

**RANCANG BANGUN INSTRUMENTASI PENGUAT  
TEGANGAN TERKENDALI BERBASIS  
MIKROKONTROLER ARDUINO UNO**

**TUGAS AKHIR**

**Oleh:  
AMAYDIO DWI CAHYA  
135090807111004**



**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
MALANG  
2018**



**RANCANG BANGUN INSTRUMENTASI PENGUAT  
TEGANGAN TERKENDALI BERBASIS  
MIKROKONTROLER ARDUINO UNO**

**TUGAS AKHIR**

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar  
Sarjana Sains dalam Bidang Fisika

Oleh:

**AMAYDIO DWI CAHYA**

**135090807111004**



**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
MALANG  
2018**



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR  
RANCANG BANGUN INSTRUMENTASI PENGUAT  
TEGANGAN TERKENDALI BERBASIS  
MIKROKONTROLER ARDUINO UNO**

**AMAYDIO DWI CAHYA  
135090807111004**

Telah dipertahankan di depan Majelis Penguji  
pada tanggal .....  
dan dinyatakan memenuhi syarat untuk memperoleh gelar  
Sarjana Sains dalam Bidang Fisika

Pembimbing I  
Menyetujui  
Pembimbing II

Drs. Hari Arief Dharmawan, M.Eng., Ph.D.  
NIP 19690920 199412 1 001

Ahmad Nadhir, S.Si., MT., Ph.D.  
NIP 19690920 199412 1 001

Mengetahui  
Ketua Jurusan Fisika  
Fakultas MIPA Universitas Brawijaya

Prof. Dr.rer.nat Muhammad Nurhuda  
NIP 19640910 199002 1 001



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

## LEMBAR PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Amaydio Dwi Cahya  
NIM : 135090807111004  
Jurusan : Fisika  
Penulis Tugas Akhir berjudul : Rancang Bangun Instrumentasi Penguat Tegangan Terkendali Berbasis Mikrokontroler Arduino UNO

Dengan ini menyatakan bahwa:

1. Tugas Akhir ini adalah benar-benar karya saya sendiri dan bukan hasil plagiat dari karya orang lain. Karya-karya yang tercantum dalam daftar pustaka Tugas Akhir ini semata-mata digunakan sebagai referensi.
2. Apabila kemudian hari diketahui bahwa isi Tugas Akhir saya merupakan hasil plagiat, maka saya bersedia menanggung akibat hukuman dari keadaan tersebut.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan segala kesadaran.

Malang, 11 Mei 2018  
Yang menyatakan

Amaydio Dwi Cahya  
135090807111004



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

## Rancang Bangun Instrumentasi Penguat Tegangan Terkendali Berbasis Mikrokontroler Arduino UNO

### ABSTRAK

Pada penelitian ini telah dibuat rancang bangun instrumentasi penguat tegangan terkendali berbasis mikrokontroler Arduino UNO. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk membuat sebuah instrumentasi yang dapat mengendalikan nilai penguatan dari sebuah penguat tegangan. Instrumentasi yang digunakan pada penelitian ini adalah rangkaian penguat tegangan, Arduino UNO, dan komputer. Rangkaian penguat tegangan terdiri dari IC CA3140 sebagai Op-Amp *Inverting*, IC CD4066B sebagai *switcher*, dan Resistor. Skema pengendalian penguatan tegangan pada penelitian ini dengan memanfaatkan IC CD4066B sebagai *switcher* yang terhubung dengan variabel resistor. IC CD4066B memungkinkan kita untuk mengubah besarnya resistansi yang menjadi variabel penguatan dengan menggunakan sinyal digital. Komputer digunakan untuk memberikan perintah ke Arduino UNO serta menampilkan data yang diterima. Arduino UNO digunakan untuk menerima perintah dan juga mengirim data yang didapatkan. Hasil pada penelitian ini didapatkan instrumentasi penguat tegangan terkendali yang dapat bekerja optimal pada tegangan masukan sebesar 0,1 volt hingga 0,3 volt. Karakteristik dari instrumentasi yang telah dibuat yaitu mempunyai tegangan keluaran maksimal sebesar 3 volt. Instrumentasi memiliki presisi yang kurang baik. Terdapat perbedaan pembacaan tegangan antara instrumentasi yang telah dibuat dengan multimeter dengan nilai terbesar 0,032 volt. Instrumentasi memiliki nilai akurasi yang cukup baik.

Kata kunci: Penguat Tegangan, CD4066B, CA3140.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

## Instrumentation Design of Controlled Operational Amplifier Based on Arduino UNO

### ABSTRACT

In this research, architecture instrumentation of controlled voltage amplifier based on Arduino UNO has been successfully built. The purpose of this research is to create an instrument that can control the value of strengthening of a voltage amplifier. Instrumentation used in this research is a voltage amplifier circuit, the Arduino UNO, and computers. Voltage amplifier circuit consists of an IC CA3140 as Op-Amp Inverting, IC CD4066B as a Switcher, and resistors. The scheme of controlling the voltage gain of this research by utilizing IC CD4066B as a switcher that connected with a variable resistor. IC CD4066B allows us to change the magnitude of resistance into a variable reinforcement by using digital signals. The computer used to give commands to Arduino UNO and display the data. The Arduino UNO used to receive orders and send data obtained. The controlled Op-Amp instrumentation that can work optimally at input Voltage of 0.1 volt to 0.3 volts. The instrumentation has a characteristic that is has a voltage of 3 volts. The instrumentation has a precision that is less good. There is a voltage readout difference between instrumentation and multimeter with the biggest value 0.032 volts. Instrumentation has good accuracy.

Keyword: Op-Amp, CA3140, CD4066B.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah Robbil 'Alamin, dengan ungkapan rasa syukur kepada Allah Yang Maha Kuasa akhirnya penulis dapat menyelesaikan penyusunan Tugas Akhir yang merupakan syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains dalam Bidang Fisika di Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Brawijaya Malang.

Pada kesempatan ini, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Keluarga penulis atas segala doa, dukungan, dan motivasi yang tak terkira.
2. Bapak Drs. Hari Arief Dharmawan, M.Eng., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing I yang telah mendampingi dan memberi pengarahan serta tambahan ilmu dan saran-saran yang berguna bagi penulis.
3. Bapak Ahmad Nadhir, S.Si., MT., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberi pengarahan serta tambahan ilmu dan saran-saran yang berguna bagi penulis.
4. Rekan-rekan Fisika terutama rekan Program Studi Instrumentasi dan seluruh Staf serta Karyawan akademik Jurusan Fisika Fakultas MIPA Universitas Brawijaya.

Penulisan Tugas Akhir ini merupakan upaya optimal sebagai sarana terbaik dalam pengembangan ilmu pengetahuan. Saran dan kritik yang membangun sangat diharapkan untuk menjadikan karya ini bermanfaat.

Malang, 11 Mei 2018

Penulis



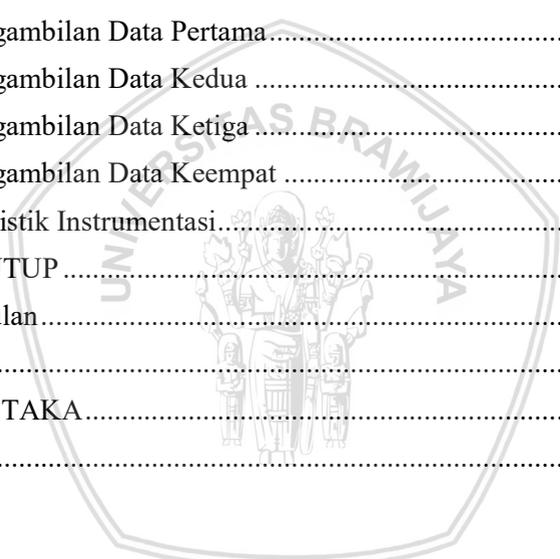
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

## DAFTAR ISI

ABSTRAK .....	i
ABSTRACT .....	iii
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL .....	ix
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR LAMPIRAN .....	xiii
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	2
1.5 Manfaat Penelitian.....	2
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>3</b>
2.1 Beda Potensial .....	3
2.2 Pengukuran Beda Potensial .....	3
2.3 Resistansi.....	4
2.4 Hukum Ohm.....	4
2.5 Arduino UNO.....	5
2.6 Op-Am .....	5
2.7 IC CD4066B.....	6
2.8 IC CA3140A .....	7
2.9 Penguat Tegangan Pembalik .....	8
<b>BAB III METODE PENELITIAN.....</b>	<b>11</b>
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian .....	11
3.2 Perancangan Perangkat Keras .....	11

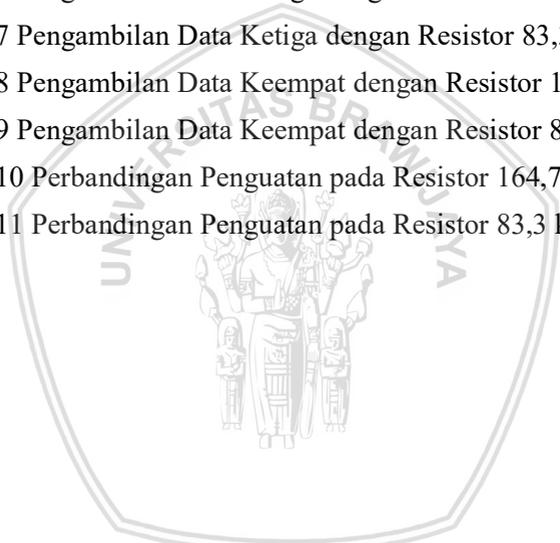


3.3 Perancangan Perangkat Lunak.....	11
3.4 Pembuatan Alat.....	13
3.5 Hasil Perancangan Perangkat Keras .....	15
3.6 Hasil Perancangan Perangkat Lunak .....	15
3.7 Pengujian Pembaca Tegangan .....	17
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>19</b>
4.1 Konfigurasi Alat .....	19
4.2 Pengambilan Data.....	20
4.2.1 Pengambilan Data Pertama.....	22
4.2.2 Pengambilan Data Kedua .....	24
4.2.3 Pengambilan Data Ketiga .....	25
4.2.4 Pengambilan Data Keempat .....	27
4.3 Karakteristik Instrumentasi.....	29
<b>BAB V PENUTUP .....</b>	<b>33</b>
5.1 Kesimpulan.....	33
5.2 Saran .....	33
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>35</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>37</b>



