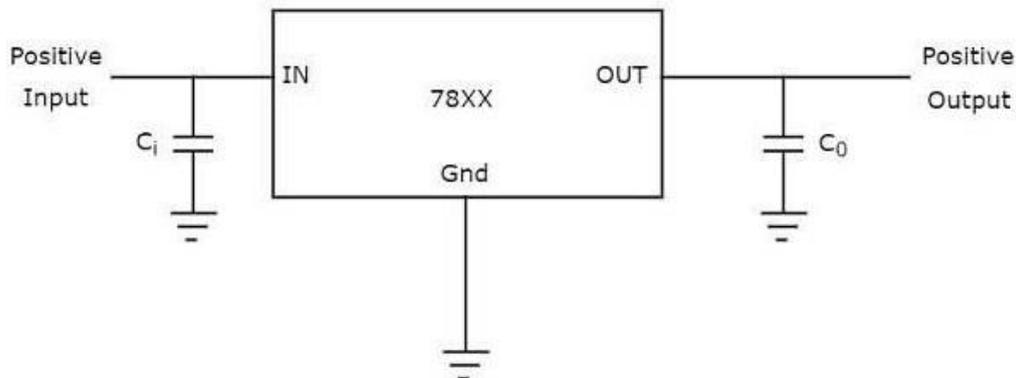
- “xx” sesuai dengan angka dua digit dan mewakili jumlah (besar) tegangan yang dihasilkan IC regulator tegangan.
- IC regulator tegangan 78xx dan 79xx masing-masing memiliki 3 pin dan pin ketiga digunakan untuk mengumpulkan outputnya.
- Tujuan pin pertama dan kedua dari kedua jenis IC ini berbeda. Pin pertama dan kedua IC regulator tegangan 78xx digunakan untuk menghubungkan input dan ground masing-masing. Pin pertama dan kedua dari IC regulator tegangan 79xx digunakan untuk menghubungkan ground dan input masing-masing.

Contoh:

- IC regulator tegangan 7805 menghasilkan tegangan DC sebesar +5 volt.

- IC regulator tegangan 7905 menghasilkan tegangan DC sebesar -5 volt.

Gambar 9.1 menunjukkan bagaimana menghasilkan tegangan positif tetap pada output dengan menggunakan regulator tegangan positif tetap dengan koneksi yang diperlukan.

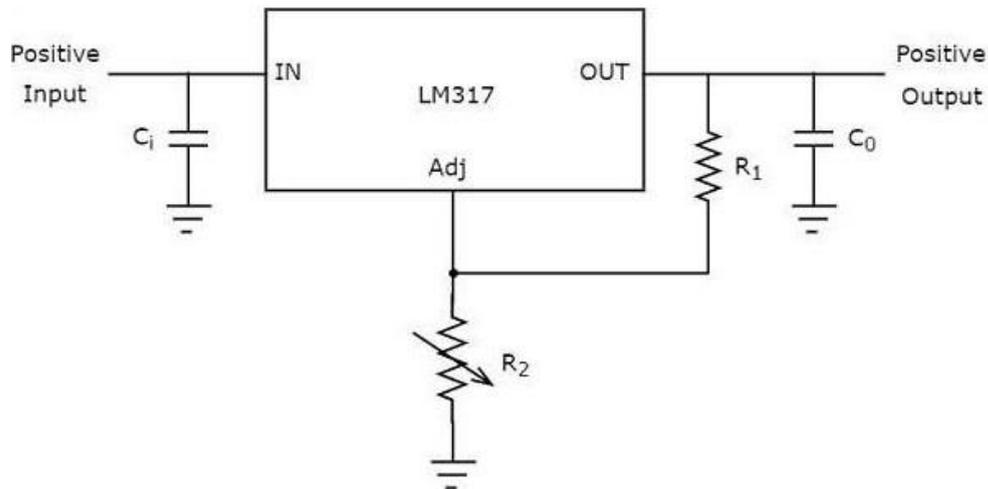


Gambar 9.1. Diagram rangkaian *fixed voltage regulator*

Gambar 9.1 menunjukkan regulator tegangan positif tetap, kapasitor input C_i digunakan untuk mencegah osilasi yang tidak diinginkan dan kapasitor output, C_o bertindak sebagai filter saluran untuk meningkatkan respons transien.

