

RANCANG BANGUN SISTEM POTENSIOSTAT MENGUNAKAN ARDUINO UNO

Skripsi

**Disusun untuk memenuhi salah satu syarat
memperoleh gelar Sarjana Sains**



**Dimas Syafindra
3225136373**









**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA
2017**

PERSETUJUAN PANITIA UJIAN SKRIPSI

Rancang Bangun Sistem Potensiostat Menggunakan Arduino Uno

Nama : Dimas Syafindra

No.Reg: 3225136373

	Nama	Tanda Tangan	Tanggal
Penanggung Jawab			
Dekan	: Prof. Dr. Suyono, M.Si NIP.19671218 199303 1 005		23-08-2017
Wakil Penanggung Jawab			
Wakil Dekan I	: Dr. Muktiningsih N., M.Si NIP.19640511 198903 2 001		24/08/2017
Ketua	: Dr. Anggara Budi Susila, M.Si NIP.19601001 199203 1 001		22/08/2017
Sekretaris	: Riser Fahdiran, M.Si NIP.19830717 200912 1 008		19/08/2017
Anggota			
Pembimbing I	: Dr. Esmar Budi, M.T NIP.19720728 199903 1 002		21/8 2017
Pembimbing II	: Dr. Iwan Sugihartono, M.Si NIP.19791010 200801 1 018		21/08/2017
Penguji	: Prof. Dr. Agus Setyo Budi, M.Sc NIP.19630426 198803 1 002		21/08/2017

Dinyatakan lulus ujian skripsi tanggal: 14 Agustus 2017

LEMBAR PERNYATAAN

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi dengan judul **“Rancang Bangun Sistem Potensiostat Menggunakan Arduino Uno”** yang disusun sebagai syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains dari Program Studi Fisika Universitas Negeri Jakarta adalah karya ilmiah saya dengan arahan dari dosen pembimbing.

Sumber informasi yang diperoleh dari penulis lain yang telah dipublikasikan yang disebutkan dalam teks skripsi ini, telah dicantumkan dalam Daftar Pustaka sesuai dengan norma, kaidah dan etika penulisan ilmiah.

Jika dikemudian hari ditemukan sebagian besar skripsi ini bukan hasil karya saya sendiri dalam bagian-bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi pencabutan gelar akademik yang saya sanding dan sanksi-sanksi lainnya sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku.

Jakarta, Agustus 2017



Dimas Syafindra

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

MOTTO

“Biarkan segala sesuatu yang Anda kerjakan hari ini berkompetisi dengan segala sesuatu yang telah Anda kerjakan kemarin dan biarkan semua yang Anda kerjakan hari ini menjadi ukuran bagi semua yang mampu Anda lakukan di kemudian hari” – William J. Reilly

PERSEMBAHAN

Skripsi ini Saya dedikasikan khusus untuk:

“Kedua orangtua Saya yang sangat Saya cintai, Papa Syafruddin Bagindo dan Mama Irni Yefi, yang selalu bekerja keras membimbing dalam sikap, ilmu, perbuatan dan doa, memberikan semangat dan kasih sayang yang tiada hentinya, terus berjuang dalam mengurus dan mendidik Dimas sampai saat ini, dan terus memotivasi selama perkuliahan di Universitas Negeri Jakarta”.

“Teman-teman sekaligus sahabat di Program Studi Fisika angkatan 2013 yang selalu hadir dalam kebersamaan, kekeluargaan, selalu menginspirasi dalam sikap dan perbuatan selama empat tahun perjuangan bersama di bangku perkuliahan di Universitas Negeri Jakarta periode 2013 s/d 2017”

ABSTRAK

Dimas Syafindra. Rancang Bangun Sistem Potensiostat Menggunakan Arduino Uno. Skripsi. Jakarta: Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Jakarta, 2017.

Potensiostat merupakan suatu perangkat dalam pengujian elektrokimia modern yang digunakan untuk menganalisis karakteristik suatu larutan melalui respons arus akibat penerapan potensial pada larutan tersebut. Dalam penelitian ini telah dibuat suatu rancang bangun sistem potensiostat *portable* menggunakan mikrokontroler ATmega328P dalam sistem minimum Arduino Uno. Rancang bangun sistem potensiostat ini dilengkapi dengan aplikasi Android yang bertugas menerima dan mengirimkan data dari dan ke potensiostat melalui perantara *bluetooth*. Data yang dikirimkan berupa data pengatur operasional potensiostat dan data yang diterima berupa data respons arus dan potensial ketika digunakan dalam pengujian elektrokimia. Hasil pengujian menunjukkan bahwa rentang pengukuran potensial potensiostat ini yaitu antara -1.1976 V sampai dengan 1.1989 V dengan rentang pengukuran arus antara -4.98 mA sampai dengan 5 mA. Kesalahan relatif rata-rata pengukuran potensial ketika sapuan maju dan balik yaitu 0.24% dan 0.64% serta nilai RMSE (*root mean square*) rata-rata pengukuran potensial ketika sapuan maju dan balik yaitu 0.0034 dan 0.0023. Sedangkan kesalahan relatif rata-rata pengukuran arus ketika sapuan maju dan balik yaitu 0.75% dan 0.53% serta nilai RMSE rata-rata pengukuran arus ketika sapuan maju dan balik yaitu 0.0075 dan 0.0065.

Kata kunci. *mikrokontroler, potensiostat*

ABSTRACT

Dimas Syafindra. *Design of Potentiostat System Using Arduino Uno. Minithesis. Jakarta: Study Program of Physics, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, State University of Jakarta, 2017.*

Potentiostat is a device of modern electrochemical testing which is used to analyze the characteristic of a solution through the current response due to potential applied into the solution. In this research a portable potentiostat system has been designed by using ATmega328P microcontroller in Arduino Uno minimum system. Design of this potentiostat system is equipped with an Android application that is tasked with receiving and transmitting data from and to the potentiostat via a bluetooth interface. The data transmitted in the form of operational data of potentiostat and data received in the form of current and potential response when potentiostat used in electrochemical testing. The result show that the potential measurement range of this potentiostat is between -1.1976 V to 1.1989 V with the current measurement range between -4.98 mA to 5 mA. The average relative error of potential measurement when forward and reverse scans is 0.24% and 0.64% and the average RMSE (root mean square error) values when forward and reverse scans is 0.0034 and 0.0023. The average relative error of current measurement when forward and reverse scans is 0.75% and 0.53% and the average RMSE values when forward and reverse scans is 0.0075 and 0.0065.

Keywords. *microcontroller, potentiostat*

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji dan syukur Penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah senantiasa memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga Penulis dapat menyelesaikan Skripsi yang berjudul **“Rancang Bangun Sistem Potensiostat Menggunakan Arduino Uno”**. Dalam penulisan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Maka pada kesempatan ini Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibu Dr. Widyaningrum Indrasari, M.Si selaku ketua Program Studi Fisika Universitas Negeri Jakarta atas bimbingan dan arahan sehingga penulis dapat melaksanakan skripsi tepat waktu.
2. Bapak Dr. Esmar Budi, M.T selaku Pembimbing I atas waktu, bimbingan, perhatian dan saran kepada penulis baik dalam penulisan skripsi maupun dalam penelitiannya sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik dan tepat waktu.
3. Bapak Dr. Iwan Sugihartono, M.Si selaku Pembimbing II atas waktu, bimbingan dan saran yang membangun.
4. Seluruh dosen Program Studi Fisika Universitas Negeri Jakarta yang telah membimbing dan memberikan berbagai pengetahuan.
5. Mas Fajrin dan Pak Mahfud selaku karyawan Laboratorium Elektronika Program Studi Fisika Universitas Negeri Jakarta atas waktu dan bimbingan dalam penelitian skripsi ini.
6. Orang tua dan keluarga yang telah mendukung dengan doa, motivasi, saran dan bimbingan selama penyusunan skripsi ini.
7. Yulia Ermadiana dan Rentha Theresia sebagai partner penelitian bimbingan Bapak Dr. Esmar Budi, M.T yang selalu meberikan motivasi, bantuan dan saran selama proses penelitian maupun penyusunan skripsi dilakukan.
8. Muhammad Aldiansyah, Luthfi Chandra Aliem, Nadya Hidayatie, Ajeng Retno Budiarti, dan seluruh teman-teman Laboratorium Instrumentasi

Program Studi Fisika Universitas Negeri Jakarta atas bantuan, motivasi, dan saran serta ilmu yang berguna dalam penyusunan skripsi ini.

9. Teman-teman Program Studi Fisika angkatan 2013 atas kebersamaan, kerjasama, bantuan dan masukan yang mendukung penulisan proposal ini.

Penulis menyadari dalam penulisan skripsi ini masih banyak terdapat kekurangan maupun kesalahan, baik mengenai isi materi, cara penyajian, maupun teknis penulisan. Oleh karena itu, Penulis sangat mengharapkan adanya kritik dan saran yang bersifat membangun sebagai proses pembelajaran untuk masa yang akan datang.

Jakarta, Agustus 2017

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN PANITIA UJIAN SKRIPSI... Error! Bookmark not defined.	
LEMBAR PERNYATAAN	ii
MOTTO DAN PERSEMBAHAN	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Identifikasi Masalah	3
1.3 Pembatasan Masalah.....	3
1.4 Perumusan Masalah.....	4
1.5 Tujuan Penelitian	4
1.6 Manfaat Penelitian.....	4
BAB II KAJIAN PUSTAKA	6
2.1 Elektrokimia	6
2.2 Elektroanalisis	6
2.3 Voltametri.....	7
2.4 Voltametri Siklik (<i>Cyclic Voltammetry/CV</i>).....	10
2.5 Potensiostat.....	13
2.6 Prinsip Kerja Potensiostat.....	15
2.7 <i>Operational Amplifier (Op-Amp)</i>	15
2.8 Sistem Minimum Arduino Uno	17
2.9 Bluetooth HC-05	19
2.10 Modul DAC MCP4725.....	21
2.11 Liquid Crystal Display (LCD).....	21

2.12	MIT App Inventor	23
2.13	Penelitian Terkait.....	24
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....		26
A.	Waktu dan Tempat Penelitian.....	26
B.	Alat dan Bahan Penelitian.....	26
C.	Metode	28
D.	Pengujian.....	28
E.	Prosedur Penelitian	28
F.	Diagram Alir Penelitian	33
G.	Blok Diagram Sistem.....	35
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		36
4.1.	Power Supply	37
4.2.	Potensial <i>Output</i> Modul DAC MCP4725	39
4.3.	Kalibrasi Pin Analog A0 Arduino.....	40
4.4.	Kalibrasi Pin Analog A0 Terhadap Rangkaian <i>Summing Amplifier</i>	42
4.6.	Kalibrasi Pin Analog A1 Terhadap Potensial <i>Output</i> Rangkaian <i>Current to Voltage Converter</i>	46
4.7.	Kalibrasi Pin Analog A1 Terhadap Arus Rangkaian <i>Current to Voltage Converter</i>	49
4.8.	Perancangan Perangkat Keras.....	49
4.9.	Perancangan Aplikasi Android	50
4.10.	Pengujian Sistem Potensiostat Menggunakan Resistor	51
4.11.	Pengujian Sistem Potensiostat	53
BAB V PENUTUP.....		59
5.1.	Kesimpulan	59
5.2.	Saran	59
DAFTAR PUSTAKA		60
LAMPIRAN.....		64
DAFTAR RIWAYAT HIDUP.....		78

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Sel Voltametri, W: Elektroda kerja, R: Elektroda pembanding, A: Elektroda bantu.	9
Gambar 2.2.	Sinyal eksitasi voltametri siklik.	10
Gambar 2.3.	Voltamogram siklik ferrocyanida sebagai larutan elektrolit.	11
Gambar 2.4.	Voltamogram siklik 0,025 M $K_4Fe(CN)_6 \cdot 3H_2O$ dalam 1,0 M KNO_3 menggunakan anoda dan katoda Pt dengan luas 1 cm^2 dan kecepatan scan 50 mV/sec, (A)1 putaran dan (B) 5 putaran.	12
Gambar 2.5.	Voltamogram siklik 0,025 M $K_4Fe(CN)_6 \cdot 3H_2O$ dalam 1,0 M KNO_3 menggunakan anoda dan katoda Pt dengan luas 1 cm^2 dan kecepatan scan 100, 200, 300 dan 400 mV/sec.	13
Gambar 2.6.	Konfigurasi dasar dari potensiostat.	14
Gambar 2.7.	Simbol operational amplifier.	16
Gambar 2.8.	Operational amplifier ideal memiliki $R_{in} = \infty$ dan $R_{out} = 0$	17
Gambar 2.9.	Sistem minimum Arduino UNO	18
Gambar 2.10.	Arduino IDE.	19
Gambar 2.11.	Modul Bluetooth HC-05	20
Gambar 2.12.	Modul DAC MCP4725	21
Gambar 2.13.	LCD 16x2.	22
Gambar 2.14.	Simulasi perancangan aplikasi android.	23
Gambar 3.1.	Skema rangkaian potensiostat.	30
Gambar 3.2.	Skema rangkaian power supply.	30
Gambar 3.3.	Rancang bangun <i>power supply</i>	31
Gambar 3.4.	Diagram alir penelitian.	34
Gambar 3.5.	Rancang Bangun Potensiostat.	35
Gambar 3.6.	Desain Sistem Sel Elektrokimia.	35
Gambar 4.1.	Skema rancang bangun sistem potensiostat menggunakan Arduino Uno Potensiostat	36
Gambar 4.2.	Tampilan Power Supply DC	38
Gambar 4.3.	Grafik hubungan potensial output Modul DAC MCP4725 saat sapuan maju dan sapuan balik terhadap waktu sapuan (scan). ...	40