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Fungsi Pin-pin IC CD4066B (Texas Instrument, 2017).....	7
Tabel 4.1 Besar Penguatan Secara Teori.....	21
Tabel 4.2 Pengambilan Data Pertama dengan Resistor 164,7 k $\Omega$ ....	22
Tabel 4.3 Pengambilan Data Pertama dengan Resistor 83,3 k $\Omega$ .....	23
Tabel 4.4 Pengambilan Data Kedua dengan Resistor 164,7 k $\Omega$ .....	24
Tabel 4.5 Pengambilan Data Kedua dengan Resistor 83,3 k $\Omega$ . ....	25
Tabel 4.6 Pengambilan Data Ketiga dengan Resistor 164,7 k $\Omega$ . ....	26
Tabel 4.7 Pengambilan Data Ketiga dengan Resistor 83,3 k $\Omega$ . ....	27
Tabel 4.8 Pengambilan Data Keempat dengan Resistor 164,7 k $\Omega$ . .28	28
Tabel 4.9 Pengambilan Data Keempat dengan Resistor 83,3 k $\Omega$ . ...	29
Tabel 4.10 Perbandingan Penguatan pada Resistor 164,7 k $\Omega$ .....	30
Tabel 4.11 Perbandingan Penguatan pada Resistor 83,3 k $\Omega$ .....	31



(Halaman ini sengaja dikosongkan)



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Modul Mikrokontroler Arduino UNO (Arduino, 2017).	5
Gambar 2.2 Simbol Op-Amp (Floyd, 2012) .....	6
Gambar 2.3 IC CD4066B (Texas Instrument, 2017) .....	7
Gambar 2.4 IC CA3140A (Intersil, 2015).....	8
Gambar 2.5 Rangkaian Penguat Pembalik .....	9
Gambar 3.1 Diagram Sistem Instrumentasi.....	11
Gambar 3.2 Skematik Rangkaian Penguat Tegangan .....	12
Gambar 3.3 Diagram Alir Pemrograman Delphi 7. ....	12
Gambar 3.4 Diagram Alir Program Arduino UNO .....	13
Gambar 3.5 Skematik Rangkaian <i>Power Supply</i> .....	14
Gambar 3.6 Rangkaian <i>Power Supply</i> .....	14
Gambar 3.7 Rangkaian Penguat Tegangan Pembalik .....	15
Gambar 3.8 Arduino IDE .....	16
Gambar 3.9 Tampilan Program Delphi .....	17
Gambar 3.10 Kalibrasi ADC dengan multimeter .....	18
Gambar 4.1 Konfigurasi Pemasangan Alat. ....	19





(Halaman ini sengaja dikosongkan)

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 <i>Datasheet IC CD4066B</i> .....	37
Lampiran 2 <i>Datasheet IC CA3140A</i> .....	42
Lampiran 3 <i>Arduino IDE</i> .....	47



(Halaman ini sengaja dikosongkan)



## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Penguat tegangan merupakan sebuah komponen yang umum digunakan dalam dunia elektronika. Penguat tegangan dalam sebuah sistem instrumentasi digunakan sebagai elemen pengondisi sinyal. Elemen pengondisi sinyal memiliki tugas untuk menjadikan sinyal yang masuk sesuai dengan yang diharapkan dan juga dapat diterima oleh elemen pemroses sinyal. Sebagai pengondisi sinyal, penguat tegangan dapat digunakan untuk menguatkan tegangan atau sinyal masukan, dan komparator.

Tegangan dapat dikuatkan dengan menggunakan transistor. Dalam penerapannya saat ini, komponen yang digunakan untuk menguatkan tegangan adalah IC Op-Amp yang mana di dalamnya terdiri dari beberapa transistor. Op-Amp mulai berkembang pada akhir tahun 1950 sampai awal tahun 1960. Pada awal mula pengembangan, IC Op-Amp masih dibuat untuk keperluan tertentu. Seiring berkembangnya teknologi, IC Op-Amp saat ini dapat dibuat untuk keperluan yang umum (Mancini, 2002).

IC Op-Amp yang digunakan untuk menguatkan tegangan pada umumnya dapat ditentukan besar penguatannya dengan menggunakan resistor. Secara analog besar penguatan pada IC Op-Amp dapat dikendalikan dengan menggunakan resistor variabel. Varum (2017) membuat sistem pembuka jendela otomatis dengan menggunakan LDR (*Light Dependent Resistor*) dan Op-Amp. LDR sendiri merupakan sebuah resistor yang nilai resistansinya dapat berubah sesuai dengan cahaya yang diterima. Op-Amp yang digunakan sebagai komparator akan mengeluarkan sinyal yang berbeda bergantung pada besarnya cahaya yang diterima. Sinyal keluaran dari Op-Amp tersebut kemudian diproses oleh mikrokontroler sebagai sinyal masukan yang digunakan untuk membuka ataupun menutup jendela

Perkembangan teknologi yang semakin cepat menuntut adanya digitalisasi di berbagai bidang. Digitalisasi sendiri bermanfaat dalam memudahkan penggunaan sehari-hari. Atas dasar tersebut penulis ingin merancang sistem instrumentasi penguat tegangan terkendali berbasis mikrokontroler Arduino UNO.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka rumusan masalah yang dapat diangkat dalam penyusunan Tugas Akhir ini adalah:

1. Bagaimana merancang penguat tegangan terkendali berbasis mikrokontroler Arduino UNO?
2. Bagaimana merancang perangkat lunak untuk mengendalikan penguatan tegangan?
3. Bagaimana karakteristik dari instrumentasi yang telah dibuat?

## 1.3 Batasan Masalah

Berdasarkan rumusan masalah yang telah disebutkan, agar pembahasan tidak keluar dari ruang lingkup maka diberikan batasan masalah sebagai berikut:

1. Tegangan keluaran maksimal hanya 3 volt.
2. Tegangan masukan yang digunakan adalah tegangan DC.
3. Perangkat yang digunakan adalah mikrokontroler Arduino UNO, Rangkaian penguat tegangan, dan Delphi 7.

## 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah :

1. Merancang instrumentasi penguat tegangan terkendali berbasis mikrokontroler Arduino UNO.
2. Merancang perangkat lunak yang dapat digunakan untuk mengendalikan nilai penguatan dari rangkaian penguat.
3. Menentukan karakteristik instrumentasi yang telah dibuat.

## 1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi untuk mengembangkan sistem kendali maupun pengukuran yang memerlukan pengendalian tegangan.



## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Beda Potensial

Arus listrik adalah elektron yang bergerak pada sebuah bahan konduktor. Pergerakan elektron tersebut disebabkan oleh adanya *electromotive force* (EMF) dari luar. EMF ini juga dikenal dengan beda tegangan. Tegangan  $V_{ab}$  di antara dua titik  $a$  dan  $b$  pada sebuah rangkaian listrik merupakan energi yang dibutuhkan sebuah muatan untuk bergerak dari titik  $a$  menuju  $b$ . Secara matematis beda potensial antara titik  $a$  dan  $b$  digambarkan dalam persamaan 2.1.

$$V_{ab} = \Delta \frac{dw}{dq} \quad (2.1)$$

dimana  $V_{ab}$  merupakan beda potensial diantara titik  $a$  dan  $b$ ,  $w$  merupakan energi dalam joule (J), dan  $q$  adalah muatan dalam coulomb (Alexander, 2009).

Pada dasarnya, EMF dan beda tegangan merupakan hal yang berbeda secara kuantitas, meskipun keduanya diukur dalam volt. EMF merupakan penyebab arus mengalir, sedangkan beda tegangan merupakan hasil dari arus yang mengalir yang melewati titik (Christoper, 2008).

### 2.2 Pengukuran Beda Potensial

Pengukuran beda potensial merupakan hal penting dalam dunia kelistrikan. Satuan yang digunakan dalam mengukur beda potensial adalah volt. Standar dari satuan volt saat ini didasarkan pada *Josephson Junction Standard* yang menjelaskan standar kuantum dari beda potensial. *Josephson Junction Standard* terdiri dari dua super konduktor yang terpisah oleh sekat penghalang tipis. Sambungan tersebut didinginkan dalam Helium Cryostat pada suhu yang tinggi. Ketika diberikan gelombang mikro, karakteristik tegangan dan arus akan terpecah menjadi bentuk *step*. Besarnya tegangan *step* dapat ditemukan menggunakan persamaan 2.2.

$$V = \frac{hf}{2e} \quad (2.2)$$

dimana  $h$  merupakan konstanta *plank*,  $f$  merupakan frekuensi ketika *junction* diberikan radiasi, dan  $e$  merupakan muatan elektron. Karena hanya frekuensi radiasi yang merupakan variabel pada persamaan tersebut maka standar beda potensial bergantung pada

standar dari waktu atau frekuensi. Tegangan *step* dapat dideteksi dengan menggunakan *null* detektor atau resistor. Keakuratan dalam metode ini yaitu  $10^{-8}$ , sedangkan ketidapastiannya adalah kurang dari  $10^{-7}$  (Sydenham, 2005).

### 2.3 Resistansi

Resistansi merupakan kebalikan dari aliran arus. Untuk menambahkan resistansi pada rangkaian listrik digunakan komponen yang bernama resistor. Resistor merupakan perangkat yang menahan laju arus dalam suatu rangkaian. Resistor diukur dalam satuan ohm. Ohm didefinisikan sebagai jumlah dari tahanan yang membatasi arus pada sebuah konduktor pada satu ampere ketika tegangan yang diberikan satu volt. Resistor merupakan komponen yang umum digunakan pada banyak peralatan elektronik. Resistor dapat digunakan untuk menetapkan nilai yang tepat dari rangkaian tegangan, untuk membatasi arus dan untuk memberikan beban (Milton, 1983).

Resistansi merupakan perbandingan antara tegangan listrik sebuah komponen dengan arus yang melewatinya. Sebuah konduktor sejatinya memiliki resistansi bergantung pada panjang ( $l$ ), luas ( $A$ ) dan bahan konduktor ( $\rho$ ) yang digunakan. Resistansi sebuah konduktor dapat dihitung menggunakan rumus pada persamaan 2.3.

$$R = \rho \frac{l}{A} \quad (2.3)$$

dimana  $R$  merupakan nilai resistansi,  $\rho$  merupakan hambatan jenis dari bahan,  $l$  merupakan panjang dari bahan konduktor, dan  $A$  merupakan luas permukaan dari bahan (Lutfiyana, 2017).