2. *Adjustable Voltage Regulator*

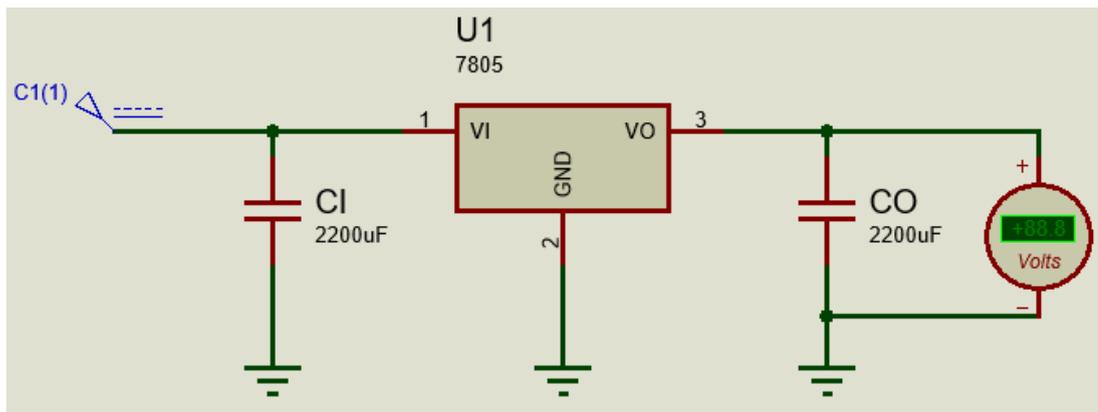
Adjustable voltage regulator menghasilkan tegangan keluaran DC, yang dapat disesuaikan dengan nilai lain dari rentang tegangan tertentu. Oleh karena itu, pengatur tegangan yang dapat diatur juga disebut sebagai pengatur tegangan variabel. Nilai tegangan keluaran DC dari pengatur tegangan yang dapat diatur dapat berupa positif atau negatif. IC regulator tegangan LM317 dapat digunakan untuk menghasilkan nilai tegangan DC tetap positif yang diinginkan dari rentang tegangan yang tersedia. IC regulator tegangan LM317 memiliki 3 pin. Pin pertama digunakan untuk mengatur tegangan output, pin kedua digunakan untuk mengumpulkan output dan pin ketiga digunakan untuk menghubungkan input. Pin yang dapat disesuaikan (terminal) dilengkapi dengan resistor variabel yang memungkinkan output bervariasi antara rentang yang luas. Rangkaian *adjustable voltage regulator* ditunjukkan pada Gambar 9.2.



Gambar 9.2. Diagram rangkaian *adjustable voltage regulator*

Langkah Percobaan (100 Menit)

A. Fixed Voltage Regulator



Gambar 9.1. Rangkaian *fixed voltage regulator* dengan Proteus

1. Hubungkan rangkaian seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9.1.
2. Jalankan simulasi.
3. Amati tegangan output terukur pada multimeter.