Gambar 4.4.	Grafik hubungan antara pengukuran potensial <i>output</i> modul DAC MCP4725 oleh multimeter terhadap Analog A0. Gambar 4.4(a) saat sapuan maju dan gambar 4.4(b) saat sapuan balik.....	42
Gambar 4.5.	Rangkaian summing amplifier	42
Gambar 4.6.	Grafik korelasi linier hasil pengukuran potensial output rangkaian summing amplifier terhadap pengukuran potensial DAC MCP4725. Gambar 4.6(a) grafik ketika pemberian potensial saat sapuan maju dan Gambar 4.6(b) grafik ketika pemberian potensial saat sapuan balik.	45
Gambar 4.7.	Rentang keluaran rangkaian summing amplifier saat pemberian potensial maju dan balik terhadap lama waktu scan pemberian potensial.	46
Gambar 4.8.	Grafik korelasi linier hasil pengukuran potensial keluaran rangkaian current to voltage converter oleh multimeter terhadap pengukuran potensial oleh pin Analog A1 Arduino. Gambar 4.8(a) grafik ketika pemberian potensial maju dan Gambar 4.8(b) ketika pemberian potensial balik pada rangkaian summing amplifier.	48
Gambar 4.9.	Tampilan rancang bangun sistem potensiostat menggunakan Arduino Uno	50
Gambar 4.10.	Tampilan Aplikasi Android	51
Gambar 4.11.	Kurva respon Arus terhadap kenaikan potensial (a) dan penurunan potensial (b).....	52
Gambar 4.12.	Voltamogram Siklik larutan $K_3Fe(CN)_6$ konsentrasi 10 mM (a), 20 Mm (b) dan 30 Mm (c).....	54
Gambar 4.13.	Grafik hubungan arus puncak anodik terhadap akar scan rates dengan konsentrasi potassium ferricyanide masing-masing 10 mM (a), 20 mM (b), dan 30 mM (c)	57
Gambar 4.14.	Grafik hubungan arus puncak katodik terhadap akar scan rates dengan konsentrasi potassium ferricyanide masing-masing 10 mM (a), 20 mM (b), dan 30 mM (c)	58

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Spesifikasi Arduino Uno	18
Tabel 2.2. Konfigurasi pin Modul Bluetooth HC-05.	20
Tabel 2.3. Deskripsi pinout LCD	22
Tabel 3.1. Bahan-bahan Komposisi Larutan Elektrolit.....	31
Tabel 4.1. Suplai potensial yang dapat diberikan power supply DC	38
Tabel 4.2. Rentang potensial output DACMCP4725 dan rangkaian summing amplifier	45
Tabel 4.3. Hasil Pengukuran Resistor	46
Tabel 4.4. Kemampuan Pengaturan Potensiostat	51
Tabel 4.5. Nilai arus puncak anoda dan akar scan rate untuk konsentrasi $K_3Fe(CN)_6$ masing-masing 10 mM, 20 Mm, dan 30 mM	55
Tabel 4.6. Nilai arus puncak katoda dan akar scan rate untuk konsentrasi $K_3Fe(CN)_6$ masing-masing 10 mM, 20 Mm, dan 30 mM.....	55

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1.	Data-Data Yang Didapatkan Dari Hasil Pengukuran.....	64
Lampiran 1.1.	Data Potensial Output Modul DAC MCP4725	64
Lampiran 1.2.	Data Kalibrasi Pin Analog A0.....	65
Lampiran 1.3.	Data Kalibrasi Pin Analog A0 Terhadap Rangkaian <i>Summing Amplifier</i>	67
Lampiran 1.4.	Data Potensial Output Rangkaian <i>Summing Amplifier</i>	69
Lampiran 1.5.	Data Kalibrasi Pin Analog A1 Terhadap Potensial Output Rangkaian <i>Current to Voltage Converter</i>	70
Lampiran 1.6.	Kalibrasi Pin Analog A1 Terhadap Arus Rangkaian <i>Current to Voltage Converter</i>	72
Lampiran 2.	Koding Arduino	75

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Saat ini terdapat beberapa sensor yang tersedia di pasaran yang digunakan dalam proses pengujian elektrokimia. Salah satu dari sensor tersebut yaitu potensiostat. Proses pengujian elektrokimia untuk analisis (elektroanalisis) memerlukan potensiostat yang digunakan untuk mengatur potensial listrik dan mengukur arus listrik pada sel elektrokimia (Muid dkk, 2014). Potensiostat merupakan suatu rangkaian sederhana yang tersusun atas beberapa resistor, kapasitor, dan penguat operasional atau Op-Amp (Meloni, 2016). Potensiostat umumnya menggunakan 3 elektroda sebagai sensor utamanya yaitu elektroda kerja (*working electrode/WE*), elektroda pembanding (*reference electrode/RE*), dan elektroda bantu (*counter electrode/CE*). Potensiostat mengandalkan penguat operasional untuk menjaga beda potensial yang diinginkan antara WE dan RE tetap konstan ketika kedua elektroda tersebut bekerja pada suatu larutan. CE ditambahkan pada sel elektrokimia yang bertujuan untuk mengisolasi RE dari kemungkinan aliran arus listrik yang dapat menyebabkan beda potensial antara WE dan RE berfluktuatif.

Pada pengaplikasiannya potensiostat dapat digunakan untuk mengontrol kualitas makanan dan obat-obatan, sensor biologi dan sensor kimia (Muid dkk, 2014), dalam bidang material seperti analisis korosi dan analisis sifat-sifat material (Gopinath & Russell, 2005), dan dalam keperluan medis seperti identifikasi DNA, perekaman syaraf, klasifikasi protein, dan mendeteksi variasi pH dengan mendeteksi data dalam bentuk potensial dan arus (Aishah, 2013). Dari beberapa kegunaan tersebut dapat dikatakan bahwa potensiostat merupakan perangkat yang sangat penting.

Ketersediaan dari potensiostat yang *portable* dan memiliki tingkat akurasi dan presisi yang tinggi berbanding lurus dengan biaya yang dikeluarkan dalam penyediaan sekaligus perawatannya. Berdasarkan informasi yang beredar (Gopinath & Russell, 2005) potensiostat yang beredar secara komersial saat ini

memiliki ukuran besar dan harga yang mahal. Maka dari itu, dengan melakukan pengembangan potensiostat menggunakan komponen, rangkaian dan bahan yang lebih sederhana diharapkan dapat mengurangi biaya pembuatan yang dikeluarkan namun tidak mengurangi tingkat presisifitas dan keakuratan dari potensiostat tersebut.

Pengembangan potensiostat bukan merupakan hal baru. Beberapa potensiostat telah diteliti dan dikembangkan oleh peneliti sebelumnya dengan menggunakan rangkaian dan komponen yang berbeda. (Gopinath & Russell, 2005) berhasil mengembangkan suatu potensiostat dengan harga murah menggunakan mikrokontroler PIC18F452 yang memiliki ADC (*analog to digital converter*) 10 bit. Potensiostat tersebut dirancang dengan dimensi ukuran 13x3 cm yang membuat potensiostat tersebut *portable*. (Muid dkk, 2014) dalam penelitiannya mengembangkan suatu potensiostat yang menggunakan mikrokontroler ATXMEGA32 yang memiliki ADC (*analog to digital converter*) 12 bit dengan kecepatan pengukuran data mencapai 2MS/s (2 Mega Sample per Sekon). Mikrokontroler ini juga dilengkapi DAC (*digital to analog converter*) internal dengan kecepatan penyedia gelombang mencapai 1MS/s. (Fu dkk, 2015) dalam penelitiannya mengembangkan potensiostat *portable* yang terintegrasi dengan perangkat *mobile*. Perangkat *mobile* memiliki fungsi sebagai pengontrol potensial, penyimpanan data, mengkomunikasikan data, dan plot grafik didalam proses diagnosa suatu sel elektrokimia. Potensiostat ini menggunakan mikrokontroler TIMP430BT190 dan menggunakan baterai sebagai sumber daya operasi potensiostat. (Meloni, 2016) dalam penelitiannya mengembangkan suatu potensiostat *portable* dan murah dengan komponen-komponen sederhana menggunakan mikrokontroler ATMEGA328 yang menjadi satu kesatuan dalam satu sistem minimum Arduino Uno. Mikrokontroler ATMEGA328 dalam Arduino Uno tidak memiliki DAC sendiri sehingga memanfaatkan DAC buatan menggunakan rangkaian *RC Filter*.

Berdasarkan penjabaran diatas dan penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, dilakukanlah penelitian dengan judul “Rancang Bangun Sistem Potensiostat Menggunakan Arduino UNO”. Rancang bangun sistem

potensiostat ini menggunakan aplikasi Android sebagai pengatur operasional potensiostat berupa pengatur kecepatan pemberian sinyal (*scan rates*), potensial *input* mula-mula, potensial maksimum, dan potensial minimum, serta banyaknya proses pemberian sinyal (siklik). Instruksi berupa perintah tersebut kemudian dikirimkan ke sistem minimum Arduino Uno melalui perantara *bluetooth* yang selanjutnya dapat dieksekusi berupa pemberial potensial. Selama pengujian berlangsung, data berupa arus dan potensial listrik yang terbentuk pada sel elektrokimia diukur oleh sistem minimum Arduino Uno dan akan ditampilkan oleh aplikasi Android. Untuk menyuplai nilai potensial pada rangkaian potensiostat digunakan modul DAC MCP4725 yang dapat menyediakan gelombang tertentu seperti gelombang sinus, persegi, segitiga, dsb. Pada penelitian ini, modul DAC MCP4725 digunakan sebagai penyedia gelombang segitiga (*triangular wave*) yang berguna pada pengujian elektrokimia menggunakan metode *cyclic voltammetry*.

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas maka dapat diidentifikasi masalah dari penelitian ini adalah

1. Bagaimana merancang suatu potensiostat menggunakan sistem minimum Arduino Uno yang terintegrasi dengan aplikasi Android?
2. Bagaimana merancang suatu potensiostat yang memiliki tingkat akurasi yang baik?

1.3 Pembatasan Masalah

Pembatasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Pengujian potensiostat menggunakan teknik *scan cyclic voltammetry* (CV).
2. Pengujian potensiostat menggunakan larutan elektrolit campuran 0.1 M *potassium nitrate*, 0.1 M *sodium hidroxide*, kedalam masing-masing

potassium ferricyanide dengan konsentrasi 10 mM, 20 mM, dan 30 mM dalam pelarut *aquades*.

3. Pengujian potensiostat menggunakan variasi *scan rates* 10, 20, 50, 100, 200 dan 300 mV/s.

1.4 Perumusan Masalah

Perumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimanakah pengaruh variasi *scan rates potassium ferricyanide* terhadap arus puncak anoda dan katoda yang terbentuk pada larutan elektrolit berdasarkan voltammogram siklik yang didapatkan?
2. Seberapa besarkah potensial yang dapat diberikan oleh rancang bangun sistem potensiostat ini?
3. Seberapa besarkah arus listrik yang dapat diukur oleh rancang bangun sistem potensiostat ini?
4. Seberapa akuratkah pengukuran potensial dan arus listrik alat ini dibandingkan dengan multimeter Metra Hit 25S?

1.5 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Membuat potensiostat yang *portable* dan praktis dalam penggunaannya menggunakan sistem minimum Arduino Uno dan aplikasi Android pada ponsel sebagai tampilan.
2. Membuat potensiostat sebagai perangkat yang berguna dalam pengujian elektrokimia (elektroanalisis) yang sederhana dan memiliki tingkat akurasi yang baik.