### 2.4 Hukum Ohm

Kerapatan arus pada sebuah bahan konduktor bergantung pada medan listrik dan pada sifat material tersebut. Umumnya, hubungan ini dapat lebih kompleks. Tetapi, untuk beberapa material, khususnya logam pada suhu tertentu, hubungan kerapatan arus dan medan listrik dapat dikatakan berbanding lurus dan rasio besarnya adalah konstan. Hubungan ini dikenal dengan hukum Ohm. Secara matematis hukum Ohm dapat dinyatakan pada persamaan 2.4.

$$R = \frac{V}{I} \quad (2.4)$$

dimana  $R$  merupakan resistansi,  $V$  adalah beda potensial antara dua titik, dan  $I$  adalah arus yang mengalir pada bahan konduktor (Hugh, 2003).

## 2.5 Arduino UNO

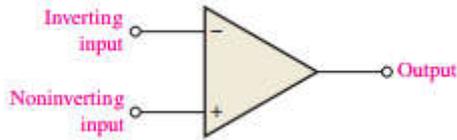
Arduino UNO merupakan sebuah papan mikrokontroler yang memiliki inti Atmega328P sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 2.1. Arduino UNO memiliki 14 pin masukan atau keluaran, 6 buah masukan analog, sebuah Crystal 16 MHz, sebuah *port* USB, ICSP *header* dan tombol reset. Pemrograman pada Arduino UNO menggunakan bahasa C. Sedangkan untuk memprogramnya menggunakan aplikasi dari Arduino yang bisa digunakan untuk seluruh jenis Arduino. Pada mikrokontroler Atmega328P yang digunakan Arduino UNO sudah tertanam *bootloader* yang memungkinkan kita mengunggah kode program tanpa perangkat tambahan (Arduino, 2017).



Gambar 2.1 Modul Mikrokontroler Arduino UNO (Arduino, 2017)

## 2.6 Op-Amp

Op-Amp ideal memiliki dua terminal masukan, *inverting* dan *non-inverting*, dan satu terminal keluaran sebagaimana yang ditunjukkan pada gambar 2.2. Op-Amp ideal memiliki beberapa karakteristik antara lain, memiliki penguatan tegangan yang tidak terbatas, *bandwith* yang tidak terbatas, memiliki impedansi input yang tidak terbatas, dan memiliki impedansi keluaran nol. Secara praktik, Op-Amp berbentuk IC. Op-Amp yang ada saat ini memiliki beberapa batasan seperti batasan tegangan dan arus, impedansi masukan, dan sebagainya (Floyd, 2012).



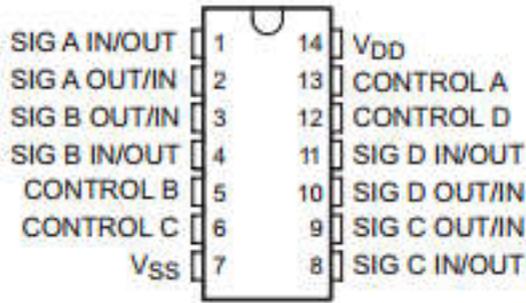
Gambar 2.2 Simbol Op-Amp (Floyd, 2012)

Op-Amp diasumsikan sebagai ideal atau sempurna agar mudah untuk di analisa. Adapun beberapa asumsi yang digunakan yaitu (Mancini, 2002):

1. Arus yang mengalir ke masukan Op-Amp adalah nol. Asumsi ini sebenarnya mendekati keadaan sesungguhnya pada Op-Amp FET tetapi tidak berlaku pada Op-Amp bipolar dengan kecepatan tinggi dimana terdapat arus sebesar  $\mu\text{A}$  pada masukan.
2. Penguatan Op-Amp diasumsikan tidak terbatas, sehingga tegangan keluaran bisa didapatkan sesuai keinginan dengan tegangan masukan yang dimiliki.
3. Tegangan di antara kedua masukan bernilai nol. Hal ini menunjukkan bahwa apabila salah satu masukannya terhubung ke *ground* maka masukan yang lainnya akan memiliki beda potensial yang sama.
4. Impedansi keluaran Op-Amp bernilai nol. Sebuah Op-Amp ideal dapat menggerakkan beban tanpa mengurangi tegangan keluaran yang disebabkan oleh impedansi keluaran. Impedansi keluaran pada banyak Op-Amp sangat kecil, sehingga asumsi ini valid dalam banyak kasus.
5. Respons frekuensi dari Op-Amp adalah datar. Hal ini menunjukkan bahwa penguatan tidak bergantung pada frekuensi.

## 2.7 IC CD4066B

CD4066B merupakan sebuah IC yang berfungsi sebagai sakelar bilateral. IC ini terdiri dari empat buah sakelar bilateral yang memiliki kontrol yang berdiri sendiri. Gambar 2.3 menunjukkan bentuk dari IC CD4066B dan konfigurasi dari setiap pin-pinnya. Fungsi dari pin-pin tersebut ditampilkan pada Tabel 2.1. IC CD4066B dapat diberikan tegangan masukan sebesar 5 hingga 15 Volt (Texas Instrument, 2017).



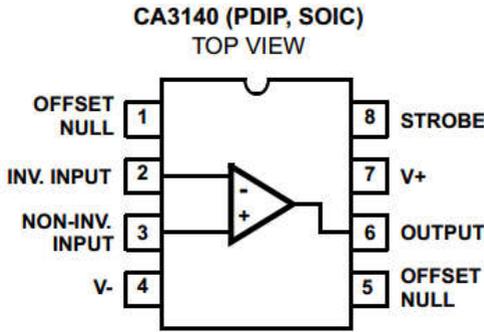
Gambar 2.3 IC CD4066B (Texas Instrument, 2017)

Tabel 2.1 Fungsi Pin-pin IC CD4066B (Texas Instrument, 2017)

PIN		I/O	Description
No.	Name		
1	SIG A IN/OUT	I/O	Input/Output for Switch A
2	SIG A IN/OUT	I/O	Input/Output for Switch A
3	SIG B IN/OUT	I/O	Input/Output for Switch B
4	SIG B IN/OUT	I/O	Input/Output for Switch B
5	CONTROL B	I	Control Pin for Switch B
6	CONTROL C	I	Control Pin for Switch C
7	V <sub>ss</sub>	-	Low Voltage Power Pin
8	SIG C IN/OUT	I/O	Input/Output for Switch C
9	SIG C IN/OUT	I/O	Input/Output for Switch C
10	SIG D IN/OUT	I/O	Input/Output for Switch D
11	SIG D IN/OUT	I/O	Input/Output for Switch D
12	CONTROL D	I	Control Pin for Switch D
13	CONTROL A	I	Control Pin for Switch A
14	V <sub>DD</sub>	-	Power Pin

## 2.8 IC CA3140A

IC CA3140A merupakan sebuah IC Op-Amp yang menggabungkan keunggulan dari transistor PMOS tegangan tinggi dengan transistor bipolar tegangan tinggi. Op-Amp CA3140A memiliki keunggulan antara lain memiliki gerbang MOSFET sebagai pelindung pada masukan, memiliki impedansi masukan yang sangat tinggi, dan arus masukan sangat rendah. Bentuk dan konfigurasi pin dari IC CA3140A ditampilkan sebagaimana pada Gambar 2.4 (Intersil, 2015).



Gambar 2.4 IC CA3140A (Intersil, 2015)

## 2.9 Penguat Tegangan Pembalik

Penguat tegangan pembalik merupakan penguat tegangan dengan umpan balik yang terhubung ke masukan negatif, sehingga membuat sinyal keluaran memiliki fase yang terbalik sebesar  $180^\circ$ . Penguatan tegangan dapat ditentukan dari rasio resistor yang digunakan. Gambar 2.5 menunjukkan rangkaian penguat tegangan pembalik. Besar penguatan dari rangkaian penguat tegangan pembalik dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan 2.5 (Lilik, 2017).

$$A_V = \frac{R_f}{R_{in}} \quad (2.5)$$

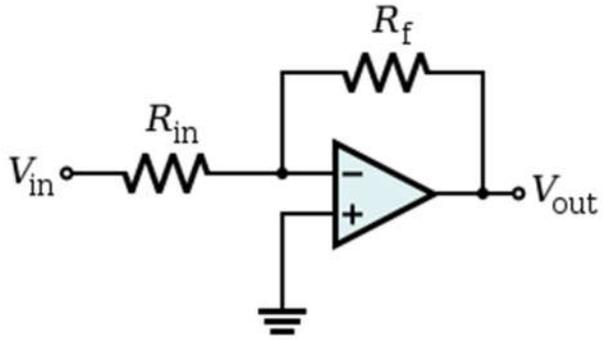
di mana:

$A_V$  = Besar penguatan (kali)

$R_f$  = Tahanan Umpan Balik (Ohm)

$R_{in}$  = Tahanan Masukan (Ohm)

Op-Amp dengan *single supply* harus memiliki tegangan referensi yang selalu terhubung ke *ground*. Dengan menggunakan *single supply*, keluaran Op-Amp akan terbatas nilainya maupun polaritasnya. Ketika menggunakan tegangan *supply* sebesar 10 volt, maka sinyal keluaran harus bernilai di antara 0 volt hingga 10 volt. Ketika menggunakan tegangan *supply* positif maka keluaran harus bernilai positif begitu juga sebaliknya (Mancini, 2002).



Gambar 2.5 Rangkaian Penguat Pembalik





(Halaman ini sengaja dikosongkan)



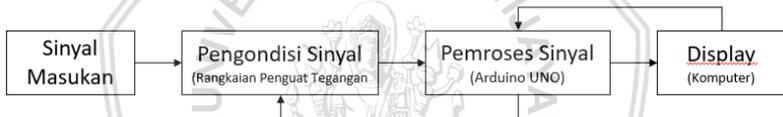
## BAB III METODE PENELITIAN

### 3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Februari 2018 sampai dengan Mei 2018 yang bertempat di Laboratorium Instrumentasi Jurusan Fisika Fakultas FMIPA Universitas Brawijaya. Pengambilan data dilakukan pada tanggal 10 April 2017 sampai 12 April 2017.