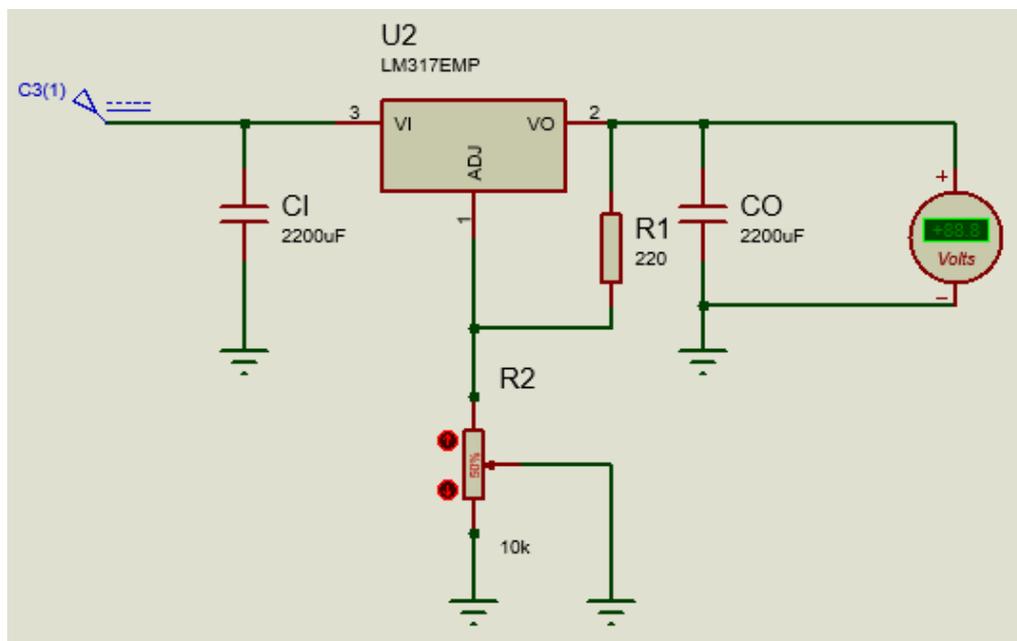
Tugas Mandiri

1. Variasikan tegangan input sesuai Tabel 9.1, isikan tegangan output terukur pada multimeter sesuai variasi tegangan input.
2. Jelaskan fenomena yang terjadi dari variasi tegangan input terhadap tegangan output yang terukur pada multimeter

Tabel 9.1. Tabel Pengamatan Percobaan *fixed voltage regulator*

No.	Tegangan input (V)	Tegangan output (V)
1.	4,5	
2.	6	
3.	9	
4.	12	
5.	24	

B. Adjustable Voltage Regulator

Gambar 9.2. Rangkaian *adjustable voltage regulator* dengan Proteus

1. Hubungkan rangkaian seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9.2.
2. Jalankan simulasi.
3. Amati tegangan output terukur pada multimeter.

Tugas Mandiri

1. Berikan input tegangan 24V, variasikan tahanan resistor variabel sesuai Tabel 9.2, isikan tegangan output terukur pada multimeter sesuai variasi tegangan input.
2. Jelaskan fenomena yang terjadi dari variasi tegangan input terhadap tegangan output yang terukur pada multimeter

Tabel 9.1. Tabel Pengamatan Percobaan *fixed voltage regulator*

No.	Resistor variabel (%)	Tegangan output (V)
1.	0	
2.	20	
3.	60	
4.	80	
5.	100	

Praktikum Instrumentasi Elektronika Kendali Unit 10

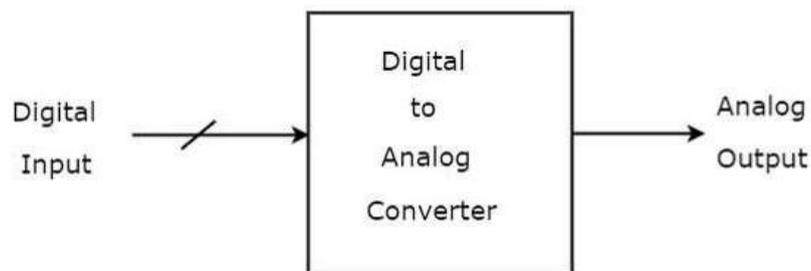
Op Amp Sebagai *Digital to Analog Converters* (DAC)

Pre-Test (20 Menit)

1. Apa yang dimaksud dengan *Digital to Analog Converter* (DAC)?
2. Apa yang dimaksud DAC 3-bit? Apa perbedaan dengan DAC 4-bit dari segi rangkaian?

Digital to Analog Converters

Digital to Analog Converter (DAC) mengubah sinyal input digital menjadi sinyal output analog. Sinyal digital direpresentasikan dengan kode biner, yang merupakan kombinasi dari bit 0 dan 1. Diagram blok DAC ditunjukkan pada Gambar 10.1.