1.6 Manfaat Penelitian

Rancang bangun sistem potensiostat menggunakan Arduino Uno ini diharapkan dapat membantu para peneliti dan laboran memenuhi kebutuhan alat yang digunakan dalam berbagai pengujian elektrokimia yang efisien dalam biaya,

sederhana, *portable* dan praktis dalam penggunaannya. Dengan sistem yang mudah dibuat, alat ini juga diharapkan dapat digunakan sebagai media pembelajaran elektrokimia.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Elektrokimia

Elektrokimia merupakan bagian dari ilmu kimia yang mempelajari hubungan antara reaksi kimia dengan arus listrik. Tempat berlangsungnya reaksi kimia tersebut dinamakan sel elektrokimia. Sel elektrokimia merupakan seperangkat komponen peralatan yang didalamnya terdapat elektroda dan larutan elektrolit yang dapat menghantarkan arus listrik. Awal tahun 1950-an sebagian besar percobaan elektrokimia menggunakan tiga elektroda dan instrumennya dilengkapi dengan potensiostat (Wardah, 2012).

Dalam elektrokimia, reaksi kimia yang terjadi adalah transfer elektron antara permukaan elektroda dengan molekul di dalam larutan yang berpartisipasi dalam reaksi reduksi dan oksidasi. Adanya perpindahan elektron berupa pelepasan elektron (oksidasi) dan penangkapan elektron (reduksi) menandakan bahwa ada elektron yang mengalir. Aliran elektron mengindikasikan terjadinya arus listrik. Serah terima elektron mengakibatkan terjadinya perubahan muatan atom-atom yang berikatan. Perubahan muatan tersebut yang selanjutnya disebut peristiwa oksidasi dan reduksi atau dikenal sebagai reaksi redoks yang dapat memberikan informasi mengenai konsentrasi, kinetika, mekanisme reaksi, dan aktifitas dari zat/bahan elektroaktif dalam larutan.

2.2 Elektroanalisis

Elektroanalisis merupakan metode analisis kuantitatif atau kualitatif yang didasarkan pada sifat-sifat kelistrikan suatu larutan yang dianalisis di dalam sel elektrokimia. Elektroanalisis merupakan suatu teknik yang berfokus pada hubungan antara besaran listrik dengan reaksi kimia, yaitu menentukan satuan-satuan listrik seperti arus, potensial, dan hubungannya dengan parameter-parameter kimia (Riyanto, 2013). Contoh kegunaan elektroanalisis adalah polarografi, voltametri, potensiometri, dsb.

Pada elektroanalisis dapat dipelajari hubungan antara konsentrasi dengan potensial (potensiometri), konsentrasi dengan daya hantar listrik (konduktometri), konsentrasi dengan jumlah muatan listrik (koulometri), konsentrasi dengan potensial dan arus listrik (polarografi dan voltametri) (Andriani, 2007). Pada sel elektrokimia, reaksi kimia tidak terjadi secara spontan tetapi melalui perbedaan potensial yang dipicu dari luar sistem. Anoda berfungsi sebagai elektroda bermuatan positif dan katoda berfungsi sebagai elektroda bermuatan negatif, sehingga arus listrik mengalir dari anoda ke katoda. Sel ini terdiri dari: (1) sumber arus searah yang dihubungkan dengan (2) kawat penghantar (*jamper*) pada (3) dua buah elektroda (katoda dan anoda), kedua ujung elektroda dicelupkan dalam bejana yang berisi (4) cairan elektrolit (Riyanto, 2013). Elektroda yang digunakan dalam sel elektrokimia terdiri dari dua jenis yaitu:

1. Elektroda Inert

Elektroda inert adalah elektroda yang tidak ikut beraksi baik sebagai katoda maupun anoda, sehingga dalam sel elektrokimia yang mengalami reaksi redoks adalah elektrolit sebagai zat terlarut dan atau sebagai pelarut. Elektroda inert contohnya adalah karbon (C) dan platina (Pt). Elektroda inert banyak digunakan sebagai anoda dalam suatu pelapisan (Elektroplating).

2. Elektroda Aktif

Elektroda aktif yaitu elektroda yang ikut bereaksi, terutama jika digunakan sebagai anoda, dapat mengalami reaksi oksidasi. Contohnya adalah: Fe, Al, Cu, Zn, Ag, dan Au.

(Riyanto, 2013)

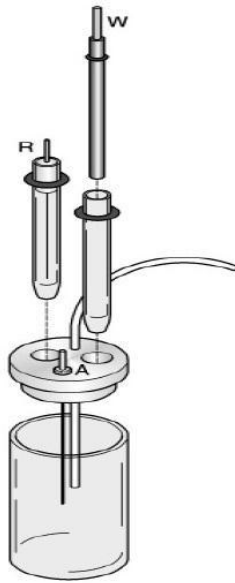
2.3 Voltametri

Voltametri merupakan salah satu teknik elektroanalisis dengan prinsip dasar elektrolisis. Metode voltametri merupakan metode elektroanalisis dimana informasi tentang zat/bahan elektroaktif diperoleh dari pengukuran arus terhadap pemberian potensial. Teknik pengukurannya dilakukan dengan cara mempolarisasikan elektroda kerja. Pengukuran dilakukan dengan menerapkan

suatu potensial kedalam sel elektrokimia, kemudian respon arus yang dihasilkan dari proses reaksi redoks (reduksi dan oksidasi) diukur. Respon arus diukur pada daerah potensial yang telah ditentukan (Puranto & Imawan, 2010). Arus yang dihasilkan sebanding dengan konsentrasi zat/bahan elektroaktif dalam larutan.

Dalam teknik voltametri, potensial yang diberikan dapat diatur sesuai keperluan. Kelebihan dari teknik ini adalah sensitifitasnya yang tinggi, limit deteksi yang rendah dan memiliki daerah linier yang lebar. Selama proses pengukuran, konsentrasi zat/bahan praktis tidak berubah karena hanya sebagian kecil zat/bahan yang dielektrolisis. Potensial elektroda kerja diubah selama pengukuran dan arus yang dihasilkan disalurkan terhadap potensial yang diberikan pada elektroda kerja. Kurva arus terhadap potensial yang dihasilkan disebut dengan voltammogram.

Berbagai jenis teknik voltametri telah dikembangkan seperti teknik *sweep*, teknik *step*, teknik pulsa, dan beberapa teknik lain. Teknik *sweep* terdiri dari tiga teknik elektroanalisis yaitu *linear sweep voltametri (LSV)*, *cyclic voltammetry (CV)*, dan polarografi (Puranto & Imawan, 2010). Perbedaan dari berbagai jenis teknik tersebut adalah terletak pada profil pemberian sinyal listriknya saja. Perbedaan pemberian sinyal listrik pada setiap pengembangan teknik voltametri menyebabkan setiap metode memiliki keunggulan tersendiri. Adapun sel voltametri dapat dilihat pada Gambar 2.1. Sel voltametri juga biasa disebut sebagai sel elektrokimia.

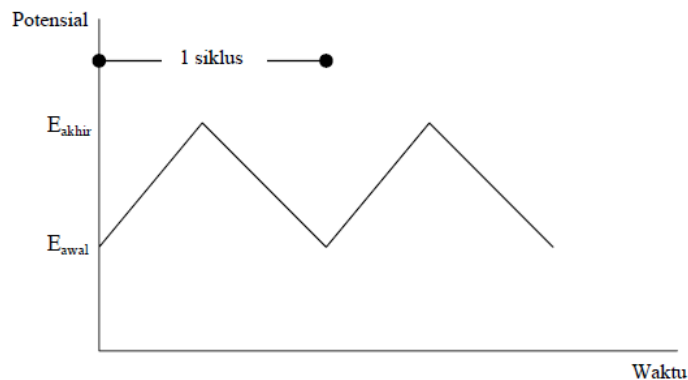


Gambar 2.1. Sel Voltametri, W: Elektroda kerja, R: Elektroda pembanding, A: Elektroda bantu.
(Setiawati, 2015)

Sel voltametri terdiri dari tiga buah elektroda yang dicelupkan kedalam larutan yang mengandung zat/bahan pendukung. Elektroda yang pertama adalah elektroda kerja (*working electrode*) yaitu elektroda tempat terjadi reaksi redoks dari zat/bahan yang bergantung pada potensial yang diberikan. Variasi potensial yang diberikan akan memberikan nilai arus yang berbeda-beda bergantung dari zat/bahan elektroaktif yang dianalisis. Nilai arus ini dapat diketahui dari puncak voltammogram yang diperoleh. Elektroda yang kedua adalah elektroda pembanding (*reference electrode*). Elektroda ini merupakan elektroda yang nilai potensialnya dibuat tetap selama pengukuran dan nilainya bergantung pada jenis dan komposisi larutan yang diukur. Elektroda pembanding yang digunakan biasanya elektroda Ag/AgCl atau elektroda kolomel jenuh (EKJ). Potensial elektroda yang terbaca dibandingkan dengan potensial elektroda pembanding. Jenis elektroda yang ketiga adalah elektroda bantu (*counter electrode*). Elektroda ini biasanya terbuat dari bahan seperti Pt. Elektroda bantu ini digunakan untuk mengalirkan arus antara elektroda kerja dan elektroda bantu sehingga arus dapat diukur.

2.4 Voltametri Siklik (*Cyclic Voltammetry/CV*)

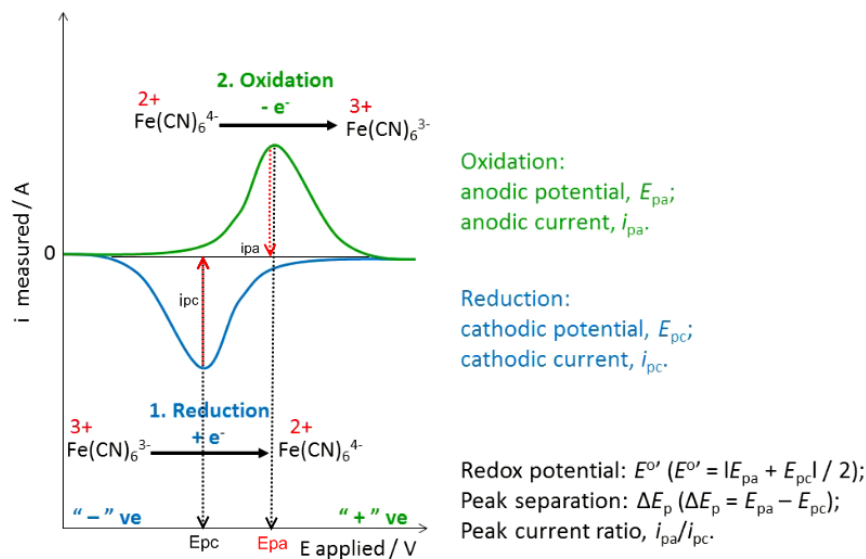
Voltametri siklik merupakan teknik yang banyak digunakan untuk mendapatkan informasi tentang reaksi elektrokimia (Riyanto, 2013). Teknik ini mampu memberikan informasi mengenai termodinamika proses reduksi-oksidasi dan kinetika transfer elektron yang terjadi dipermukaan elektroda. Pada voltametri siklik respon arus diukur sebagai fungsi potensial, dimana pemberian potensial dilakukan secara bolak-balik, sehingga informasi reduksi dan oksidasi dapat teramati dengan baik. Karakteristik *cyclic voltammetry* tergantung beberapa faktor yaitu laju reaksi transfer elektron, kereaktifan larutan elektroaktif, dan *scan rate* potensial. Larutan elektrolit yang semula dioksidasi pada sapuan potensial maju (*forward scan*) akan direduksi setelah sapuan potensial balik (*reverse scan*). Pada teknik voltametri siklik potensial diberikan dalam suatu siklus antara dua nilai beda potensial, pada awal potensial meningkat hingga maksimum kemudian turun secara linier dengan kemiringan yang sama hingga kembali ke potensial awal. Siklus ini akan berulang-ulang dan harus dicatat sebagai fungsi waktu. Ilustrasi tentang teknik voltametri siklik ini dapat dilihat pada Gambar 2.2 dibawah ini.



Gambar 2.2. Sinyal eksitasi voltametri siklik.

(Rokhmaturrokhman, 2007)

Hasil dari voltametri siklik ini adalah hubungan antara arus dan potensial disebut voltammogram siklik seperti Gambar 2.3 dibawah ini.



Gambar 2.3. Voltamogram siklik ferrocyanida sebagai larutan elektrolit.

