

BAB 2

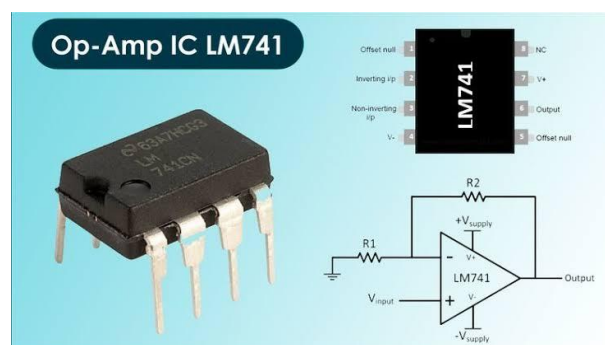
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Landasan Teori

2.1.1 Pengkondisian Sinyal (*Signal Conditioning*)

Pengkondisian sinyal adalah proses penyesuaian sinyal analog dari sensor yang umumnya lemah, tidak linier, atau memiliki level tegangan yang tidak sesuai agar menjadi stabil, linier, dan kompatibel dengan perangkat digital seperti ADC atau mikrokontroler. Dalam pembelajaran laboratorium, proses ini dipelajari melalui tahapan penguatan (amplifikasi), penyaringan (*filtering*), dan penyesuaian level tegangan menggunakan komponen seperti Op-amp, filter aktif, dan resistor variabel (John L. Schmalzel n.d.).

Op-amp atau penguat operasional adalah komponen aktif yang memiliki banyak aplikasi dalam pengolahan sinyal analog, terutama pada tahap pengkondisian sinyal. Op-amp ideal memiliki penguatan tak hingga, impedansi Input sangat tinggi, dan impedansi Output sangat rendah. Dalam praktiknya, Op-amp digunakan dalam konfigurasi seperti penguat *inverting* dan *non-inverting* untuk menyesuaikan besar sinyal, serta konfigurasi seperti *integrator*, *differentiator*, dan *summing amplifier* untuk berbagai kebutuhan pemrosesan sinyal analog (Carter and Brown 2016). Contoh Op-amp dapat dilihat pada Gambar 2.1 (Jibunor, Olayinka, and Igbape 2025).



Gambar 2.1 *Operational Amplifier (Op-amp)*

Untuk mencapai karakteristik sinyal yang diinginkan, sistem elektronik memanfaatkan berbagai konfigurasi rangkaian. Beberapa rangkaian *signal*

conditioning yang umum dijumpai meliputi *divider*, *inverting*, *non-inverting*, *summing*, dan *differential amplifier*.

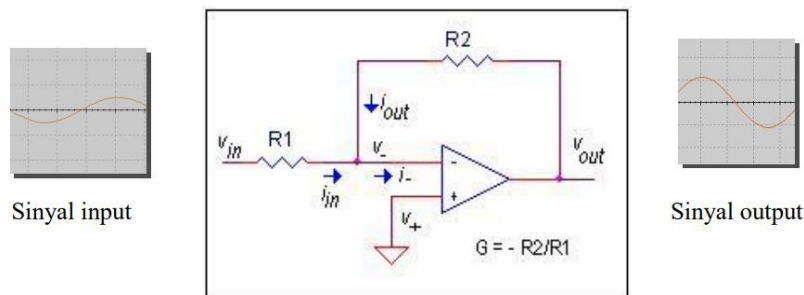
2.1.2 Voltage Divider

Rangkaian voltage divider (pembagi tegangan) merupakan rangkaian yang digunakan untuk memperoleh tegangan keluaran yang lebih kecil dari tegangan masukan dengan memanfaatkan dua buah resistor yang disusun secara seri. Tegangan keluaran diambil pada titik antara kedua resistor tersebut. Besarnya tegangan keluaran dapat ditentukan menggunakan Persamaan (2-1):

$$V_{OUT} = V_{IN} \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (2-1)$$

Dimana V_{in} merupakan tegangan masukan, V_{out} merupakan tegangan keluaran, sedangkan R_1 dan R_2 merupakan resistor penyusun rangkaian. Nilai tegangan keluaran ditentukan oleh perbandingan nilai kedua resistor. Rangkaian voltage divider banyak digunakan untuk menyesuaikan level tegangan agar sesuai dengan kebutuhan rangkaian berikutnya, seperti input sensor, ADC, dan rangkaian penguat.