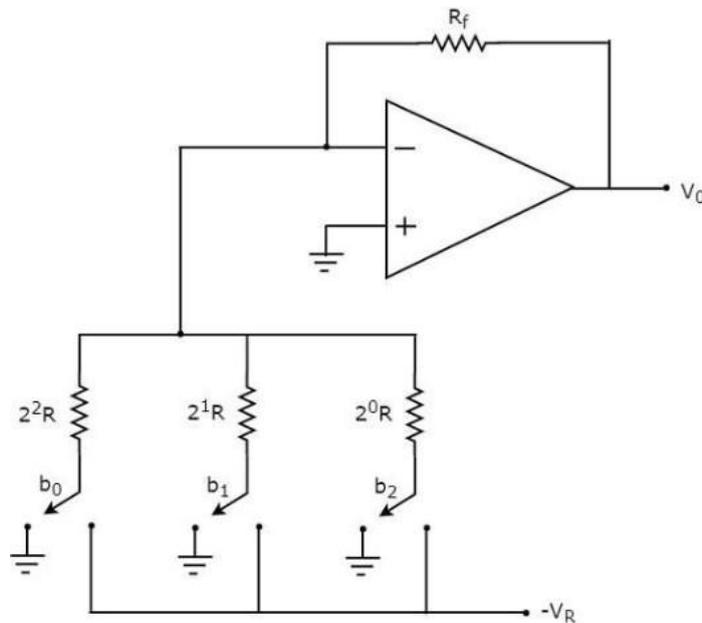


Gambar 10.1. Diagram blok DAC

DAC terdiri dari sejumlah input biner dan output tunggal. Secara umum, jumlah input biner dari DAC akan menjadi kekuatan dua.

Weighted Resistor DAC

Sebuah *weighted resistor* DAC menghasilkan output analog, yang hampir sama dengan input digital (biner) dengan menggunakan *weighted resistor* biner dalam rangkaian penambah pembalik. Diagram rangkaian *weighted resistor* biner 3-bit DAC ditunjukkan pada gambar 10.2.



Gambar 10.2. Diagram rangkaian *weighted resistor* biner 3-bit DAC

Bit dari bilangan biner hanya dapat memiliki satu dari dua nilai yaitu 0 atau 1. Misalkan input biner 3-bit adalah $b_2b_1b_0$. Di sini, bit b_2 dan b_0 masing-masing menunjukkan *Most Significant Bit* (MSB) dan *Least Significant Bit* (LSB). Sakelar digital yang ditunjukkan pada Gambar 10.2 akan terhubung ke ground, ketika bit input yang sesuai sama dengan '0'. Demikian pula, sakelar digital yang ditunjukkan pada gambar di atas akan terhubung ke tegangan referensi negatif, V_R ketika bit input yang sesuai sama dengan '1'.

Pada rangkaian Gambar 10.2, terminal input non-inverting dari sebuah op-amp dihubungkan ke ground. Berarti nol volt diterapkan pada terminal input non-inverting op-amp. Tegangan pada terminal input inverting op-amp sama dengan tegangan yang ada pada terminal input non-inverting. Jadi, tegangan pada simpul terminal input pembalik akan menjadi nol volt. Persamaan simpul pada simpul terminal masukan pembalik adalah:

$$\begin{aligned} \frac{0 + V_R b_2}{2^0 R} + \frac{0 + V_R b_1}{2^1 R} + \frac{0 + V_R b_0}{2^2 R} + \frac{0 + V_0}{R_f} &= 0 \\ \Rightarrow \frac{V_0}{R_f} &= \frac{V_R b_2}{2^0 R} + \frac{V_R b_1}{2^1 R} + \frac{V_R b_0}{2^2 R} \\ \Rightarrow V_0 &= \frac{V_R R_f}{R} \left\{ \frac{b_2}{2^0} + \frac{b_1}{2^1} + \frac{b_0}{2^2} \right\} \end{aligned}$$

Substitusinya persamaan diatas adalah $R = 2R_f$

$$\Rightarrow V_0 = \frac{V_R R_f}{2R_f} \left\{ \frac{b_2}{2^0} + \frac{b_1}{2^1} + \frac{b_0}{2^2} \right\}$$