Keterangan:

E_{pa} = Potensial pada saat terbentuknya *peak anodic*

E_{pc} = Potensial pada saat terbentuknya *peak cathodic*

I_{pa} = Arus pada saat terbentuknya *peak anodic*

I_{pc} = Arus pada saat terbentuknya *peak Cathodic*

Besarnya arus untuk pasangan puncak dari reaksi yang berlangsung secara *reversible* pada suhu 25°C ditentukan dengan persamaan Randles-Sevcik:

$$I_p = (2,69 \times 10^5) n^{\frac{3}{2}} A C D^{\frac{1}{2}} v^{\frac{1}{2}} \quad (2.1)$$

Keterangan:

I_p = arus puncak

n = jumlah elektron yang terlibat dalam reaksi

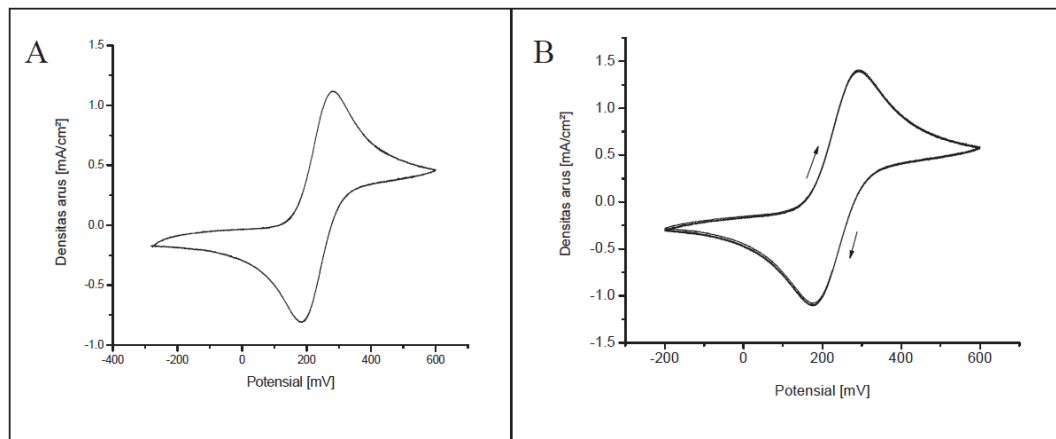
A = luas efektif permukaan elektroda (cm^2)

C = konsentrasi (mol/cm^3)

D = koefisien difusi (cm^2/s)

V = laju potensial atau *scan rate* (V/s)

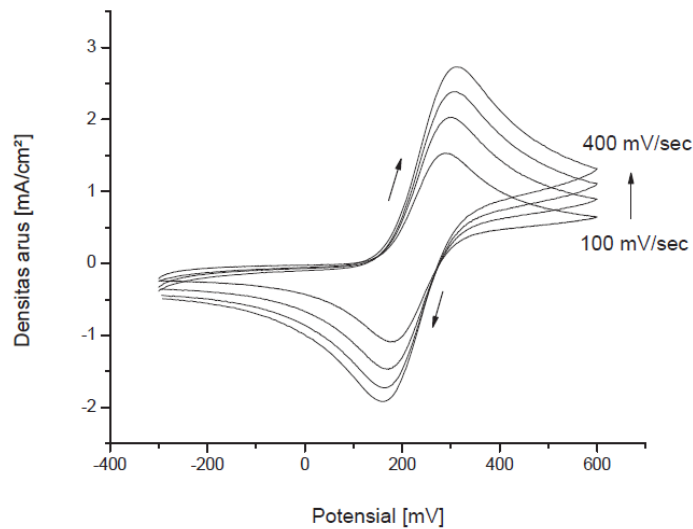
Satu kasus yang selalu digunakan dalam penelitian dan pengajaran voltametri yaitu penggunaan ferrocyanida dalam elektrolit KNO_3 (Riyanto, 2013). Voltammogram yang dihasilkan adalah voltammogram dapat berbalik (*reversible*). Voltammogram ferrocyanida dalam KNO_3 ditunjukkan dalam Gambar 2.4. Untuk menghindari pembentukan HCN pada larutan biasanya ditambahkan sodium hidroksida (NaOH) (Gopinath & Russell, 2005).



Gambar 2.4. Voltammogram siklik 0,025 M $\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ dalam 1,0 M KNO_3 menggunakan anoda dan katoda Pt dengan luas 1 cm^2 dan kecepatan scan 50 mV/sec, (A)1 putaran dan (B) 5 putaran.

(Riyanto, 2013)

Besarnya potensial puncak yang dihasilkan dipengaruhi oleh kinetika transfer elektron. Jika kinetika transfer elektron berlangsung lambat maka besarnya pemisahan potensial puncak akan lebih besar dan akan meningkat sesuai dengan peningkatan *scan rate* (lihat Gambar 2.4). Apabila potensial puncak yang dihasilkan tidak berubah dengan bertambahnya *scan rate*, reaksi reduksi oksidasi tersebut bersifat *reversible*. Sebaliknya jika potensialnya berubah dengan perubahan *scan rate* maka reaksi redoks tersebut bersifat *irreversible*.



Gambar 2. 5. Voltamogram siklik 0,025 M $K_4Fe(CN)_6 \cdot 3H_2O$ dalam 1,0 M KNO_3 menggunakan anoda dan katoda Pt dengan luas 1 cm^2 dan kecepatan scan 100, 200, 300 dan 400 mV/sec.

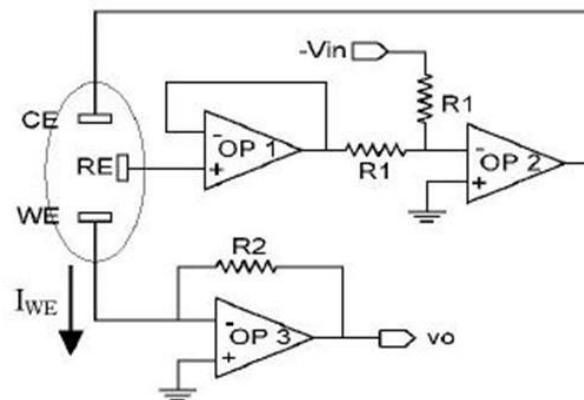
(Riyanto, 2013)

2.5 Potensiostat

Teknik elektrokimia untuk keperluan analisis kuantitatif instrumental membutuhkan pengetahuan dan alat-alat tambahan untuk pengolahan data. Hal ini berkenaan dengan kenyataan bahwa pembangkit sinyal analitik yang dihasilkan dalam komponen instrumen memerlukan pengolahan agar dapat memberikan data yang mudah diukur dan diolah untuk bahan informasi (Andriani, 2007).

Secara khusus, pengujian elektrokimia memerlukan suatu rangkaian elektronika yang dinamakan potensiostat (Fu dkk, 2015). Potensiostat merupakan instrumen yang dapat digunakan untuk mengukur arus yang melewati pasangan elektroda kerja dan elektroda bantu dan selalu menjaga keseimbangan beda potensial antara elektroda kerja dan elektroda pembanding (Bard & Faulkner, 1980). Potensiostat memberi potensial dan merekam respons arus yang merupakan karakteristik dari sampel uji. Potensiostat mempertahankan potensial antara elektroda kerja (*working electrode/WE*) dan elektroda pembanding

(*reference electrode/RE*) bernilai tetap dengan menyesuaikan aliran arus dari elektroda bantu (*counter electrode/CE*) (Muid dkk, 2014). Potensiostat menerapkan kontrol ini dengan menyuntikkan arus kedalam sel elektrokimia melalui *counter electrode* (Aishah, 2013). Konfigurasi dasar dari rangkaian potensiostat ditunjukkan oleh Gambar 2.6.



Gambar 2.6. Konfigurasi dasar dari potensiostat.

(Aishah, 2013)

Sebuah potensiostat mampu mendeteksi banyak larutan kimia dalam bentuk potensial dan arus. Potensiostat sering digunakan untuk analisa kuantitatif terhadap sifat-sifat korosi bahan. Potensiostat banyak digunakan untuk mengidentifikasi, mengukur, dan mengkarakterisasi spesies aktif redoks termasuk spesies anorganik, organik, dan biokimia (Gopinath & Russell, 2005).

Potensiostat dapat diprogram untuk mengatur secara otomatis rentang potensial pada elektroda kerja selama waktu tertentu dengan laju yang tidak berubah. Perubahan potensial secara berangsur-angsur ini disebut *scan* dan laju perubahan potensial itu disebut *scan rate* (laju scan). Dengan memvariasikan potensial yang dipakai, arus secara terus-menerus terukur (Sriyono, 1999). Potensiostat dapat dibuat dengan menggunakan komponen sederhana seperti resistor, kapasitor dan penguat operasional (Op-Amp) (Meloni, 2016).

2.6 Prinsip Kerja Potensiostat

Konfigurasi dasar potensiostat yang ditampilkan dalam Gambar 2.6 di atas juga dikenal sebagai rangkaian sistem pengukuran sensor kimia amperometrik. Dalam rangka untuk mempercepat transformasi elektron, potensial di seluruh elektroda dipertahankan. Ini dikenal sebagai teori kimia amperometrik (Aishah, 2013). Dalam menentukan konsentrasi suatu zat/bahan elektroaktif, V_{in} diterapkan antara WE dan RE seperti berikut ini;

$$V_{CELL} = V_{WE} - V_{RE} = V_{in} \quad (2.2)$$

Potensial RE terdeteksi pada rangkaian dan bergerak melewati OP1 (*Operational Amplifier*), kemudian dibandingkan dengan V_{in} dan bergerak melewati OP2 untuk mengatur CE. Karena OP3 digroundkan, WE bertindak sebagai *ground*. WE yang dihubungkan ke OP3 merupakan tempat berlangsungnya reaksi penting. Elektroda kedua yaitu RE merupakan elektroda yang penting dengan tujuan untuk menjaga potensialredoks pada nilai yang tetap.

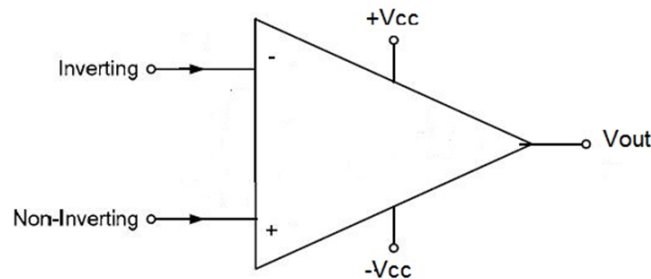
Arus reaksi redoks, I_{WE} , yang sebanding dengan konsentrasi larutan elektrolit dihasilkan di WE ketika V_{CELL} mencapai potensial redoks dari larutan elektrolit. Arus respon redoks, I_{WE} , menggunakan R_2 untuk memberikan potensial keluaran. Persamaan hukum Ohm dibawah digunakan pada situasi ini.

$$V_0 = I_{WE} \times R_2 \quad (2.3)$$

2.7 Operational Amplifier (Op-Amp)

Penguat operasional (Op-Amp) merupakan rangkaian elektronika yang dirancang untuk melakukan operasi pemrosesan sinyal secara spesifik (Dorf & Svoboda, 2014). Op-Amp merupakan inti dari operasional potensiostat, yang digunakan secara luas dalam rangkaian elektronika saat ini. Op-Amp dapat digunakan sebagai penguat, penyangga, pemrata arus, *switch* digital, filter analog dan *scanners*. Sebuah Op-Amp tersusun dari resistor, dioda, dan transistor. Komposisi dari Op-Amp tersebut tersusun didalam sebuah rangkaian yang

terintegrasi atau yang biasa dikenal dengan *integrated circuit* (IC). Simbol dari Op-Amp diilustrasikan dalam Gambar 2.7.



Gambar 2.7. Simbol *operational amplifier*.

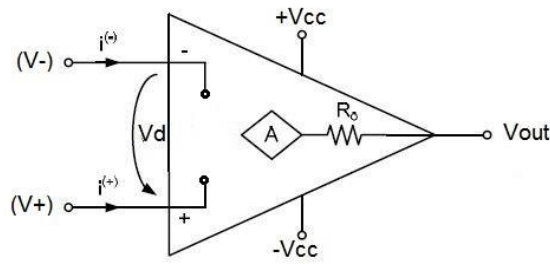
(Aishah, 2013)

Dari Gambar 2.6, menunjukkan bahwa Op-Amp memiliki dua masukan yaitu masukan *non-inverting* dan *inverting*. Tanda negatif (-) merepresentasikan masukan *inverting* sementara tanda positif (+) merepresentasikan masukan *non-inverting*. Secara umum, $\pm V_{cc}$ diperlukan dengan tujuan untuk memberikan tenaga internal rangkaian dari Op-Amp.