### 3.2 Perancangan Perangkat Keras

Desain sistem instrumentasi ditunjukkan sebagaimana pada Gambar 3.1. Perangkat keras yang akan digunakan adalah rangkaian penguat tegangan, Arduino UNO, dan komputer. Dari perangkat keras yang digunakan, rangkaian penguat tegangan perlu dirancang terlebih dahulu sebelum digunakan. Rangkaian penguat tegangan digunakan untuk menguatkan tegangan yang masuk.

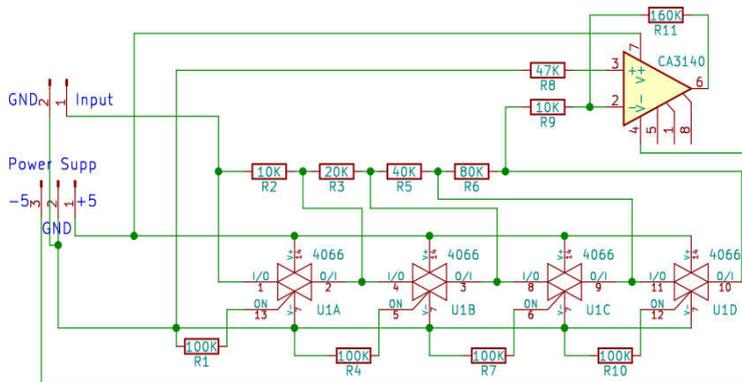


Gambar 3.1 Diagram Sistem Instrumentasi

Rangkaian penguat terdiri dari 2 elemen utama yaitu elemen penguat dan elemen pengendali. Elemen penguat terdiri dari IC CA3140 yang berfungsi sebagai Op-Amp penguat dan 15 buah resistor yang digunakan sebagai variabel penguatan. Sedangkan elemen pengendali terdiri dari IC CD4066B. Rangkaian penguat tegangan ditunjukkan pada Gambar 3.2.

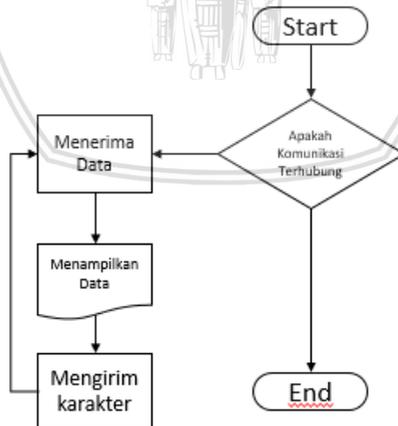
### 3.3 Perancangan Perangkat Lunak

Perangkat lunak pada penelitian ini dibuat agar sistem instrumentasi dapat membaca data, menampilkan data, dan mengendalikan nilai penguatan tegangan. Perangkat lunak pada Delphi 7 dibuat agar komputer dapat terhubung dengan Arduino UNO, menampilkan data, dan mengendalikan besar penguatan dengan diagram alir seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.4. Perangkat lunak pada Arduino UNO digunakan untuk menerima karakter, mengendalikan penguatan dan mengirim data dengan Diagram alir yang ditunjukkan seperti pada Gambar 3.3.

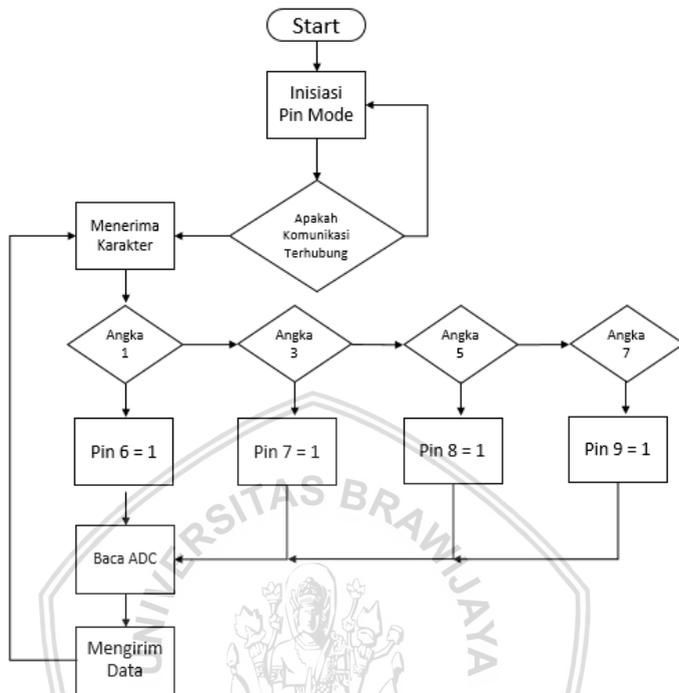


Gambar 3.2 Skematik Rangkaian Penguat Tegangan

Pada awal program, pin-pin Arduino UNO diberikan inisiasi untuk menentukan pin-pin yang akan digunakan. Setelah komunikasi antara Arduino UNO dengan komputer telah terhubung, Arduino UNO akan menerima karakter yang dikirim dari komputer. Setiap karakter yang diterima akan menghasilkan perlakuan yang berbeda sebagaimana pada Gambar 3.4. Setelah menerima karakter, Arduino akan membaca ADC dan hasil nilai yang terbaca tersebut akan dikirim ke komputer.



Gambar 3.3 Diagram Alir Pemrograman Delphi 7.

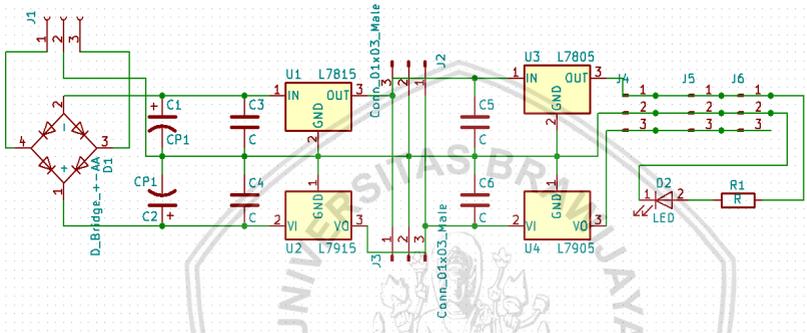


Gambar 3.4 Diagram Alir Program Arduino UNO

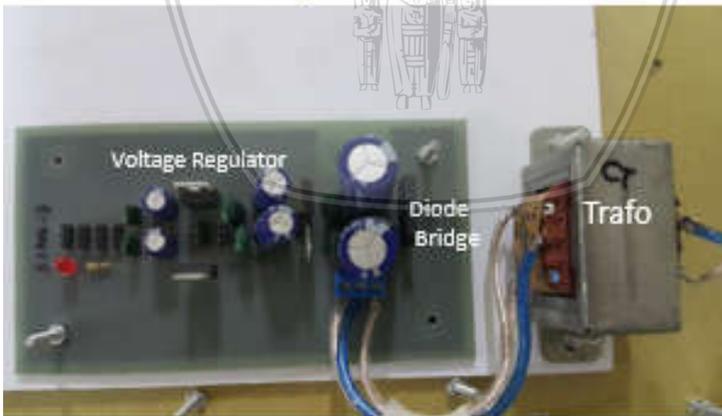
### 3.4 Pembuatan Alat

Pada penelitian ini ada 2 buah alat yang dibuat yaitu rangkaian *power supply* dan rangkaian penguat tegangan pembalik. Rangkaian *power supply* digunakan untuk memberikan tegangan kepada rangkaian penguat tegangan pembalik agar rangkaian tersebut dapat bekerja. Rangkaian penguat tegangan pembalik membutuhkan 5 volt dan -5 volt sebagai tegangan kerja. Atas dasar hal tersebut dibuatlah *power supply* dengan keluaran 5 volt dan -5 volt. Skematik dari rancangan rangkaian *power supply* ditunjukkan seperti pada Gambar 3.5. Penulis merancang *power supply* dengan menggunakan 1 buah transformator, 1 buah *diode bridge*, 6 buah kapasitor, dan 4 buah *voltage regulator*. Transformator digunakan untuk menurunkan tegangan dari sumber PLN. Tegangan keluaran transformator menjadi 15 volt AC dengan arus sebesar 1 ampere. Tegangan keluaran transformator kemudian menuju *diode bridge* yang berfungsi sebagai penyearah. Setelah melewati *diode bridge*, arus menuju kapasitor yang berfungsi mengubah arus AC menjadi DC.

Setelah itu, arus menuju *voltage regulator* yang berfungsi mengeluarkan tegangan sesuai dengan yang diinginkan. Dalam rancangan ini, penulis menggunakan IC *voltage regulator* 7815, 7915, 7805, dan 7905 yang secara berturut-turut berfungsi untuk mengatur tegangan menjadi sebesar 15, -15, 5, dan -5 volt. *Voltage regulator* yang digunakan dengan keluaran 15 dan -15 volt terlebih dahulu untuk menjaga agar *voltage regulator* dengan keluaran 5 dan -5 volt tidak cepat panas. Hasil pembuatan *Power supply* ditunjukkan seperti pada Gambar 3.6.



Gambar 3.5 Skematik Rangkaian *Power Supply*.



Gambar 3.6 Rangkaian *Power Supply*.

### 3.5 Hasil Perancangan Perangkat Keras

Hasil perancangan perangkat ditampilkan pada Gambar 3.7. Terdapat 7 buah resistor yang digunakan sebagai variabel penguatan. Pada Gambar 3.2 hanya terdapat 4 buah resistor yang digunakan

sebagai variabel penguatan, namun di pasaran tidak terdapat resistor yang bernilai 20 k $\Omega$ , 40 k $\Omega$ , dan 80 k $\Omega$ , sehingga digunakan 2 buah resistor yang di pasang secara seri agar didapatkan nilai yang diinginkan. Resistor yang digunakan memiliki nilai toleransi sebesar 5%. Pada resistor *feedback* digunakan *jumper* sehingga memungkinkan peneliti untuk menggunakan 2 buah pilihan resistor yaitu sebesar 164 k $\Omega$  dan 80 k $\Omega$ .