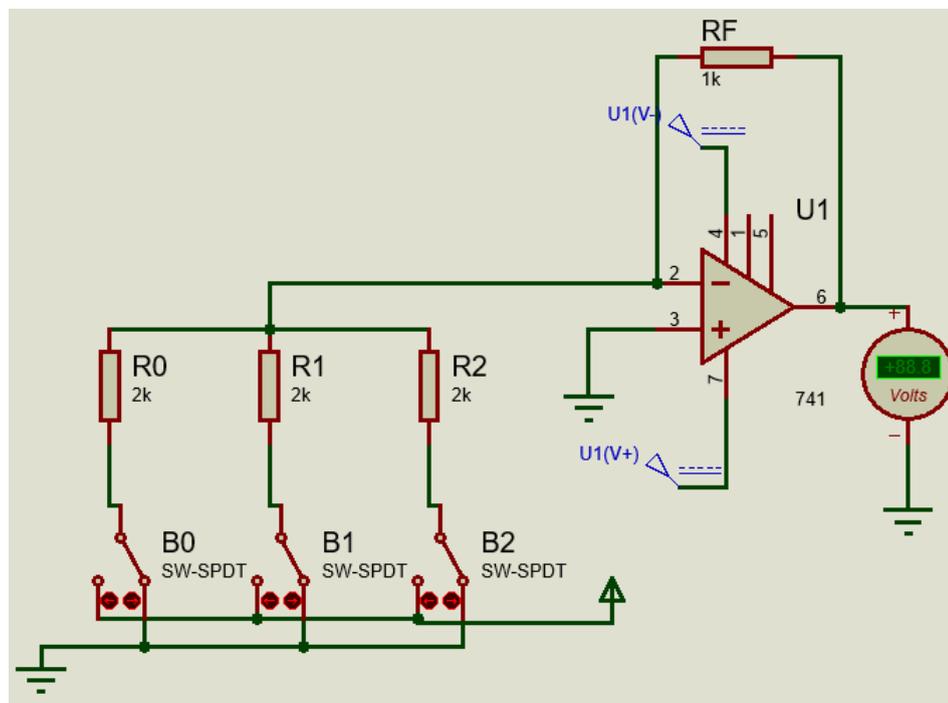
$$\Rightarrow V_0 = \frac{V_R}{2} \left\{ \frac{b_2}{2^0} + \frac{b_1}{2^1} + \frac{b_0}{2^2} \right\}$$

Persamaan di atas mewakili persamaan tegangan keluaran dari *weighted resistor* biner 3-bit DAC. Karena jumlah bit adalah tiga dalam input biner (digital), maka akan mendapatkan tujuh kemungkinan nilai tegangan output dengan memvariasikan input biner dari 000 hingga 111 untuk tegangan referensi tetap V_R . Persamaan tegangan keluaran umum dari *weighted resistor* biner N-bit DAC seperti yang ditunjukkan di bawah berdasarkan persamaan tegangan keluaran dari *weighted resistor* biner 3-bit DAC.

$$\Rightarrow V_0 = \frac{V_R}{2} \left\{ \frac{b_{N-1}}{2^0} + \frac{b_{N-2}}{2^1} + \dots + \frac{b_0}{2^{N-1}} \right\}$$

Langkah Percobaan

Weighted Resistor DAC



Gambar 10.3. Rangkaian rangkaian *weighted resistor* DAC dengan Proteus

1. Hubungkan rangkaian seperti yang ditunjukkan pada Gambar 10.3.
2. Jalankan simulasi dan amati tegangan output terukur pada multimeter.
3. Variasikan posisi saklar sesuai Tabel 10.1, isikan tegangan output terukur pada multimeter sesuai variasi tegangan input.

Tabel 10.1. Tabel Pengamatan Percobaan *weighted resistor* DAC

No.	Posisi Saklar	Tegangan output (V)
1.	000	
2.	001	
3.	010	
4.	011	
5.	100	
6.	101	
7.	110	
8.	111	

Tugas Mandiri

1. Rangkaian rangkaian *weighted resistor* DAC 4-bit dengan menambah 1 resistor dan 1 saklar.
2. Jalankan simulasi dan amati tegangan output terukur pada multimeter.
3. Variasikan posisi saklar sesuai Tabel 10.2, isikan tegangan output terukur pada multimeter sesuai variasi tegangan input.

Tabel 10.1. Tabel Pengamatan Percobaan *weighted resistor* DAC

No.	Posisi Saklar	Tegangan output (V)
1.	0000	
2.	0001	
3.	0010	
4.	0011	
5.	0100	
6.	0101	
7.	0110	
8.	0111	
9.	1000	
10.	1001	
11.	1010	
12.	1011	
13.	1100	
14.	1101	
15.	1110	
16.	1111	