Karakteristik ideal Op-Amp yaitu sebagai berikut:

1. Penguat lingkaran terbuka (*open gain loop*) sangat besar, $A_{OL}(\infty)$.
2. Resistansi masukan tak berhingga ($R_{in} = \infty$)
3. Resistansi keluaran sangat kecil ($R_{out} = 0$)
4. Limit potensial untuk potensial keluaran saturasi (V_{osat}) sama seperti potensial yang diberikan,
5. *Common Mode Rejection Ratio* (CMRR) tak berhingga
6. Lebar pita (*Bandwidth*) tak berhingga.

Kondisi ideal tersebut hanya merupakan kondisi teoritis, yang tidak mungkin dapat dicapai dalam kondisi praktis. Tetapi para pembuat Op-Amp berusaha untuk membuat Op-Amp yang memiliki karakteristik mendekati kondisi-kondisi di atas. Karena itu sebuah Op-Amp yang baik harus memiliki karakteristik yang mendekati kondisi ideal. Op-Amp ideal dapat dilihat pada Gambar 2.8 dibawah ini:



Gambar 2.8. Operational amplifier ideal memiliki $R_{in} = \infty$ dan $R_{out} = 0$.
(Aishah, 2013)

Rangkaian dapat dikatakan *short circuit* selama memiliki resistansi masukan yang sangat tinggi. Oleh karena itu, arus yang memasuki Op-Amp bernilai nol, yaitu:

$$I^+ = I^- = 0A \quad (2.4)$$

Mengacu pada karakteristik ideal Op-Amp, resistansi keluaran dapat dianggap sebagai *short circuit*. Oleh karena itu, mengacu pada Gambar 2.7 diperoleh:

$$V_{out} = A_{OL}V_d = A_{ol}(V^+ - V^-) \quad (2.5)$$

$$V^+ - V^- = \frac{V_{out}}{A_{OL}} \quad (2.6)$$

Tapi $A_{OL} = \infty$, oleh karena itu:

$$V^+ - V^- = \frac{V_{out}}{\infty} = 0 \quad (2.7)$$

$$V^+ = V^- \quad (2.8)$$

Persamaan (2.4) dan (2.8) menunjukkan prinsip *virtual earth*. Ketika melihat arus, terminal masukan dianggap *open circuit*, sehingga tidak ada aliran arus ke dalam penguat operasional. Sedangkan untuk potensial, *input* dan *output* terminal seperti *short circuit*, sehingga membuat keduanya memiliki potensial yang sama.

2.8 Sistem Minimum Arduino Uno

Untuk mengaplikasikan potensial dan membaca arus yang terbentuk pada sel elektrokimia dibutuhkan suatu perangkat khusus yang dapat melakukan fungsi-fungsi tersebut dan beberapa fungsi lainnya yaitu mikrokontroler. Dalam

penelitian ini mikrokontroler yang digunakan adalah mikrokontroler ATmega328P yang telah diintegrasikan dengan komponen lainnya dalam satu kesatuan sistem minimum Arduino Uno.

Arduino merupakan sebuah *platform* elektronik terbuka (*open source*), berbasis pada *hardware* dan *software* yang fleksibel dan mudah digunakan. Menurut Massimo Banzi dalam bukunya “Getting Started with Arduino”, arduino didefinisikan sebagai sebuah platform komputasi fisik (*Physical Computing*) yang *open source*, yaitu sistem yang interaktif dengan penggunaan *software* dan *hardware* yang dapat mendeteksi dan merespon situasi dan kondisi yang ada di dunia nyata.

Tabel 2.1. Spesifikasi Arduino Uno

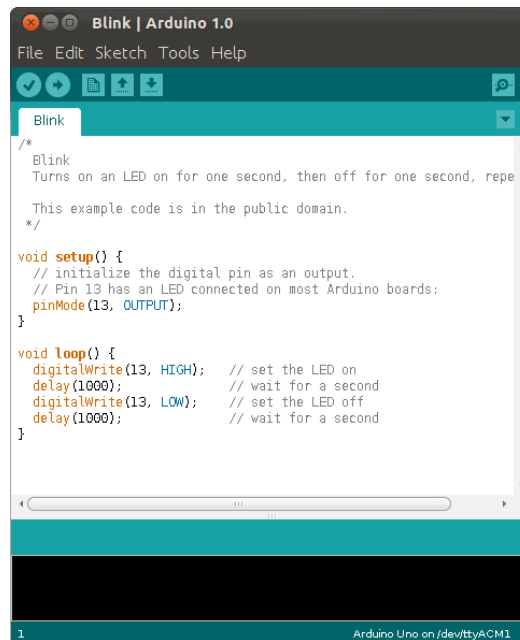
Mikrokontroler	ATMega 328P
Potensial Kerja	5 V
<i>Input</i> Potensial (disarankan)	7-12 V
<i>Input</i> Potensial (batas)	6-20 V
Digital I/O	14 Pin (6 dapat dijadikan <i>output</i> PWM)
Analog <i>Input</i>	6 Pin
Arus DC per I/O	40 mA
Arus DC untuk 3.3 V	50 mA
Flash Memory 32 KB (ATMega328)	0.5 KB digunakan untuk Bootloader
SRAM	2 KB (ATMega328)
EEPROM	1 KB
Clock Speed	16 MHz



Gambar 2.9. Sistem minimum Arduino UNO

(Sumber: www.hobbytronics.co.uk)

Untuk memprogram board Arduino, kita butuh aplikasi IDE (*Integrated Development Environment*) bawaan dari Arduino. Aplikasi ini berguna untuk membuat, membuka, dan mengedit *source code* Arduino. Sketch merupakan *source code* yang berisi logika dan algoritma yang akan diupload ke dalam IC mikrokontroler (Arduino).



Gambar 2.10. Arduino IDE

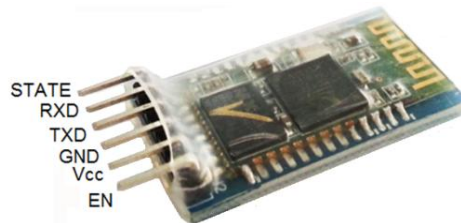
(Sumber: www.en.wikipedia.org)

2.9 Bluetooth HC-05

Bluetooth adalah sebuah teknologi nirkabel yang beroperasi dalam pita frekuensi 2.4 GHz dengan menggunakan sebuah *frequency hopping transceiver* yang mampu menyediakan layanan komunikasi data dan suara secara *real-time* antara *host-host bluetooth* dengan jarak jangkauan layanan terbatas. Sebuah peralatan *bluetooth* dapat berkomunikasi dengan peralatan lain yang berbeda pada jarak 10 Meter, meskipun dapat mencapai 10 meter, kualitas koneksi semakin berkurang (Rumopa, 2015).

Pada penelitian rancang bangun potensiostat ini digunakan modul *Bluetooth* HC-05 sebagai modul komunikasi dalam mengirim dan menerima data perintah. Modul *Bluetooth* HC-05 terdiri dari 6 pin konektor, yang setiap pin

konektor memiliki fungsi berbeda-beda. Tampilan *Bluetooth* HC-05 dapat dilihat pada Gambar 2.11 dibawah ini.



Gambar 2.11. Modul *Bluetooth* HC-05

(Sumber: www.arduino-elektronika.eu)

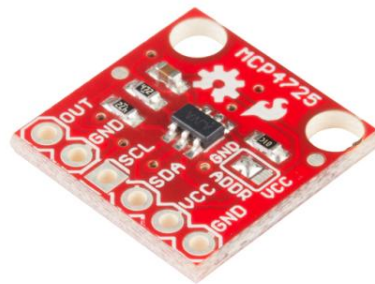
Tabel 2.2. Konfigurasi pin Modul *Bluetooth* HC-05.

Pin	Fungsi
VCC	Sebagai <i>input</i> potensial. Hubungkan ke sumber potensial +5V
GND	Sebagai ground. Hubungkan pin ini dengan ground pada sumber potensial
TXD	Mengirimkan data dari modul ke perangkat lain (mikrokontroler). Dihubungkan dengan pin RX pada mikrokontroler
RXD	Menerima data yang dikirim ke modul HC-05. Dihubungkan dengan pin TXD mikrokontroler
STATE	Memberikan informasi apakah modul terhubung atau tidak dengan perangkat lain
EN	Mengaktifkan mode AT Command Setup pada modul HC-05

Modul *Bluetooth* HC-05 merupakan modul *bluetooth* yang bisa menjadi *slave* ataupun *master*, hal ini dibuktikan dengan kemampuannya yang memberikan notifikasi untuk melakukan *pairing* ke perangkat lain, maupun notifikasi saat perangkat lain tersebut melakukan *pairing* ke modul *Bluetooth* HC-05 (Mastra, 2016).

2.10 Modul DAC MCP4725

Mikrokontroler ATmega328P dalam Arduino Uno tidak memiliki DAC (*digital to analog converter*) internal, maka diperlukan suatu perangkat tambahan untuk mengubah sinyal PWM (*pulse width modulation*) yang dimiliki Arduino Uno ke sinyal Analog sehingga dapat menghasilkan bentuk gelombang segitiga (*triangular wave*) sebagai syarat melakukan pengujian *cyclic voltammetry* (CV). Dengan mengintegrasikan mikrokontroler Arduino Uno dengan modul DAC MCP4725 dapat dihasilkan berbagai bentuk gelombang, salah satunya yaitu gelombang persegi, segitiga, dan sinus. MCP4725 merupakan DAC dengan resolusi 12 bit (0 - 4095) yang dapat mengkonversi potensial digital ke analog dengan mengintegrasikan EEPROM dan antarmuka I₂C. DAC MCP4725 menawarkan memori *non-volatile* terintegrasi (EEPROM) yang memungkinkan DAC mengatur dan mengkonfigurasi nilai-nilai bit nya. MCP4725 memiliki antarmuka I2C kompatibel yang memiliki nilai kecepatan kerja standar (100 kHz), cepat (400 kHz), atau kecepatan tinggi modulus (3,4 MHz). *Microchip* MCP4725 tersebut telah dirangkai sedemikian rupa menjadi satu kesatuan modul keluaran *sparkfun* (Lihat Gambar 2.12).



Gambar 2.12. Modul DAC MCP4725

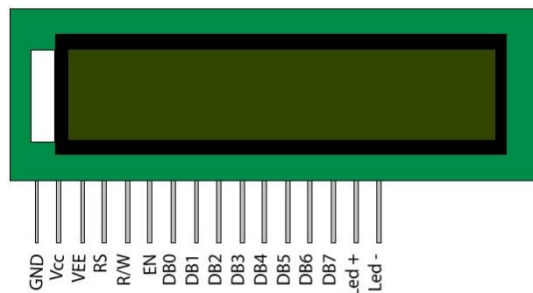
(Sumber: www.learn.sparkfun.com)

2.11 Liquid Crystal Display (LCD)

Display elektronik adalah salah satu komponen elektronika yang berfungsi sebagai tampilan suatu data, baik karakter, huruf maupun grafik. LCD (Liquid Crystal Display) adalah suatu jenis display elektronik. LCD merupakan media tampil yang menggunakan kristal cair sebagai penampil utama. LCD sudah

digunakan diberbagai bidang misalnya alal-alat elektronik seperti televisi, kalkulator dan layar komputer. Salah satu jenis LCD (Liquid Crystal Display) yang sering digunakan ialah LCD dot matrik dengan jumlah karakter 16x2. Gambar LCD seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.13. Karakteristik yang dimiliki LCD ini adalah sebagai berikut:

1. Terdiri dari 16 karakter dan 2 baris.
2. Mempunyai 192 karakter tersimpan.
3. Terdapat karakter generator terprogram.
4. Dapat dialamati dengan mode 4-bit dan 8-bit.
5. Dilengkapi dengan back light



Gambar 2.13. LCD 16x2

(Sumber: www.engineergarage.com)