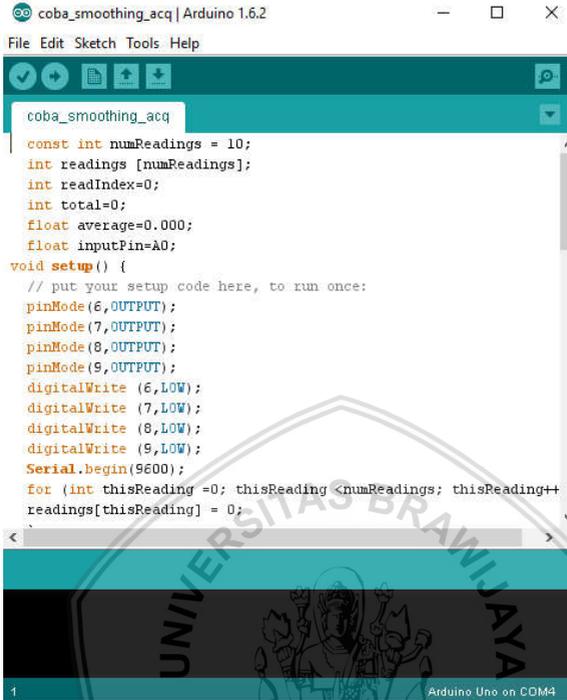


Gambar 3.7 Rangkaian Penguat Tegangan Pembalik

### 3.6 Hasil Perancangan Perangkat Lunak

Perangkat lunak yang digunakan adalah Arduino IDE dan Delphi 7. Perangkat lunak Arduino UNO digunakan untuk menerima data yang diterima dari rangkaian penguat tegangan, mengirim data ke komputer, menerima dan menjalankan perintah dari komputer. Perangkat lunak Arduino IDE ditampilkan pada Gambar 3.8.

Perangkat lunak pada Delphi 7 digunakan untuk memberikan perintah kepada Arduino UNO, dan menampilkan data yang dikirim oleh Arduino UNO. Tampilan dari perangkat lunak yang Delphi 7 yang digunakan pada komputer ditampilkan pada Gambar 3.9. Tampilan dari program Delphi terdiri dari 2 buah tombol yang digunakan untuk menghubungkan antar komputer dengan Arduino, 4 buah tombol yang digunakan untuk memberikan perintah ke Arduino, dan 1 buah label yang digunakan untuk menampilkan nilai tegangan yang diterima dari Arduino UNO.



```
coba_smoothing_acq | Arduino 1.6.2
File Edit Sketch Tools Help
coba_smoothing_acq
const int numReadings = 10;
int readings [numReadings];
int readIndex=0;
int total=0;
float average=0.000;
float inputPin=A0;
void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
  pinMode(6,OUTPUT);
  pinMode(7,OUTPUT);
  pinMode(8,OUTPUT);
  pinMode(9,OUTPUT);
  digitalWrite (6,LOW);
  digitalWrite (7,LOW);
  digitalWrite (8,LOW);
  digitalWrite (9,LOW);
  Serial.begin(9600);
  for (int thisReading =0; thisReading <numReadings; thisReading++
  readings[thisReading] = 0;
1 Arduino Uno on COM4
```

Gambar 3.8 Arduino IDE

Program Delphi terdiri dari 6 buah tombol dan 2 buah label. 6 buah tombol tersebut terdiri dari tombol *Connect/Disconnect*, *Settings*, dan 4 buah tombol *ON/OFF*. Tombol *Settings* digunakan untuk mengatur *Port* dan *Baudrate* yang akan digunakan. Tombol *Connect/Disconnect* digunakan untuk menghubungkan atau memutuskan hubungan antara Arduino dengan Komputer. 4 buah tombol *ON/OFF* digunakan untuk mengendalikan penguatan Op-Amp. Masing-masing keadaan pada tombol tersebut mewakili sebuah karakter yang jika keadaan pada tombol tersebut terpenuhi, maka program tersebut akan mengirim sebuah karakter. Setiap karakter yang terkirim akan menghasilkan perlakuan yang berbeda pada Arduino UNO.

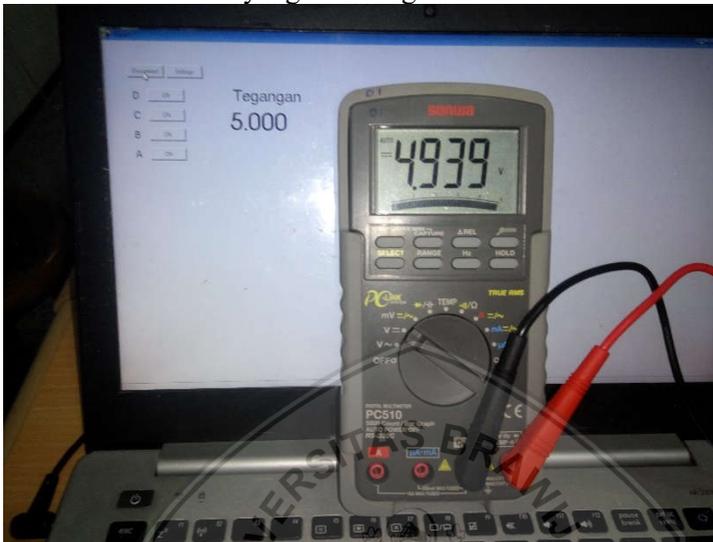


Gambar 3.9 Tampilan Program Delphi

### 3.7 Pengujian Pembaca Tegangan

Pengujian pembaca tegangan dilakukan untuk menguji kebenaran sistem instrumentasi yang telah dibuat. Pengujian dilakukan dengan cara menjalankan perangkat dan membandingkan hasil yang diperoleh dari perangkat dengan alat ukur yang sudah terkalibrasi. Pada penelitian ini, penguji membandingkan instrumentasi yang telah dibuat dengan multimeter. Pengujian dilakukan dengan memberikan tegangan 5 volt pada ADC yang ada pada Arduino. Kemudian program Delphi yang telah dibuat dibuka pada komputer. Pada program Delphi, komunikasi dihubungkan antara komputer dengan Delphi. Setelah komunikasi berhasil, hasil yang ditampilkan pada program Delphi kemudian dibandingkan dengan multimeter. Jika nilai yang ditampilkan pada program sudah sesuai dengan multimeter, maka instrumentasi yang telah dibuat sudah benar dan sesuai dengan multimeter sebagaimana yang ditampilkan pada Gambar 3.10. Hasil dari pengujian pembaca tegangan didapatkan bahwa pembaca tegangan sudah menampilkan nilai yang benar. Jika dibandingkan dengan multimeter maka terdapat perbedaan nilai pembacaan tegangan dengan besar  $\pm 0.061$  volt. Hal tersebut dapat terjadi karena ADC yang digunakan oleh

multimeter lebih besar dari pada Arduino UNO sehingga multimeter memiliki nilai ketelitian yang lebih bagus.



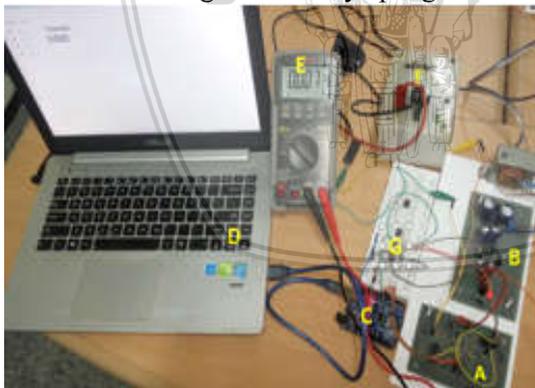
Gambar 3.10 Kalibrasi ADC dengan multimeter



## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Konfigurasi Alat

Pengujian dan pengambilan data dilakukan menggunakan instrumentasi yang telah dibuat. Agar pengujian dan pengambilan data dapat berjalan dengan baik maka perangkat keras dan lunak yang telah dibuat harus terhubung dengan benar satu dengan yang lainnya. Perangkat keras yang digunakan yaitu rangkaian penguat tegangan, Arduino UNO, dan komputer sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 4.1. Tegangan masukan yang digunakan untuk menguji alat diambil dari *power supply* yang dapat diatur besar beda potensialnya. Tegangan masukan dihubungkan pada rangkaian penguat tegangan. Rangkaian penguat tegangan terhubung dengan Arduino UNO yang digunakan untuk mengatur besarnya penguatan dan juga mengirim sinyal ke komputer. Arduino UNO terhubung dengan komputer yang digunakan untuk menampilkan data besar tegangan yang diterima dan juga memberikan perintah ke Arduino UNO untuk mengatur besarnya penguatan.



- A. Rangkaian penguat tegangan
- B. Power supply
- C. Arduino UNO
- D. Komputer
- E. Multimeter
- F. Sumber sinyal
- G. Rangkaian penguat tegangan 1 kali

Gambar 4.1 Konfigurasi Pemasangan Alat.

Digunakan rangkaian penguat pembalik dengan penguatan satu kali untuk membalik tegangan keluaran dari rangkaian penguat tegangan pembalik sebelumnya. Hal tersebut dilakukan karena ADC Arduino UNO tidak dapat membaca tegangan minus sebagai sinyal masukan.

## 4.2 Pengambilan Data

Rancang bangun instrumentasi penguat tegangan terkendali dihubungkan dengan konfigurasi sebagaimana pada Gambar 4.1. Sinyal masukan yang digunakan berupa *power supply* yang dapat diubah besar tegangannya. Sinyal masukan terhubung dengan rangkaian penguat tegangan yang dapat dikendalikan dengan menggunakan Arduino UNO. Arduino UNO berfungsi untuk mengirim data ke komputer. Komputer bertugas untuk menampilkan data dan memberikan perintah ke Arduino UNO melalui program yang telah dibuat menggunakan Delphi 7. Program Delphi akan menampilkan nilai besar tegangan keluaran dengan satuan volt.

Pengambilan data dilakukan sebanyak 4 kali dengan tegangan masukan 0,05; 0,1; 0,2; 0,3 volt. Perubahan penguatan tegangan dilakukan sebanyak 16 kali dari mulai logika 0000 sampai logika 1111. Resistor *feedback* yang digunakan bernilai 164,7 dan 83,3 k $\Omega$ . Sinyal keluaran yang tampak pada program Delphi akan dibandingkan nilainya dengan multimeter untuk mengetahui besar kesalahan relatifnya.