2.1.3 Inverting Amplifier



Gambar 2.2 *Inverting Amplifier*

Rangkaian *Inverting Amplifier* merupakan salah satu konfigurasi dasar penguat operasional (*Operational Amplifier* atau Op-amp) yang menghasilkan tegangan keluaran dengan polaritas berlawanan terhadap tegangan masukannya. Besarnya penguatan rangkaian ditentukan oleh perbandingan antara resistor umpan balik (*feedback resistor*) dan resistor masukan (Haoxing and System n.d.). Contoh gambar rangkaian *Inverting Amplifier* dapat dilihat pada Gambar 2.2 (Haoxing and

System n.d.). Persamaan tegangan keluaran *Inverting Amplifier* dinyatakan dengan Persamaan (2-2):

$$V_{out} = -\frac{R_f}{R_{in}} V_{in} \quad (2-2)$$

dengan:

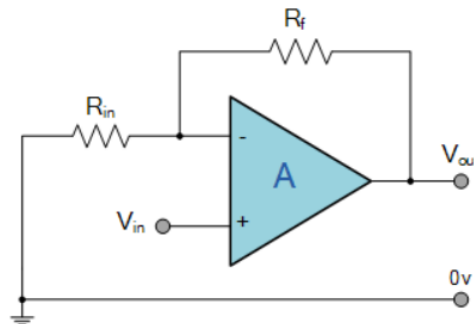
V_{out} = Tegangan keluaran (V)

V_{in} = Tegangan masukan (V)

R_f = Resistor umpan balik (Ω)

R_{in} = Resistor masukan (Ω)

2.1.4 *Non-Inverting Amplifier*



Gambar 2.3 *Non-Inverting Amplifier*

Rangkaian *Non-Inverting Amplifier* merupakan konfigurasi penguat operasional yang menghasilkan tegangan keluaran dengan polaritas yang sama terhadap tegangan masukan. Penguatan rangkaian ditentukan oleh nilai resistor umpan balik dan resistor yang terhubung ke *ground* (Haoxing and System n.d.). contoh rangkaian *non-Inverting Amplifier* dapat dilihat pada **Error! Reference source not found.** (Haoxing and System n.d.). Persamaan tegangan keluarannya dinyatakan dengan Persamaan (2-3):

$$V_{out} = \left(1 + \frac{R_f}{R_{in}}\right) V_{in} \quad (2-3)$$

dengan:

V_{out} = Tegangan keluaran (V)

V_{in} = Tegangan masukan (V)

R_f = Resistor umpan balik (Ω)

R_{in} = Resistor ke ground (Ω)

2.1.5 *Summing Amplifier*

Rangkaian *Summing Amplifier* merupakan konfigurasi penguat operasional yang digunakan untuk menjumlahkan dua atau lebih sinyal masukan menjadi satu sinyal keluaran. Besarnya kontribusi masing-masing sinyal ditentukan oleh nilai resistor pada setiap jalur masukan (Penguat Penjumlah n.d.) Persamaan tegangan keluarannya dinyatakan dengan Persamaan (2-4):

$$V_{out} = - \left(\frac{R_f}{R_1} V_1 + \frac{R_f}{R_2} V_2 \right) \quad (2-4)$$

dengan:

V_{out} = Tegangan keluaran (V)

V_1 = Tegangan masukan (V)

V_2 = Tegangan masukan (V)

R_f = Resistor umpan balik (Ω)

R_1 = Resistor masukan (Ω)

R_2 = Resistor masukan (Ω)

2.1.6 *Differential Amplifier*

Rangkaian *Differential Amplifier* merupakan konfigurasi penguat operasional yang berfungsi memperkuat selisih dua tegangan masukan dan menolak sinyal yang sama pada kedua masukan (*common-mode signal*). Konfigurasi ini banyak digunakan pada sistem *Instrument* asi dan pengkondisi sinyal sensor (Block 1998). *Differential Amplifier* dapat dihitung menggunakan Persamaan (2-5):

$$V_{out} = \frac{R_2}{R_1} (V_2 - V_1) \quad (2-5)$$

dengan:

V_{out} = Tegangan keluaran (V)

V_1 = Tegangan masukan (V)

V_2 = Tegangan masukan (V)

R_1 = Resistor masukan (Ω)

R_2 = Resistor umpan balik (Ω)

2.1.7 Instrument Amplifier

Rangkaian *Instrumentation Amplifier* merupakan konfigurasi penguat yang dirancang untuk memperkuat sinyal diferensial dengan impedansi masukan yang tinggi dan kemampuan penolakan sinyal *common-mode* yang baik. Rangkaian ini banyak digunakan pada sistem instrumentasi dan pengkondisi sinyal sensor, terutama untuk memperkuat sinyal berlevel rendah seperti keluaran *load cell* (Kitchin and Counts 2006). Pada konfigurasi tiga Op-amp, penguatan dapat diatur melalui resistor penguatan (R_g). *Instrumentation Amplifier* dapat dihitung menggunakan Persamaan (2-6):

$$V_{out} = (V_2 - V_1) \left(1 + \frac{2 \cdot R_2}{R_g}\right) \left(\frac{R_4}{R_3}\right) \quad (2-6)$$

dengan:

V_{out} = Tegangan keluaran (V)

V_1 = Tegangan masukan (V)

V_2 = Tegangan masukan (V)

R_g = Resistor *Gain* (Ω)

R_2 = Resistor umpan balik (Ω)

R_3 = Resistor masukan Op-amp 3 (Ω)

R_4 = Resistor umpan balik Op-amp 3 (Ω)

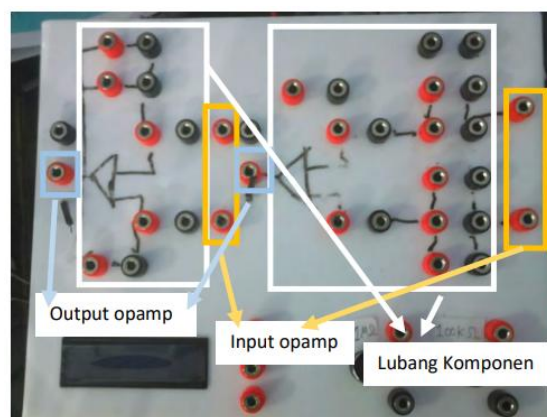
2.1.8 Error

Error dalam pengukuran merujuk pada selisih antara nilai yang terbaca oleh sensor dan nilai sebenarnya dari besaran yang diukur. Perbedaan ini menunjukkan adanya ketidakakuratan pada sensor, yang dapat disebabkan oleh ketidakandalan dalam memberikan data, gangguan kinerja, atau kemungkinan kerusakan teknis. Kondisi tersebut dapat mengakibatkan data yang dihasilkan menjadi kurang tepat, bahkan hilang, sehingga memengaruhi performa sistem secara keseluruhan. Persentase *Error* dapat dihitung menggunakan Persamaan (2-7):

$$\text{Persentase Error} = \left(\frac{|\text{Nilai Teori} - \text{Nilai Terukur}|}{\text{Nilai Teori}} \right) \times 100\% \quad (2-7)$$

2.2 Penelitian Terdahulu

Priyantoro (2016) melakukan penelitian mengenai “Rancang Bangun Modul Praktikum *Operational Amplifier*”. Pada penelitian ini dirancang sebuah modul praktikum untuk memudahkan mahasiswa memahami prinsip kerja penguat operasional dalam berbagai konfigurasi, seperti *inverting*, *non-inverting*, *integrator*, dan *differential*. Modul ini dilengkapi dengan mikrokontroler ATmega128 untuk memonitor Output tegangan dari masing-masing konfigurasi dan menampilkannya ke LCD, serta dilengkapi antarmuka Input digital. Rancang mekaniknya dapat dilihat pada Gambar 2.4 (Priyantoro 2016).