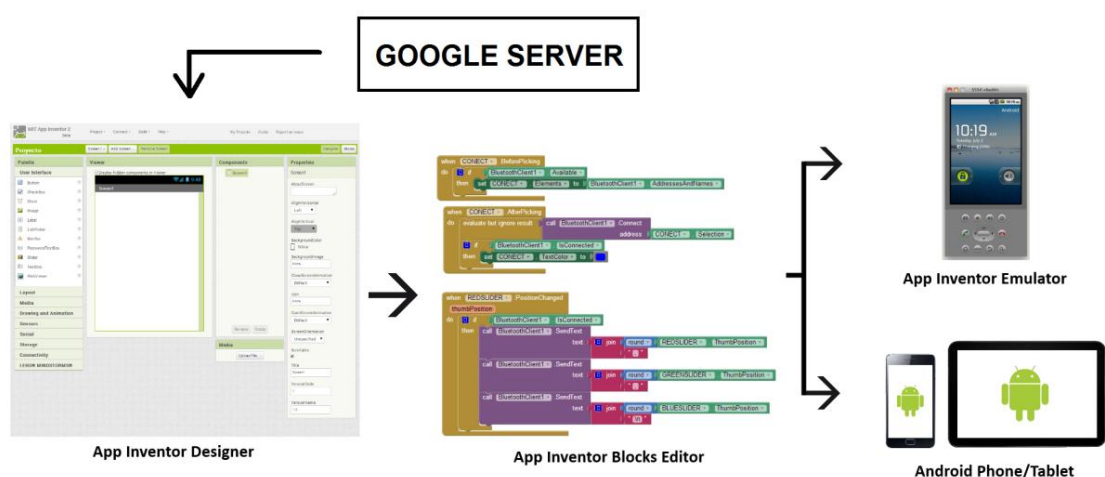
Tabel 2. 3 Deskripsi pinout LCD

Nama Pin	Diskripsi
VCC	+5V
GND	0V
VEE	Adjust Contrast
RS	Register Select, 0 = register perintah, 1 = register data
R/W	1 = Read, 0 = Write
EN	Enable clock LCD
D0-D7	Data Bus 0 Sampai 7
+/-	Potensial positif/negatif backlight

2.12 MIT App Inventor

MIT App Inventor adalah aplikasi inovatif yang dikembangkan Google dan Massachusetts Institute of Technology (MIT) untuk mengenalkan dan mengembangkan pemrograman dengan mentransformasikan bahasa pemrograman yang kompleks berbasis teks menjadi berbasis visual (*drag and drop*) berbentuk blok-blok (S, 2016). App Inventor memungkinkan para pengguna baru agar dapat memprogram komputer dan dapat menciptakan aplikasi untuk perangkat lunak terutama bagi sistem yang berbasis operasi Android. Melalui tool berbasis *visual block programming*, pengguna dapat membuat aplikasi tanpa kode sedikitpun. Dikatakan *visual block programming* karena pengguna akan melihat, menggunakan, menyusun dan *drag-drops* “blok” yang merupakan simbol simbol perintah dan fungsi *event handler* tertentu dalam membuat aplikasi, dan secara sederhana pengguna bisa menyebutnya tanpa menuliskan kode program (Mubarok, 2015).

Android App Inventor dijalankan pada browser yang terkoneksi dengan jaringan internet di <http://beta.appinventor.mit.edu/>. Dalam membangun suatu aplikasi android bagian yang diperlukan diantaranya *App Inventor Designer*, *App Inventor Block Editor*, dan *Android Emulator* atau *Android Phone*. Lihat Gambar 2.13 dibawah ini.



Gambar 2. 14. Simulasi perancangan aplikasi android

App Inventor Designer digunakan untuk melakukan desain atau mengatur tata letak komponen dari tampilan aplikasi yang ingin dibuat, *App Inventor Block Editor* digunakan untuk melakukan pemrograman terhadap komponen-komponen sesuai fungsi masing-masing yang diinginkan sedangkan *Android Emulator* atau *Android Phone* digunakan untuk melakukan simulasi terhadap aplikasi yang telah dibuat bisa menggunakan emulator atau bisa langsung menggunakan *Android Phone*. Hasil dari perancangan aplikasi kemudian dapat *download* setelah di *compile* menjadi file aplikasi *Android Package* yang berekstensi *.apk*.

2.13 Penelitian Terkait

Perancangan potensiostat bukan merupakan hal baru dalam dunia penelitian dan pengembangan. Beberapa potensiostat telah diteliti dan dikembangkan oleh peneliti sebelumnya dengan menggunakan rangkaian dan komponen yang berbeda. (Gopinath & Russell, 2005) dalam penelitiannya berhasil mengembangkan suatu potensiostat dengan harga yang memakai komponen-komponen sederhana sehingga mengefisienkan biaya yang dikeluarkan. Mereka menggunakan mikrokontroler PIC18F452 yang memiliki 10 bit ADC (*analog to digital converter*). Potensiostat tersebut dirancang dengan dimensi ukuran 13x3 cm membuat potensiostat tersebut *portable*. (Muid dkk, 2014) dalam penelitiannya mengembangkan suatu potensiostat yang menggunakan mikrokontroler ATXMEGA32 sebagai pengontrol potensial dan pembaca arus yang terbentuk pada sel elektrokimia. Mikrokontroler ini memiliki ADC 12 bit dengan kecepatan pengukuran data mencapai 2 MS/s (2 Mega Sample per Sekon). Mikrokontroler ini juga dilengkapi DAC (*digital to analog converter*) internal dengan kecepatan penyedia gelombang mencapai 1 MS/s. (Fu dkk, 2015) dalam penelitiannya berhasil mengembangkan potensiostat *portable* yang terintegrasi dengan perangkat *mobile*. Pada potensiostat ini, untuk antarmuka antara potensiostat dengan perangkat *mobile*, menggunakan modul *bluetooth*. Perangkat *mobile* memiliki fungsi sebagai pengontrol potensial, penyimpanan data, mengkomunikasikan data, dan plot grafik didalam proses diagnosa suatu sel elktrokimia. Potensiostat ini menggunakan mikrokontroler TIMP430BT190 dan

menggunakan baterai sebagai sumber daya penggerak potensiostat. (Meloni, 2016) dalam penelitiannya berhasil mengembangkan suatu potensiostat *portable* dengan komponen-komponen sederhana menggunakan mikrokontroler ATmega328 yang menjadi satu kesatuan dalam satu sistem minimum Arduino Uno. Pengembangan potensiostat ini menggunakan beberapa resistor yang memungkinkan rentang arus dapat diubah. Mikrokontroler ATmega328 dalam Arduino Uno tidak memiliki DAC internal sehingga memanfaatkan rangkaian RC Filter.

Pada perancangan potensiostat ini Penulis tertarik menggunakan mikrokontroler ATmega328P dalam Arduino Uno sebagai inti pengatur operasional potensiostat, mengirimkan dan menerima instruksi dan data dari dan ke aplikasi Android. Aplikasi Android selain digunakan sebagai media penampil data berupa arus dan potensial listrik yang diukur Arduino dari sel elektrokimia juga digunakan sebagai pemberi instruksi berupa perintah ke mikrokontroler untuk operasional potensiostat. Pertukaran data antara potensiostat dan ponsel dihubungkan dengan modul *Bluetooth* HC-05.

Kekurangan Arduino yaitu ketidakberadaan pengubah sinyal digital ke analog (*digital to analog converter*) dapat disiasati dengan penambahan modul DAC MCP4725 sehingga keluaran DAC berupa sinyal analog (potensial) dapat digunakan pada proses elektrokimia menggunakan metode *cyclic voltammetry*.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan mulai dari bulan April 2017 sampai dengan selesai. Rancang bangun potensiostat dilaksanakan di Laboratorium Elektronika dan Energi Jurusan Fisika, sementara pengujian potensiostat dilaksanakan di Laboratorium Material dan Elektronika Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Jakarta.

B. Alat dan Bahan Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini dibagi menjadi 3 bagian yaitu alat untuk rancang bangun potensiostat, alat untuk pengujian potensiostat, dan alat untuk rancang bangun *power supply*. Alat untuk rancang bangun potensiostat antara lain:

- | | |
|-----------------------------------|---------------------------------------|
| 1. <i>Breadboard/protoboard</i> , | 7. Bor Listrik, |
| 2. Multimeter Digital, | 8. Ponsel dengan sistem operasi |
| 3. Jamper/kabel, | Android, |
| 4. Solder dan Timah, | 9. <i>MIT App Adventor Software</i> , |
| 5. Laptop/Komputer, | 10. Osiloskop. |
| 6. Tang Potong, | |

Alat yang digunakan untuk pengujian potensiostat antara lain:

- | | |
|--|---------------------------------|
| 1. Gelas kimia (<i>Beker Glass</i>), | 8. Botol Larutan, |
| 2. Gelas ukur, | 9. <i>Magnetic stirrer</i> , |
| 3. Kertas Timbang, | 10. Neraca digital, |
| 4. Tisu, | 11. <i>Ultrasonic cleaner</i> , |
| 5. Pinset, | 12. <i>Jamper/ kabel</i> , |
| 6. Pipet tetes, | 13. <i>Stopwatch</i> , |
| 7. Spatula, | 14. Laptop/Komputer. |

Alat yang digunakan untuk rancang bangun *power supply* antara lain:

1. Multimeter Digital,
2. *Breadboard/protoboard*,
3. Jumper/kabel,
4. Solder dan Timah,
5. Tang potong,
6. Bor listrik.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini dibagi menjadi 3 bagian yaitu bahan untuk rancang bangun potensiostat, bahan untuk pengujian potensiostat, dan bahan untuk rancang bangun *power supply*. Bahan untuk rancang bangun potensiostat antara lain:

1. LM324 (*quad Op-Amp*),
2. Sistem Minimum Arduino Uno,
3. Resistor, Kapasitor, dan dioda zener,
4. Kabel/Jumper,
5. Modul *Bluetooth* HC-05,
6. Modul DAC MCP4725,
7. Potensiometer,
8. *Protoboard/Breadboard*,
9. Kabel USB,
10. *3 way screw terminal* dan *2 way screw terminal*,
11. PCB.

Bahan untuk pengujian potensiostat antara lain:

1. Pottasium Fericyanide 10 mM, 20 mM dan 30 mM,
2. Potassium nitrate 0.1 M
3. Sodium hidroxide 0.1 M CuSO_4 ,
4. Alkohol 96% ,
6. Aquades atau *deionized water*,
7. Perak klorida (AgCl) sebagai *reference electrode*,
8. Platina (Pt) sebagai *working electrode* dan *counter electrode*.

Bahan untuk pembuatan *power supply* antara lain:

1. Transormator CT Rated 3 A
2. Dioda 1N5401 3 A,
3. Kapasitor Elektrolit 4700 μF , 1000 μF , dan 10 μF ,
4. Kapasitor Mika 100 nF,
5. LM371 & LM7812 (*possitive voltage regulator*),
6. LM337 & LM7912 (*negative voltage regulator*),
7. Potensiometer,
8. Jumper/Kabel,
9. Resistor 220 Ω ,
10. PCB.

C. Metode

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah eksperimen dan pengembangan. Eksperimen dilakukan untuk mendapatkan suatu potensiostat yang *portable*, dengan tingkat akurasi yang baik. Sedangkan pengembangan dilakukan untuk melengkapi kemampuan potensiostat hasil penelitian sebelumnya melalui penambahan komponen-komponen baru, peningkatan kemampuan komponen, serta membuat potensiostat yang *portable*.

D. Pengujian

Dalam rangka untuk menguji rancang bangun potensiostat Penulis menggunakan teknik *scancyclic voltammetry* (CV). Larutan elektrolit yang digunakan yaitu campuran 0.1 M pottasium nitrate dan 0.1 M sodium hidroxide kedalam larutan pottasium fericianide dengan konsentrasi masing-masing 10 mM, 20 mM dan 30 mM. Larutan elektrolit dibuat sebanyak 10 ml ditempatkan disebuah botol kaca sebagai sel elektrokimia. Sampel tersebut diuji dengan *scan rate* masing-masing 10, 20, 50, 100, 200 dan 300 mV/s.