Penggunaan IC CD4066B dimungkinkan untuk memberikan variasi besar penguatan dengan memasangkan setiap variabel resistor dengan port yang terdapat pada IC CD4066B secara paralel. Ketika setiap resistor terhubung dengan IC CD4066B secara paralel maka sama seperti setiap variabel resistor terhubung dengan 4 buah sakelar secara paralel. IC CD4066B mempunyai kemampuan untuk mengatur sakelar dengan bilangan digital. Ketika sakelar diberikan logika 1 maka sakelar akan terhubung dan tidak ada arus yang mengalir ke resistor. Setiap sakelar memiliki dua kemungkinan logika yaitu 1 dan 0, sehingga jika terdapat 4 buah sakelar maka akan ada 16 buah kemungkinan keadaan yang dapat terjadi.

Ketika logika 0000 diberikan pada Arduino UNO maka pin-pin (pin 6,7,8,9) yang terhubung dengan kontrol IC CD4066B menjadi *low*. Ketika semua pin berlogika *low* maka sakelar pada IC CD4066B tidak terhubung dan menjadikan variabel resistor terhubung secara seri. Keadaan logika 0000 membuat variabel resistor memiliki besar resistansi sebesar 150 k $\Omega$ . Pada Gambar 3.2 terdapat R9 dengan besar 10 k $\Omega$  yang dipasang pada *port* masukan Op-Amp sehingga nilai total dari variabel resistor menjadi 160 k $\Omega$ . Jika menggunakan resistor *feedback* sebesar 160 k $\Omega$  maka akan didapatkan nilai penguatan sebesar 1 kali, sedangkan jika resistor *feedback* yang digunakan adalah 80 k $\Omega$ , maka penguatan akan

sebesar 0,5 kali. Besarnya penguatan secara teori bisa dilihat sebagaimana pada Tabel 4.1.

Pada Tabel 4.1 S1, S2, S3, S4 mewakili sakelar yang terdapat pada IC CD4066B. Masing-masing sakelar tersebut memiliki 2 keadaan yaitu 1 dan 0. Keadaan sakelar bernilai 1 menunjukkan bahwa sakelar tersebut terhubung sedangkan saat bernilai 0 menunjukkan sakelar tersebut tidak terhubung. Sakelar yang terhubung menyebabkan adanya *bypass* aliran arus sehingga arus tidak melewati resistor. Ketika diberikan logika 1111, maka semua variabel resistor akan dianggap tidak terhubung dan resistansinya bernilai 0. Sehingga nilai penguatan yang didapatkan akan bernilai 16 kali dengan perhitungan sebagaimana pada persamaan 4.1.

$$A = \frac{R_f}{R_o} = \frac{160}{10} = 16 \quad (4.1)$$

Dimana  $A$  besar penguatan yang didapatkan,  $R_f$  merupakan resistor *feedback* yang digunakan, dan  $R_o$  merupakan resistor yang terdapat pada Gambar 3.2.

Tabel 4.1 Besar penguatan secara teori

S4	S3	S2	S1	Penguatan Teori
0	0	0	0	1,000
0	0	0	1	1,067
0	0	1	0	1,143
0	0	1	1	1,231
0	1	0	0	1,333
0	1	0	1	1,455
0	1	1	0	1,600
0	1	1	1	1,778
1	0	0	0	2,000
1	0	0	1	2,286
1	0	1	0	2,667
1	0	1	1	3,200
1	1	0	0	4,000
1	1	0	1	5,333
1	1	1	0	8,000
1	1	1	1	16,000

#### 4.2.1 Pengambilan Data Pertama

Pengambilan data pertama dilakukan dengan memberikan tegangan masukan sebesar 0,05 volt dan menggunakan resistor

feedback sebesar 164 kΩ dan 83,3 kΩ. Hasil pengambilan data pertama ditunjukkan sebagaimana pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Pengambilan data pertama dengan resistor 164,7 kΩ.

S4	S3	S2	S1	V <sub>in</sub> (V)	V <sub>out Display</sub> (V)	V <sub>out multimeter</sub> (V)	Penguatan	Penguatan Teori
0	0	0	0	0,05	0,044	0,057	0,880	1,000
0	0	0	1	0,051	0,049	0,059	0,961	1,067
0	0	1	0	0,051	0,054	0,064	1,059	1,143
0	0	1	1	0,051	0,059	0,068	1,157	1,231
0	1	0	0	0,051	0,059	0,069	1,157	1,333
0	1	0	1	0,051	0,064	0,069	1,255	1,455
0	1	1	0	0,05	0,073	0,085	1,460	1,600
0	1	1	1	0,051	0,093	0,092	1,824	1,778
1	0	0	0	0,051	0,127	0,138	2,490	2,000
1	0	0	1	0,051	0,132	0,142	2,588	2,286
1	0	1	0	0,051	0,156	0,17	3,059	2,667
1	0	1	1	0,05	0,186	0,189	3,720	3,200
1	1	0	0	0,051	0,21	0,221	4,118	4,000
1	1	0	1	0,051	0,269	0,278	5,275	5,333
1	1	1	0	0,051	0,368	0,376	7,216	8,000
1	1	1	1	0,051	0,704	0,705	13,804	16,000
R feedback = 164,7 kΩ								

Pengambilan data berhasil dilakukan dengan perubahan besar nilai penguatan sebanyak 16 variasi penguatan dari sinyal masukan yang diberikan. Data yang didapatkan menunjukkan adanya perbedaan antara nilai tegangan keluaran yang ditampilkan pada instrumentasi dan multimeter dengan nilai terbesar 0,02 volt. Besar nilai penguatan yang didapatkan berbeda dengan hasil penguatan secara teoritis. Hal ini dapat terjadi dikarenakan tidak terdapatnya resistor dengan nilai yang diinginkan di pasaran. Selain itu, pada saat sinyal masukan bernilai 0,05 volt, sinyal masukan mengalami *voltage drop* sehingga penguatan yang didapatkan memiliki perbedaan yang cukup besar dengan teori. Hal lain yang dapat mempengaruhi nilai penguatan yaitu temperatur IC pada saat penggunaan. Pengambilan data dengan menggunakan resistor *feedback* sebesar 83,3 kΩ ditampilkan pada Tabel 4.3. Tegangan keluaran yang tampil pada instrumentasi dan yang tertera pada multimeter memiliki perbedaan dengan nilai terbesar yaitu 0,017 volt.

Tabel 4.3 Pengambilan data pertama dengan resistor 83,3 k $\Omega$ .

S4	S3	S2	S1	$V_{in}$ (V)	$V_{out display}$ (V)	$V_{out Multimeter}$ (V)	Penguatan	Penguatan Teori
0	0	0	0	0,052	0,015	0,028	0,288	0,500
0	0	0	1	0,051	0,015	0,029	0,294	0,533
0	0	1	0	0,051	0,02	0,034	0,392	0,571
0	0	1	1	0,051	0,02	0,035	0,392	0,615
0	1	0	0	0,051	0,024	0,036	0,471	0,667
0	1	0	1	0,051	0,024	0,038	0,471	0,727
0	1	1	0	0,051	0,034	0,038	0,667	0,800
0	1	1	1	0,051	0,038	0,042	0,745	0,889
1	0	0	0	0,051	0,059	0,067	1,157	1,000
1	0	0	1	0,051	0,064	0,072	1,255	1,143
1	0	1	0	0,051	0,073	0,088	1,431	1,333
1	0	1	1	0,051	0,083	0,1	1,627	1,600
1	1	0	0	0,051	0,103	0,115	2,020	2,000
1	1	0	1	0,051	0,132	0,144	2,588	2,667
1	1	1	0	0,051	0,191	0,199	3,745	4,000
1	1	1	1	0,051	0,347	0,351	6,804	8,000
R feedback = 83,3 k $\Omega$								

Besar nilai penguatan yang didapatkan dibandingkan dengan penguatan secara teori mengalami perbedaan. Nilai penguatan maksimum yang bisa dicapai hanya 6,8 kali. Hal ini dapat disebabkan karena sinyal masukan mengalami *voltage drop* pada tegangan masukan. Selain itu suhu kerja pada IC juga mempengaruhi besar penguatan. IC CA3140 dapat mengalami penurunan nilai keluaran pada rentang suhu kerja tertentu. Dalam hal ini, IC CA3140 dapat bekerja dengan baik pada suhu 25°C.

#### 4.2.2 Pengambilan Data Kedua

Data kedua diambil dengan memberikan 0,1 volt dan menggunakan resistor *feedback* sebesar 164 k $\Omega$  dan 83,3 k $\Omega$  dengan hasil penguatan sebagaimana pada Tabel 4.4. Data yang didapatkan menunjukkan adanya perbedaan antara nilai tegangan keluaran yang ditampilkan pada instrumentasi dan multimeter dengan nilai terbesar yaitu 0,017 volt.

Tabel 4.4 Pengambilan data kedua dengan resistor 164,7 k $\Omega$ 

S4	S3	S2	S1	$V_{in}$ (V)	$V_{out display}$ (V)	$V_{out Multimeter}$ (V)	Penguatan	Penguatan Teori
----	----	----	----	--------------	-----------------------	--------------------------	-----------	-----------------

0	0	0	0	0,103	0,093	0,107	0,903	1,000
0	0	0	1	0,103	0,103	0,114	1,000	1,067
0	0	1	0	0,102	0,107	0,124	1,049	1,143
0	0	1	1	0,102	0,117	0,132	1,147	1,231
0	1	0	0	0,103	0,127	0,142	1,233	1,333
0	1	0	1	0,103	0,142	0,155	1,379	1,455
0	1	1	0	0,102	0,161	0,171	1,578	1,600
0	1	1	1	0,102	0,176	0,19	1,725	1,778
1	0	0	0	0,103	0,205	0,217	1,990	2,000
1	0	0	1	0,102	0,239	0,245	2,343	2,286
1	0	1	0	0,101	0,273	0,283	2,703	2,667
1	0	1	1	0,101	0,322	0,334	3,188	3,200
1	1	0	0	0,1	0,41	0,417	4,100	4,000
1	1	0	1	0,102	0,547	0,546	5,363	5,333
1	1	1	0	0,1	0,801	0,805	8,010	8,000
1	1	1	1	0,097	1,509	1,508	15,557	16,000

R feedback = 164,7 kΩ

Perbandingan besar nilai penguatan yang didapatkan dengan penguatan secara teori hampir sama. Penguatan maksimum yang didapatkan sebesar 15,5 kali dan penguatan minimum yang didapatkan sebesar 0,9 kali. Perbedaan yang sangat kecil ini dapat terjadi karena pemilihan nilai resistor yang hanya dapat mendekati nilai yang diinginkan. Pengambilan data dengan menggunakan resistor *feedback* 83,3 kΩ dan tegangan masukan sebesar 0,1 volt didapatkan hasil seperti pada Tabel 4.5. Tegangan keluaran yang pada instrumentasi dan yang tertera pada multimeter memiliki perbedaan dengan nilai terbesar yaitu 0,018 volt.