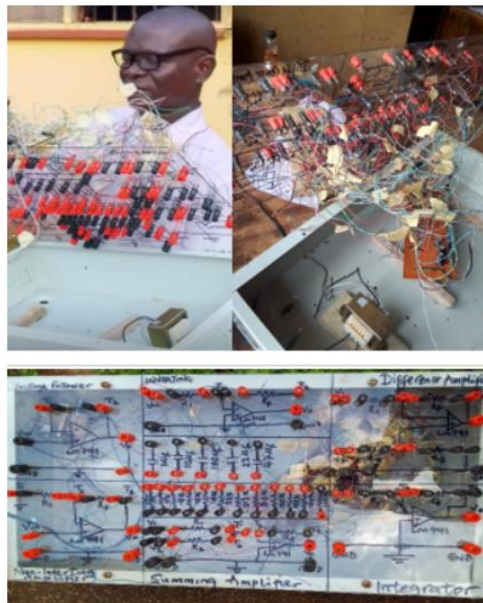
Gambar 2.4 Mekanik Modul Penelitian Priyantoro

Dari pengujian modul diperoleh hasil bahwa sistem mampu menampilkan Output secara akurat dengan tingkat keberhasilan mencapai 97,71% dan nilai ketidakpastian yang rendah, sehingga layak digunakan dalam pembelajaran di laboratorium teknik elektro.

Selanjutnya, penelitian yang dilakukan oleh (Rijanto 2011) berfokus pada “Rancang Bangun Modul Pengkondisi Sinyal dan Antar Muka pada Sistem Kontrol Digital PLTA”. Latar belakang penelitian ini adalah kebutuhan untuk menggantikan sistem pengkondisi sinyal analog lama pada PLTA yang komponennya sudah usang dan sulit ditemukan. Penelitian ini menggunakan metode *reverse engineering* dengan pendekatan sistem modular berbasis mikrokontroler 8-bit, Op-amp, serta resistor variabel sebagai penyesuai level penguatan sinyal. Modul yang dikembangkan berfungsi sebagai pengkondisi sinyal Input/Output antara sensor lapangan dan sistem digital seperti DSP dan mikrokontroler.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem dapat menghilangkan *noise*, menghasilkan sinyal dengan level tegangan yang sesuai standar sistem digital, serta mampu merespons perubahan sinyal dengan cepat dan stabil.

Selanjutnya, penelitian yang dilakukan oleh (Jibunor, Olayinka, and Igbape 2025) dalam artikel berjudul “*Design and Development of an LM741 Instrumentation Module for Enhancing the Teaching of Basic Analog Circuit Principles in Physics and Electrical Engineering*” juga berkontribusi dalam pengembangan media pembelajaran rangkaian analog. Penelitian ini bertujuan merancang sebuah modul berbasis IC LM741 yang terdiri dari blok-blok sirkuit seperti penguat *inverting*, *non-inverting*, dan *differential*. Modul disusun secara modular agar memudahkan pengguna dalam memahami prinsip kerja masing-masing konfigurasi Op-amp. Rancang mekaniknya dapat dilihat pada Gambar 2.5 (Jibunor, Olayinka, and Igbape 2025).



Gambar 2.5 Desain Mekanik Penelitian Jibunor

Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa pendekatan modular ini berhasil meningkatkan pemahaman mahasiswa dalam praktik laboratorium, tetapi rangkaiannya belum efektif karena resistor yang digunakan tidak variabel.

Ada juga penelitian yang dilakukan oleh (Isma 2019) berjudul “*Trainer Op-amp LM324 Sebagai Media Pembelajaran Mata Kuliah Rangkaian Elektronika Analog*” juga relevan dengan pengembangan alat bantu praktikum berbasis Op-amp. Penelitian ini dilatarbelakangi oleh kurangnya pemahaman mahasiswa dalam

menganalisis dan merangkai berbagai konfigurasi dasar Op-amp. Maka, dikembangkanlah sebuah trainer berbasis IC LM324 yang mencakup konfigurasi *inverting*, *non-inverting*, *integrator*, dan *differentiator* yang dapat dirangkai langsung oleh mahasiswa sesuai petunjuk pada PCB. Rancangan mekaniknya dapat dilihat pada Gambar 2.6 (Isma 2019).