E. Prosedur Penelitian

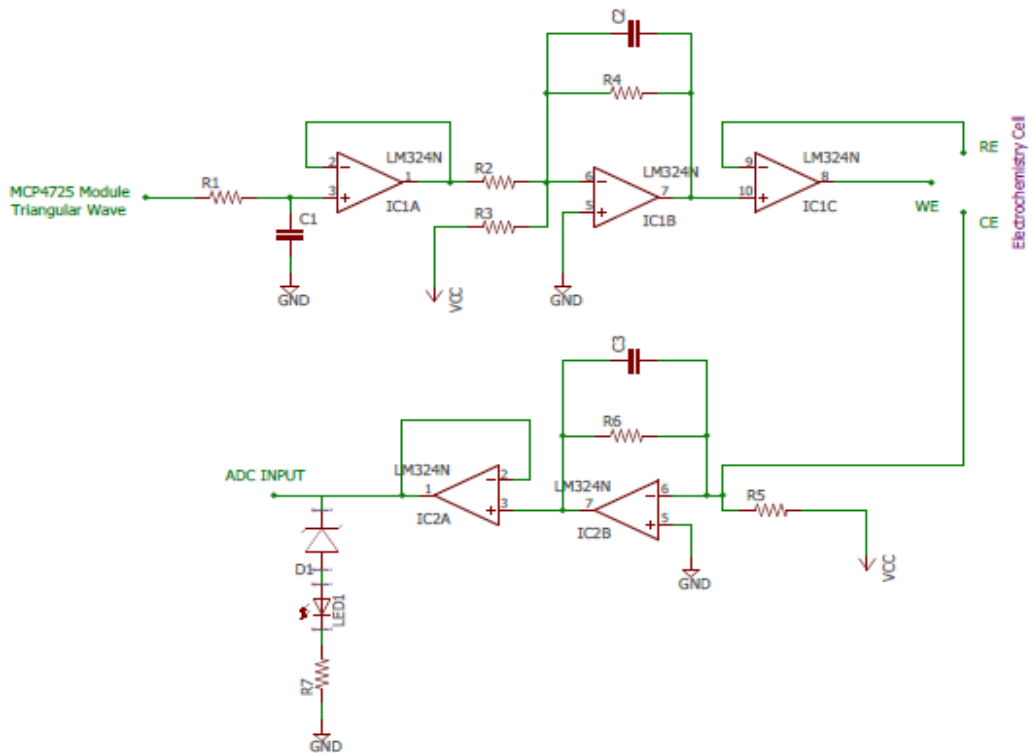
Prosedur yang dilakukan dalam penelitian ini dibagi menjadi 3 bagian yaitu prosedur rancang bangun potensiostat, prosedur rancang bangun *power supply*, dan prosedur pengujian rancang bangun potensiostat. Berikut ini akan dijabarkan prosedur rancang bangun potensiostat.

1. Mempersiapkan ruang dan meja yang akan digunakan dan memastikan dalam kondisi baik dan terhindar dari air dan zat-zat lain yang dapat mengganggu jalannya penelitian.
2. Mempersiapkan alat dan bahan yang akan digunakan.
3. Menguji alat dan bahan yang akan digunakan untuk mengetahui kondisi alat dan bahan apakah dalam kondisi baik atau tidak. Pengujian baik dilakukan dalam bentuk fisik maupun pengujian saat alat bekerja.

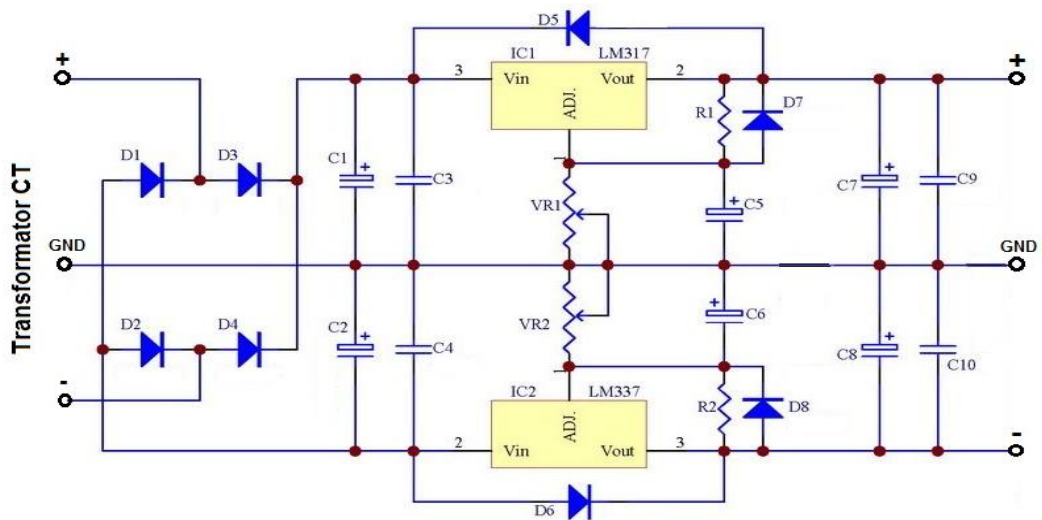
4. Kalibrasi Modul DAC MCP4725 yang telah dihubungkan ke Arduino Uno terprogram menggunakan osiloskop.
5. Merancang potensiostat (*hardware*) sesuai dengan Gambar 3.1.
6. Memproses pengkodean Arduino Uno menggunakan Arduino IDE. Proses koding menyesuaikan terhadap teknik *scan* yang digunakan yaitu teknik *scan cyclic voltammetry* (CV).
7. Melakukan pengecekan koding secara seksama sehingga tidak terjadi error ketika potensiostat berjalan.
8. Mengupload koding tersebut ke Arduino Uno.
9. Pengujian kembali keseluruhan sistem potensiostat dan memastikan sistem berjalan dengan baik.
10. Membuat aplikasi android (*software*) sebagai tampilan data potensiostat menggunakan MIT App Inventor.
11. Menguji aplikasi android apakah aplikasi berjalan dengan baik dan dapat terhubung dengan potensiostat yang telah dibuat.

Prosedur rancang bangun *power supply* antara lain:

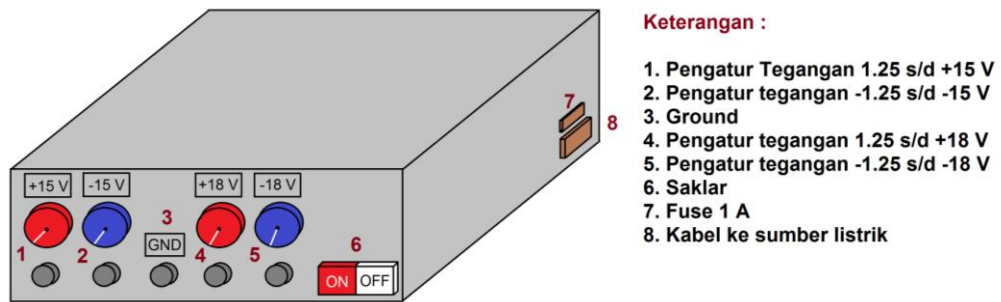
1. Mempersiapkan alat dan bahan yang dibutuhkan.
2. Merakit bahan-bahan yang digunakan ke *protoboard* sesuai dengan skema rangkaian pada Gambar 3.2.
3. Menguji potensial keluaran *power supply* yang telah dirancang menggunakan multimeter digital apakah telah sesuai dengan yang diinginkan.
4. Merakit bahan-bahan yang telah diuji ke PCB menggunakan solder dan timah.
5. Menempatkan PCB yang telah dirakit tersebut kedalam kotak/*box* sebagai badan *power supply*.
6. Memasang tombol-tombol dan melabelkan tombol-tombol tersebut pada badan *power supply*.



Gambar 3. 1. Skema rangkaian potensiostat.



Gambar 3.2. Skema rangkaian power supply.



Gambar 3.3. Rancang bangun *power supply*.

Prosedur pengujian rancang bangun potensiostat dibagi menjadi tiga prosedur yaitu preparasi alat dan bahan, pembuatan larutan elektrolit, dan proses elektrolisis pada sel elektrokimia. Prosedur preparasi alat dan bahan yaitu dimulai dengan menyiapkan alat dan bahan yang akan digunakan untuk pengujian rancang bangun potensiostat. Alat dan bahan seperti perak klorida (AgCl), platina (Pt), gelas kimia (*Beker Glass*), gelas ukur, pinset, pipet tetes, spatula dan botol larutan (sel elektrokimia) di sterilkan menggunakan *ultrasonic cleaner* dengan larutan aquades. Selanjutnya alat-alat tersebut dikeringkan menggunakan *electric stove*. Khusus untuk perak (Ag) dan platina (Pt) setelah pengeringan menggunakan *electric stove* dibersihkan kembali menggunakan alkohol 96%, dan selanjutnya diletakkan kedalam wadah tertutup untuk menghindari terjadinya impuritas/penempelan partikel-partikel yang tidak diinginkan.

Prosedur pembuatan larutan elektrolit dilakukan dengan mencampurkan bahan-bahan komposisi larutan elektrolit yang telah ditimbang menggunakan neraca analitik dan aquades kedalam gelas kimia. Larutan yang dibuat sebanyak 10 ml. Berat masing-masing bahan komposisi larutan elektrolit dapat dilihat pada tabel sebagai berikut:

Tabel 3. 1. Bahan-bahan Komposisi Larutan Elektrolit.

No	Nama Bahan	Massa (mg)
1	Potassium Ferricyanide 10 mM	33
2	Potassium Ferricyanide 20 mM	66
3	Potassium Ferricyanide 30 mM	99
4	Potassium Nitrate 0.1 M	101

5	Sodium Hidroxide 0.1 M	40
---	------------------------	----

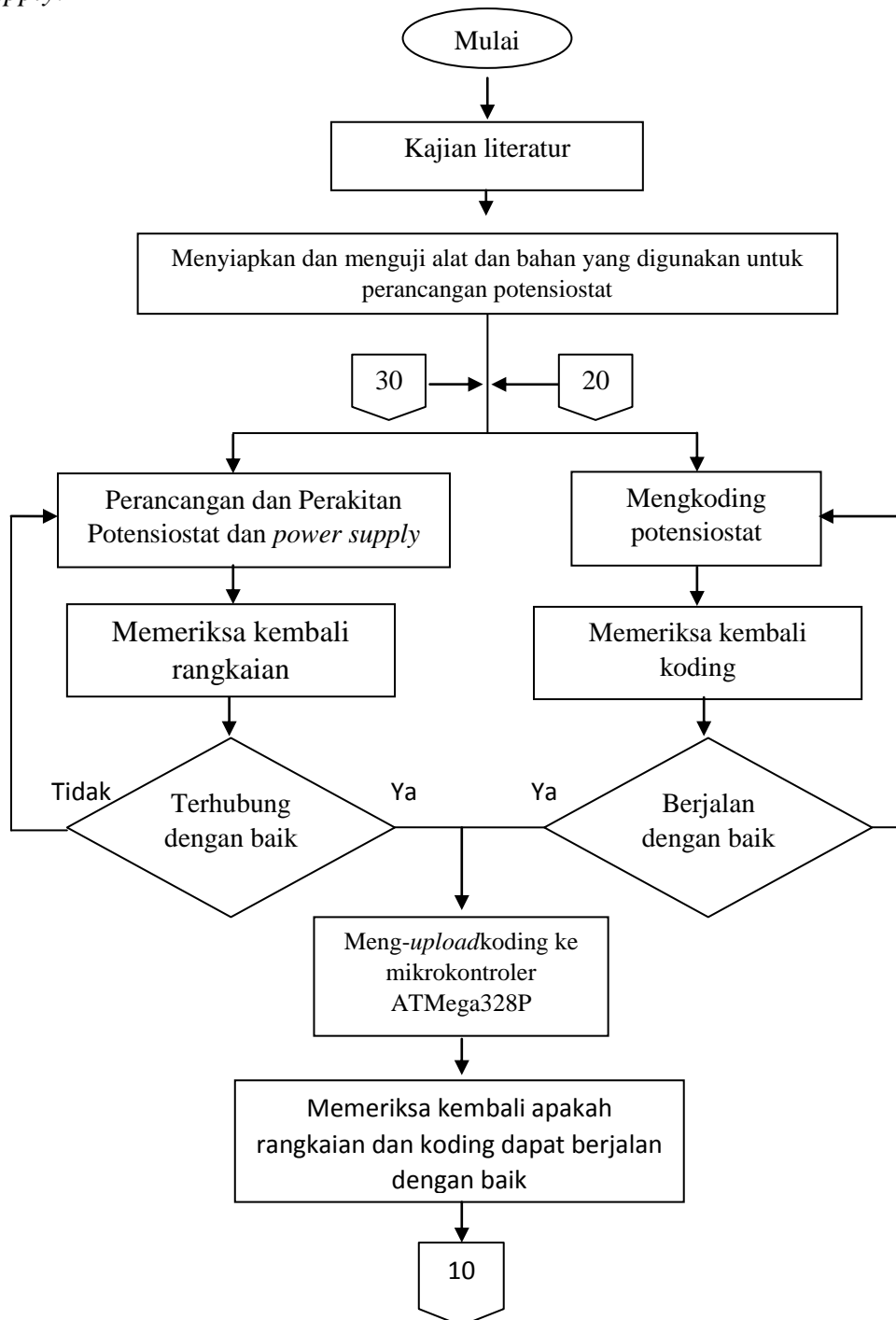
Untuk mengetahui berat bahan-bahan komposisi larutan elektrolit yang dibutuhkan yaitu menggunakan perhitungan rumus mol dengan solusi molaritas (M) 10 mM, 20 mM, dan 30 mM untuk potassium fericianide, 0.1 M untuk potassium nitrate, 0.1 M untuk sodium hidroxide. Setelah dilakukan pencampuran, campuran tersebut kemudian diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama +/- 5 menit.