Nilai penguatan maksimum yang bisa dicapai 7,7 kali sedangkan penguatan minimum yang bisa didapatkan adalah 0,379 kali. Serupa dengan penggunaan resistor *feedback* 164,7 kΩ, besar nilai penguatan yang didapatkan hampir serupa dengan teori. Perbedaan nilai penguatan dapat disebabkan karena nilai resistor yang digunakan tidak dapat menyerupai dengan nilai resistor pada rancangan.

Tabel 4.5 Pengambilan data kedua dengan resistor 83,3 kΩ.

S4	S3	S2	S1	V <sub>in</sub> (V)	V <sub>out display</sub> (V)	V <sub>out Multimeter</sub> (V)	Penguatan	Penguatan Teori
0	0	0	0	0,103	0,039	0,056	0,379	0,500
0	0	0	1	0,104	0,044	0,06	0,423	0,533
0	0	1	0	0,103	0,049	0,065	0,476	0,571

0	0	1	1	0,103	0,054	0,069	0,524	0,615
0	1	0	0	0,104	0,059	0,075	0,567	0,667
0	1	0	1	0,104	0,068	0,081	0,654	0,727
0	1	1	0	0,103	0,073	0,09	0,709	0,800
0	1	1	1	0,103	0,083	0,099	0,806	0,889
1	0	0	0	0,104	0,093	0,111	0,894	1,000
1	0	0	1	0,104	0,112	0,125	1,077	1,143
1	0	1	0	0,103	0,132	0,145	1,282	1,333
1	0	1	1	0,103	0,156	0,172	1,515	1,600
1	1	0	0	0,104	0,2	0,215	1,923	2,000
1	1	0	1	0,104	0,269	0,282	2,587	2,667
1	1	1	0	0,102	0,405	0,417	3,971	4,000
1	1	1	1	0,099	0,771	0,777	7,788	8,000
R feedback = 83,3 kΩ								

### 4.2.3 Pengambilan Data Ketiga

Pengambilan data ketiga dilakukan dengan memberikan tegangan masukan sebesar 0,2 volt dan menggunakan resistor *feedback* sebesar 164 kΩ dan 83,3 kΩ. Hasil pengambilan data kedua ditunjukkan sebagaimana pada Tabel 4.6. Dilakukan 16 keadaan yang berbeda pada sakelar yang ada pada IC CD4066B sehingga menyebabkan terjadinya 16 variasi besar penguatan. Data yang didapatkan menunjukkan adanya perbedaan antara nilai tegangan keluaran yang ditampilkan pada instrumentasi dan multimeter dengan nilai terbesar yaitu 0,032 volt. Penguatan maksimum yang didapatkan sebesar 13,9 kali dan penguatan minimum yang didapatkan sebesar 0,97 kali. Selain dari keadaan logika 1111 nilai penguatan yang didapatkan hampir sama dengan penguatan secara teori. Pada keadaan logika 1111 didapatkan penguatan maksimum sebesar 13,9 kali. Hal ini disebabkan karena tidak dimungkinkan untuk mencapai penguatan sebesar 16 kali pada sinyal masukan 0,2 volt. Keterbatasan IC CA3140 yang hanya memiliki keluaran maksimal sebesar 3 volt hanya memungkinkan sinyal sebesar 0,2 volt dikuatkan sebesar 14 kali. Selain itu, adanya *offset* tegangan keluaran yang menyebabkan adanya penambahan tegangan keluaran pada penguatan Op-Amp.

Tabel 4.6 Pengambilan data ketiga dengan resistor 164,7 kΩ.

S4	S3	S2	S1	$V_{in} (V)$	$V_{out display} (V)$	$V_{out Multimeter} (V)$	Penguatan	Penguatan Teori
0	0	0	0	0,2	0,195	0,209	0,975	1,000

0	0	0	1	0,201	0,21	0,223	1,045	1,067
0	0	1	0	0,2	0,225	0,24	1,125	1,143
0	0	1	1	0,2	0,244	0,258	1,220	1,231
0	1	0	0	0,2	0,269	0,279	1,345	1,333
0	1	0	1	0,201	0,293	0,304	1,458	1,455
0	1	1	0	0,2	0,327	0,337	1,635	1,600
0	1	1	1	0,2	0,361	0,374	1,805	1,778
1	0	0	0	0,201	0,405	0,415	2,015	2,000
1	0	0	1	0,201	0,454	0,471	2,259	2,286
1	0	1	0	0,2	0,537	0,549	2,685	2,667
1	0	1	1	0,2	0,645	0,652	3,225	3,200
1	1	0	0	0,202	0,815	0,822	4,035	4,000
1	1	0	1	0,202	1,084	1,086	5,366	5,333
1	1	1	0	0,199	1,616	1,616	8,121	8,000
1	1	1	1	0,195	2,725	2,757	13,974	16,000
R feedback = 164,7 kΩ								

Pengambilan data dengan menggunakan resistor *feedback* 83,3 kΩ dan tegangan masukan sebesar 0,2 volt didapatkan hasil dengan hasil ditampilkan pada Tabel 4.7. Besar perbedaan pembacaan nilai tegangan antara instrumentasi dengan multimeter dengan nilai terbesar yaitu 0,015 volt. Besar nilai penguatan yang didapatkan dibandingkan dengan penguatan secara teori mengalami perbedaan pada beberapa keadaan. Nilai penguatan maksimum yang bisa dicapai 8 kali sedangkan penguatan minimum yang bisa didapatkan adalah 0,48 kali. Serupa dengan penggunaan resistor *feedback* 164,7 kΩ, besar nilai penguatan yang didapatkan hampir serupa dengan teori.

Tabel 4.7 Pengambilan data ketiga dengan resistor 83,3 kΩ.

S4	S3	S2	S1	$V_{in} (V)$	$V_{out display} (V)$	$V_{out Multimeter} (V)$	Penguatan	Penguatan Teori
0	0	0	0	0,203	0,098	0,108	0,483	0,500
0	0	0	1	0,203	0,103	0,116	0,507	0,533
0	0	1	0	0,203	0,112	0,125	0,552	0,571
0	0	1	1	0,203	0,122	0,134	0,601	0,615
0	1	0	0	0,203	0,132	0,145	0,650	0,667
0	1	0	1	0,203	0,146	0,158	0,719	0,727
0	1	1	0	0,203	0,161	0,175	0,793	0,800
0	1	1	1	0,202	0,181	0,193	0,896	0,889
1	0	0	0	0,204	0,2	0,215	0,980	1,000
1	0	0	1	0,203	0,229	0,244	1,128	1,143

1	0	1	0	0,203	0,273	0,284	1,345	1,333
1	0	1	1	0,202	0,322	0,337	1,594	1,600
1	1	0	0	0,204	0,415	0,425	2,034	2,000
1	1	0	1	0,203	0,552	0,56	2,719	2,667
1	1	1	0	0,2	0,825	0,83	4,125	4,000
1	1	1	1	0,197	1,582	1,571	8,030	8,000
R feedback = 83,3 kΩ								

#### 4.2.4 Pengambilan Data Keempat

Pengambilan data keempat dilakukan dengan memberikan tegangan masukan sebesar 0,3 volt dan menggunakan resistor *feedback* sebesar 164 kΩ dan 83,3 kΩ. Dari pengambilan data ketiga didapatkan data hasil penguatan sebagaimana pada Tabel 4.8. Perbandingan besar nilai penguatan yang didapatkan dengan penguatan secara teori terjadi perbedaan pada nilai maksimum yang dapat dicapai. Penguatan maksimum yang didapatkan sebesar 9,86 kali dan penguatan minimum yang didapatkan sebesar 1 kali. Selain dari keadaan logika 1111 nilai penguatan yang didapatkan hampir sama dengan penguatan secara teori. Pada keadaan logika 1111 didapatkan penguatan maksimum sebesar 9,86 kali. Hal ini terjadi dikarenakan terdapat pengaruh *offset* tegangan masukan sebesar 2 mV yang ikut dikuatkan. Secara teori sinyal 0,3 volt hanya bisa dikuatkan hingga 10 kali karena keluaran maksimum hanya sebesar 3 Volt, namun besar penguatan yang dicapai hanya 9,86 kali. Hal ini menunjukkan adanya *offset* tegangan masukan yang ikut dikuatkan. Tegangan keluaran yang didapatkan menunjukkan adanya perbedaan antara nilai yang ditampilkan pada komputer dan multimeter dengan nilai terbesar yaitu 0,023 volt.

Tabel 4.8 Pengambilan data keempat dengan resistor 164,7 kΩ.

S4	S3	S2	S1	$V_{in} (V)$	$V_{out display} (V)$	$V_{out Multimeter} (V)$	Penguatan	Penguatan Teori
0	0	0	0	0,3	0,303	0,314	1,010	1,000
0	0	0	1	0,3	0,322	0,334	1,073	1,067
0	0	1	0	0,3	0,352	0,36	1,173	1,143
0	0	1	1	0,3	0,376	0,387	1,253	1,231
0	1	0	0	0,3	0,41	0,42	1,367	1,333
0	1	0	1	0,3	0,449	0,458	1,497	1,455
0	1	1	0	0,3	0,493	0,506	1,643	1,600
0	1	1	1	0,3	0,552	0,561	1,840	1,778
1	0	0	0	0,3	0,615	0,623	2,050	2,000

1	0	0	1	0,3	0,703	0,708	2,343	2,286
1	0	1	0	0,3	0,82	0,826	2,733	2,667
1	0	1	1	0,299	0,977	0,982	3,268	3,200
1	1	0	0	0,301	1,24	1,242	4,120	4,000
1	1	0	1	0,301	1,646	1,637	5,468	5,333
1	1	1	0	0,298	2,461	2,437	8,258	8,000
1	1	1	1	0,294	2,9	2,877	9,864	16,000
R feedback = 164,7 kΩ								

Pengambilan data dengan menggunakan resistor *feedback* 83,3 kΩ dan tegangan masukan sebesar 0,3 volt didapatkan hasil dengan hasil ditampilkan pada Tabel 4.9. Tegangan keluaran yang tampil pada *display* dan yang tertera pada multimeter memiliki perbedaan nilai dengan nilai terbesar yaitu 0,024 volt. Besar nilai penguatan yang didapatkan dibandingkan dengan penguatan secara teori mengalami perbedaan pada beberapa keadaan. Nilai penguatan maksimum yang bisa dicapai 7,9 kali sedangkan penguatan minimum yang bisa didapatkan adalah 0,48 kali. Serupa dengan penggunaan resistor *feedback* 164,7 kΩ, besar nilai penguatan yang didapatkan hampir serupa dengan teori. Perbedaan nilai penguatan dapat disebabkan karena nilai resistor yang digunakan tidak dapat menyerupai dengan nilai resistor pada rancangan.