Gambar 2.6 Rancangan Mekanik Penelitian Isma

Dari hasil pengujian, trainer ini terbukti dapat meningkatkan pemahaman konsep dasar penguat operasional pada mahasiswa karena desainnya memungkinkan interaksi langsung dengan rangkaian. Meskipun trainer tersebut belum sepenuhnya bersifat modular, namun tetap mampu meningkatkan keterampilan praktis mahasiswa dalam memahami karakteristik dasar Op-amp dan pengkondisian sinyal analog secara manual.

Sebagai acuan dalam menentukan keterbaruan penelitian, Tabel 2.1 memaparkan kelebihan dan kekurangan dari beberapa penelitian terdahulu.

Tabel 2.1 Tabel Penelitian Terdahulu

No	Peneliti (Tahun)	Judul Penelitian	Kelebihan	Kekurangan
1	Arief Satyo Priyantoro (2014)	Rancang Bangun Modul Praktikum <i>Operational Amplifier</i>	Akurasi tinggi (97,71%), mendukung berbagai konfigurasi Op-amp, antarmuka digital mikrokontroler.	Belum bersifat modular blok fisik; belum menggunakan resistor variabel untuk penguatan.
2	Estiko Rijanto & Anwar Muqorobin (2018)	Modul Pengkondisi Sinyal & Antar Muka untuk Sistem Digital PLTA	Modular, berbasis mikrokontroler, mendukung pengaturan sinyal Input/Output dengan VR.	Fokus industri (PLTA), bukan pendidikan; tidak dilengkapi tampilan interaktif untuk praktikum.
3	Tiwari, Wagh & Kale (2023)	LM741 <i>Instrumentation Module for Teaching Analog Circuits</i>	Modular fisik, mendukung blok Op- amp seperti <i>inverting/non-inverting</i> , cocok untuk Pendidikan.	Tidak menggunakan sistem resistansi variabel.
4	Ria Ersi Wardana Isma (2019)	Trainer Op-amp LM324 Sebagai Media Pembelajaran Mata Kuliah Rangkaian Elektronika Analog	Trainer praktikum lengkap dengan konfigurasi dasar Op-amp; dirancang untuk interaksi langsung mahasiswa.	Belum menggunakan konsep modular fisik; tidak menggunakan resistor variabel atau pemantauan digital.

Berdasarkan tiga penelitian terdahulu yang telah dikaji, dapat dilihat bahwa masing-masing penelitian memiliki kontribusi penting dalam pengembangan modul pembelajaran maupun sistem pengkondisian sinyal analog. Penelitian oleh Arief Satyo Priyantoro berfokus pada penyusunan konfigurasi Op-amp dalam satu modul terintegrasi, namun belum mengadopsi bentuk modular secara fisik maupun penggunaan resistor variabel untuk fleksibilitas penguatan. Penelitian oleh Estiko Rijanto dan Anwar Muqorobin mengarah pada implementasi sistem modular dan pengaturan *Gain* menggunakan resistor variabel, tetapi konteksnya lebih ditujukan untuk aplikasi industri (PLTA), bukan pendidikan. Sementara itu, modul LM741 yang dikembangkan oleh Tiwari, Wagh, dan Kale telah bersifat modular secara fisik dan cocok untuk pembelajaran, namun belum mengintegrasikan sistem fleksibilitas penguatan melalui resistor variabel.

Dengan demikian, belum ada penelitian yang secara spesifik mengembangkan modul praktikum pengkondisian sinyal analog yang bersifat modular fisik, dilengkapi resistansi variabel untuk fleksibilitas penguatan, dilengkapi dengan modul Output dari modul pengkondisian sinyal, serta diarahkan secara eksplisit untuk tujuan pendidikan dan praktikum laboratorium. Inilah yang menjadi celah (*gap*) yang ingin diisi dalam penelitian ini, yaitu dengan merancang dan membangun modul praktikum pengkondisian berbasis rangkaian modular dengan resistansi variabel sebagai sarana belajar interaktif dan fleksibel bagi mahasiswa teknik elektronika maupun mekatronika.