Tabel 4.9 Pengambilan data keempat dengan resistor 83,3 kΩ.

S4	S3	S2	S1	V <sub>in</sub> (V)	V <sub>out display</sub> (V)	V <sub>out Multimeter</sub> (V)	Penguatan	Penguatan Teori
0	0	0	0	0,302	0,146	0,161	0,483	0,500
0	0	0	1	0,302	0,156	0,171	0,517	0,533
0	0	1	0	0,302	0,171	0,185	0,566	0,571
0	0	1	1	0,302	0,186	0,198	0,616	0,615
0	1	0	0	0,302	0,2	0,215	0,662	0,667
0	1	0	1	0,302	0,22	0,234	0,728	0,727
0	1	1	0	0,302	0,244	0,256	0,808	0,800
0	1	1	1	0,301	0,269	0,284	0,894	0,889
1	0	0	0	0,303	0,308	0,319	1,017	1,000
1	0	0	1	0,302	0,352	0,362	1,166	1,143
1	0	1	0	0,301	0,415	0,422	1,379	1,333
1	0	1	1	0,3	0,493	0,501	1,643	1,600
1	1	0	0	0,302	0,62	0,627	2,053	2,000
1	1	0	1	0,302	0,825	0,825	2,732	2,667
1	1	1	0	0,299	1,226	1,228	4,100	4,000
1	1	1	1	0,295	2,358	2,334	7,993	8,000

### 4.3 Karakteristik Instrumentasi

Setelah dilakukan pengujian pada instrumentasi yang telah dibuat didapatkan karakteristik dari instrumentasi sebagaimana berikut:

1. Sinyal keluaran maksimal dari instrumentasi ini adalah 3 volt. Hal ini disebabkan dari spesifikasi dari Op-Amp yang digunakan yang memiliki tegangan keluaran maksimum sebesar 3 volt.
2. Pembacaan instrumentasi memiliki nilai beda pembacaan nilai tegangan antar instrumentasi yang dibuat dengan alat ukur komersial (multimeter) dengan nilai terbesar 0,032 volt.
3. Nilai akurasi dari instrumentasi ditunjukkan pada nilai rata-rata yang ditunjukkan Tabel 4.10 dan Tabel 4.11. Nilai rata-rata tersebut dibandingkan dengan penguatan secara teori. Perbandingan antara nilai tersebut menunjukkan akurasi dari instrumentasi yang dibuat. Didapatkan perbandingan rata-rata penguatan dengan penguatan secara teori yang tidak terlalu jauh pada penggunaan resistor *feedback* sebesar 164,7 k $\Omega$  dan 83,3 k $\Omega$ . Hal ini menunjukkan instrumentasi yang telah dibuat memiliki akurasi yang cukup baik. Penguatan 16 kali pada penggunaan resistor *feedback* sebesar 164,7 k $\Omega$  menjadi pengecualian dalam hal ini dikarenakan penguatan yang dapat dicapai pada saat sinyal masukan sebesar 0,2 dan 0,3 volt yang dapat dicapai hanya 14 dan 10 kali.
4. Tingkat presisi dari instrumentasi ini ditunjukkan oleh Tabel 4.10 dan 4.11. Berdasarkan kedua tabel perbandingan penguatan pada resistor 164,7 k $\Omega$  (Tabel 4.10) dan 83,3 k $\Omega$  (Tabel 4.11) besar nilai penguatan yang ditunjukkan oleh kolom-kolom penguatan 0,05V; 0,1V; 0,2V; dan 0,3V tidak linier. Pada penguatan sinyal DC penguatan yang didapatkan seharusnya linier pada semua variasi sinyal masukan. Dengan perbandingan penguatan yang didapatkan pada setiap sinyal masukannya maka dapat dikatakan presisi dari instrumentasi tidak baik.

Tabel 4.10 Perbandingan penguatan pada resistor 164,7 k $\Omega$

Penguatan Teori	Penguatan $V_{in} = 0,05 \text{ V}$	Penguatan $V_{in} = 0,1 \text{ V}$	Penguatan $V_{in} = 0,2 \text{ V}$	Penguatan $V_{in} = 0,3 \text{ V}$	Rata-rata Penguatan
1,000	0,880	0,903	0,975	1,010	0,942

1,067	0,961	1,000	1,045	1,073	1,020
1,143	1,059	1,049	1,125	1,173	1,102
1,231	1,157	1,147	1,220	1,253	1,194
1,333	1,157	1,233	1,345	1,367	1,275
1,455	1,255	1,379	1,458	1,497	1,397
1,600	1,460	1,578	1,635	1,643	1,579
1,778	1,824	1,725	1,805	1,840	1,799
2,000	2,490	1,990	2,015	2,050	2,136
2,286	2,588	2,343	2,259	2,343	2,383
2,667	3,059	2,703	2,685	2,733	2,795
3,200	3,720	3,188	3,225	3,268	3,350
4,000	4,118	4,100	4,035	4,120	4,093
5,333	5,275	5,363	5,366	5,468	5,368
8,000	7,216	8,010	8,121	8,258	7,901
16,000	13,804	15,557	13,974	9,864	13,300

Tabel 4.11 Perbandingan penguatan pada resistor 83,3 k $\Omega$ 

Penguatan Teori	Penguatan $V_{in} = 0,05$	Penguatan $V_{in} = 0,1$	Penguatan $V_{in} = 0,2$	Penguatan $V_{in} = 0,3$	Rata-rata Penguatan
0,500	0,288	0,379	0,483	0,483	0,408
0,533	0,294	0,423	0,507	0,517	0,435
0,571	0,392	0,476	0,552	0,566	0,496
0,615	0,392	0,524	0,601	0,616	0,533
0,667	0,471	0,567	0,650	0,662	0,588
0,727	0,471	0,654	0,719	0,728	0,643
0,800	0,667	0,709	0,793	0,808	0,744
0,889	0,745	0,806	0,896	0,894	0,835
1,000	1,157	0,894	0,980	1,017	1,012
1,143	1,255	1,077	1,128	1,166	1,156
1,333	1,431	1,282	1,345	1,379	1,359
1,600	1,627	1,515	1,594	1,643	1,595
2,000	2,020	1,923	2,034	2,053	2,007
2,667	2,588	2,587	2,719	2,732	2,656
4,000	3,745	3,971	4,125	4,100	3,985
8,000	6,804	7,788	8,030	7,993	7,654



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

## BAB V PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Telah dibuat instrumentasi penguat tegangan terkendali berbasis mikrokontroler Arduino UNO. Besar nilai penguatan tegangan dapat diubah nilainya sebanyak 16 kali pengubahan dengan menggunakan sinyal digital yang dikirim melalui Arduino UNO. Instrumentasi penguat tegangan ini memiliki karakteristik di antaranya adalah tegangan keluaran maksimum adalah 3 volt, memiliki perbedaan pembacaan nilai tegangan antara instrumentasi yang dibuat dan multimeter dengan nilai terbesar 0,032 volt. Akurasi dari instrumentasi cukup baik yang ditunjukkan oleh perbandingan antara rata-rata penguatan yang didapatkan dan penguatan secara teori. Presisi dari instrumentasi tidak baik. Hal ini ditunjukkan pada rasio penguatan yang sama didapatkan besar penguatan yang berbeda pada setiap masukannya.

### 5.2 Saran

Untuk penelitian selanjutnya, dapat dikembangkan dengan menggunakan sinyal masukan berupa sinyal AC. Selain itu, IC Op-Amp yang digunakan dapat dikembangkan dengan menggunakan IC Op-Amp dengan tegangan keluaran yang lebih besar untuk penelitian selanjutnya. Selain itu, resistor yang digunakan memiliki nilai toleransi yang kecil agar meningkat nilai presisi.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

## DAFTAR PUSTAKA

- Alexander, C., 2009. *Fundamentals of Electric Circuits*. United States: McGraw-Hill.
- Arduino, 2017. *arduino uno*. [Online] Available at: <https://store.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3>
- Christoper, R., 2008. *Fundamental Electrical and Electronic Principles*. Oxford: Elsevier.
- Floyd, T., 2012. *Electronic Devices*. New Jersey: Prentice Hall.
- Hugh, Y., 2003. *Fisika Universitas*. Jakarta: Erlangga .
- Intersil, 2015. <https://www.intersil.com/content/dam/Intersil/documents/ca31/ca3140-a.pdf>. [Online] Available at: <https://www.intersil.com/content/dam/Intersil/documents/ca31/ca3140-a.pdf>
- Lilik, E. N., 2017. Penerapan Dari Op-Amp. *ORBITH*, 1 Maret, 13(1), pp. 43-50.
- Lutfiyana, 2017. Rancang Bangun Alat Ukur Suhu Tanah , Kelembaban Tanah, dan Resistansi. *Jurnal Teknik Elektro*, pp. 80-86.
- Mancini, R., 2002. *Op Amps For Everyone*, Dallas: s.n.
- Milton, G., 1983. *Schaums Outline of Theory and Problems of Basic Electricity*. New York: McGraw-Hill.
- Sydenham, P., 2005. *Handbook of Measuring System Design*. New Jersey: John Wiley and son's.
- Texas Instrument, 2017. <http://www.ti.com/lit/ds/schs051g/schs051g.pdf>. [Online] Available at: <http://www.ti.com/lit/ds/schs051g/schs051g.pdf>
- Varum, D., 2017. Automatic Window System by Sensing Daylight. *International Journal of Engineering and Management Research*, pp. 547-549.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)