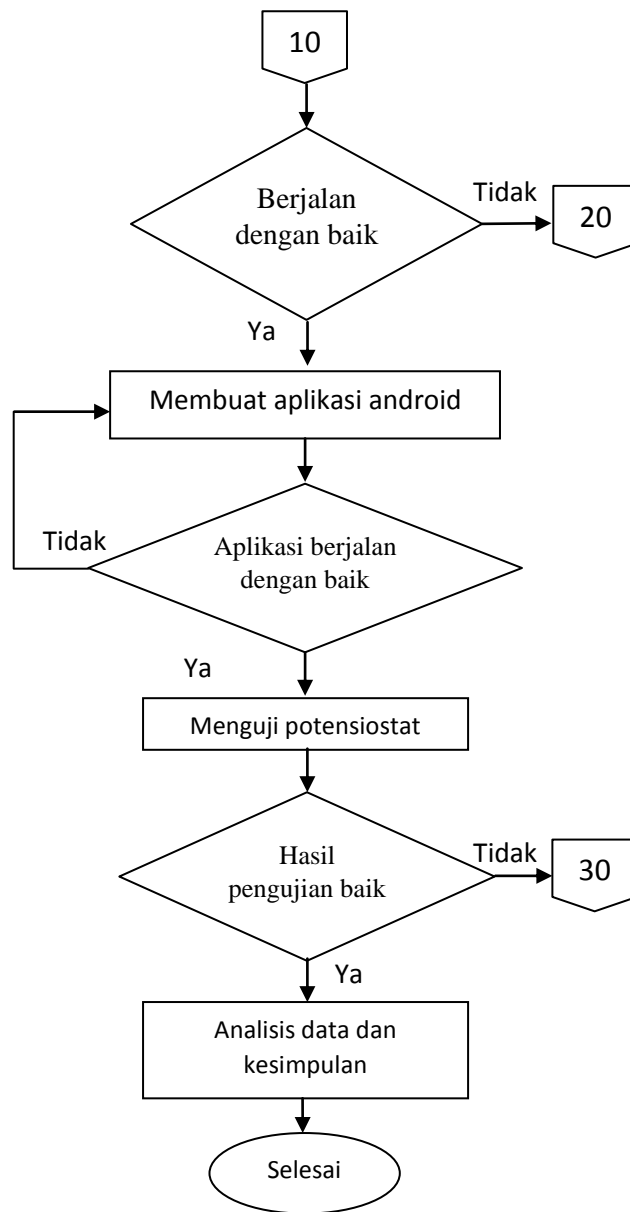
Tahapan akhir dari proses pengujian potensiostat adalah proses elektrolisis pada sel elektrokimia. Proses proses elektrolisis pada sel elektrokimia mengikuti langkah-langkah sebagai berikut:

1. Menyiapkan sel elektrokimia yang telah berisikan larutan elektrolit.
2. Menghubungkan ketiga elektroda dengan jumper/jepit buaya.
3. Masukkan ketiga elektroda yang telah terhubung dengan jumper/jepit buaya kedalam sel elektrokimia. Mencilupkan ketiga elektroda tersebut kedalam larutan elektrolit sedalam 1 cm. Memastikan ketiga elektroda tersebut tidak bersentuhan satu sama lain.
4. Menyalakan potensiostat. Membuka aplikasi android yang telah dirancang untuk mengatur *scan rates* pada potensiostat sebesar 10 mV/s, cycle sebanyak 1 kali, dan potensial mula-mula 1.2 V, dan potensial maksimum dan minimum masing-masing sebesar 1.2 V sampai dengan -1.2 V.
5. Menghubungkan jumper/jepit buaya yang telah terhubung dengan ketiga elektroda ke potensiostat.
6. Mengamati voltammogram yang telah terbentuk yaitu voltammogram siklik.
7. Menyimpan hasil berupa tabel dan voltammogram yang telah terbaca.
8. Melakukan kembali proses 1 sampai dengan 7 dengan menggunakan *scan rates* yang berbeda yaitu masing-masing 20, 50, 100, 200, dan 300 mV/s.

F. Diagram Alir Penelitian

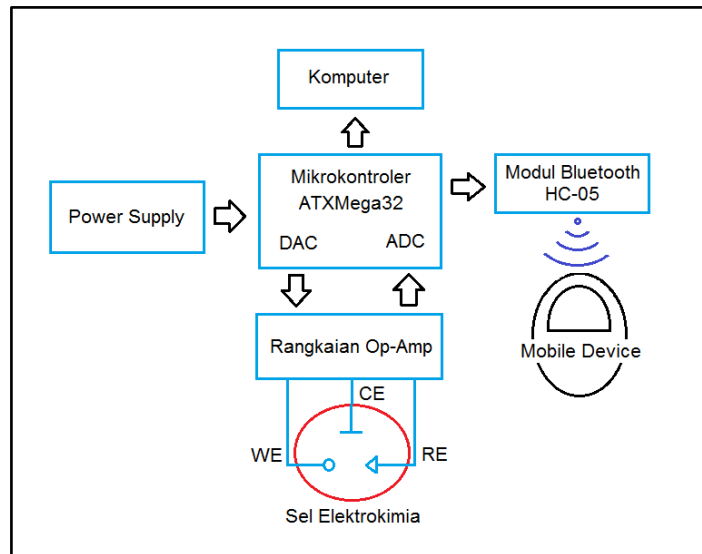
Pada diagram alir penelitian ini akan dijabarkan proses-proses penelitian dan pengembangan potensiostat mulai dari kajian literatur sampai dengan pengujian potensiostat serta dijabarkan pula diagram alir perancangan *power supply*.



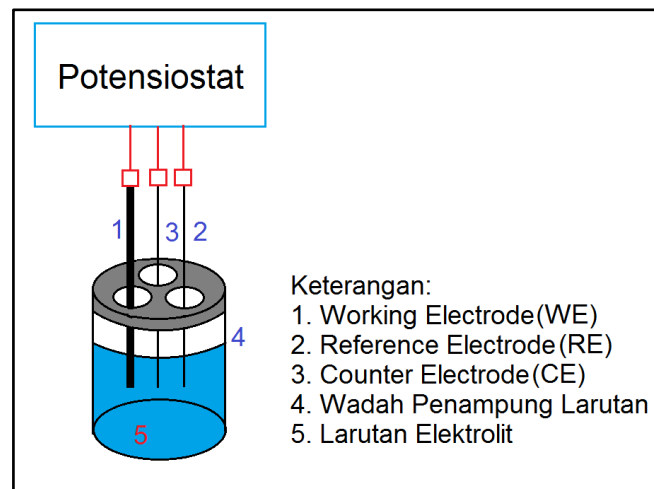


Gambar 3.4. Diagram alir penelitian

G. Blok Diagram Sistem



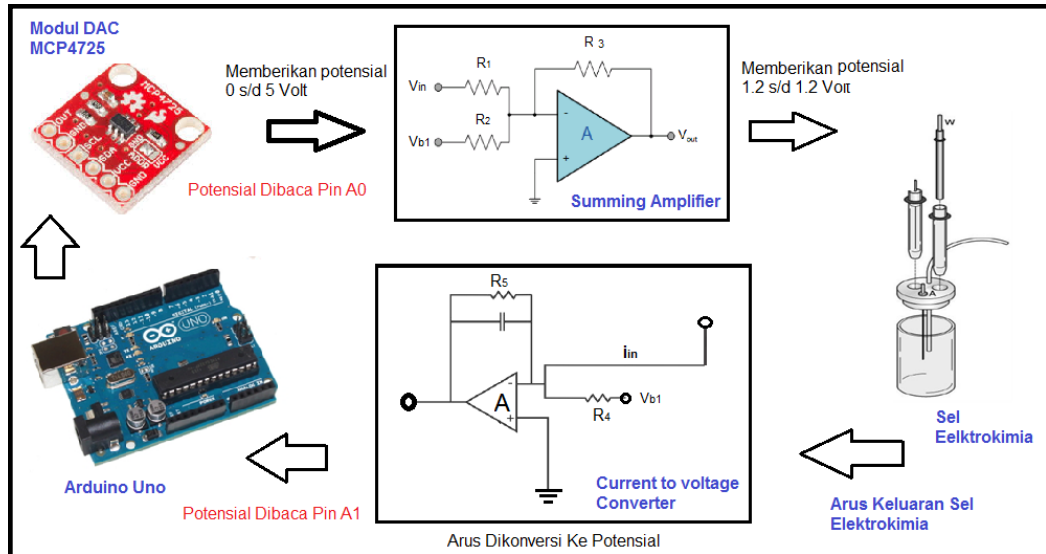
Gambar 3.5. Rancang Bangun Potensiostat.



Gambar 3.6. Desain Sistem Sel Elektrokimia.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk memberikan gambaran tentang penelitian ini akan ditampilkan skema inti rangkaian potensiostat.



Gambar 4.1. Skema rancang bangun sistem potensiostat menggunakan Arduino Uno Potensiostat

Berdasarkan gambaran umum skema rancang bangun sistem potensiostat menggunakan Arduino Uno diatas akan dijabarkan transformasi dan pengukuran sinyal. Pada rancang bangun sistem potensiostat ini digunakan modul DAC MCP4725 sebagai penyedia potensial yang akan digunakan oleh rangkaian potensiostat. Untuk mengetahui besar potensial *output* modul DAC MCP4725 maka digunakan pin analog A0 sebagai alat ukur. Potensial *output* Modul DAC MCP4725 selanjutnya dikonversikan menjadi nilai potensial positif dan negatif oleh rangkaian *summing amplifier*. Setelah proses konversi selesai didapatkan potensial *output* rangkaian *summing amplifier* dimana potensial tersebut yang nantinya dapat digunakan untuk pengujian elektrokimia. Tempat berlangsungnya proses pengujian elektrokimia tersebut dinamakan sel elektrokimia. Untuk mengetahui seberapa besar potensial *output* rangkaian *summing amplifier* maka dilakukanlah pengukuran menggunakan alat ukur. Karena pin analog Arduino

hanya dapat membaca potensial positif maka digunakan multimeter Metra Hit 25S sebagai alat pengukuran. Hasil pengukuran potensial oleh multimeter tersebut selanjutnya dibuatkan suatu grafik hubungan terhadap pengukuran potensial *output* modul DAC MCP4725 oleh pin analog A0 Arduino. Didapatkan suatu fungsi korelasi melalui grafik tersebut yang selanjutnya akan dimasukkan kedalam program Arduino sehingga ketika potensiostat bekerja potensial *output* rangkaian *summing amplifier* dapat diketahui.

Arus yang muncul pada sel elektrokimia akibat diterapkannya potensial pada suatu arutan yang memiliki resistansi tertentu dikonversikan menjadi nilai potensial melalui rangkaian *current to voltage converter* (CVC) sehingga Arduino dapat membacanya. Digunakan pin analog A1 Arduino sebagai alat ukur untuk mengukur potensial tersebut. Hasil pengukuran potensial *output* rangkaian *current to voltage converter* oleh pin analog A1 Arduino selanjutnya akan diubah ke nilai arus melalui perumusan yang akan dijabarkan pada bagian **4.7**.

4.1. Power Supply

Rangkaian potensiostat menggunakan penguat operasional (OP-Amp) LM324N keluaran Texas Instrument yang memerlukan nilai potensial untuk operasionalnya. Suplai potensial ke LM324N dapat diberikan baik dari satu sumber potensial positif (*single supply*) maupun dari dua sumber potensial positif dan negatif (*double supply*). Suplai potensial maksimum yang dapat diberikan ke LM324N hingga ± 16 Volt (Texas Instruments, 2015). Pada rancang bangun potensiostat ini, untuk mendukung kinerja rangkaian potensiostat, dibuat suatu *power supply* yang akan memberikan potensial positif maupun negatif ke rangkaian potensiostat (lihat Gambar 4.2).



Gambar 4.2. Tampilan Power Supply DC

Power supply ini memiliki 4 *output* yang dapat digunakan sebagai pemberi potensial dimana *output* 1 & 3 digunakan untuk suplai arus negatif sedangkan *output* 2 & 4 digunakan untuk suplai arus positif. Selain itu, satu *output* digunakan sebagai *Ground*. Setiap *output* dapat diatur ke nilai maksimum dan minimum. Berdasarkan pengujian menggunakan Multimeter Metra Hit 25S *power supply* ini mampu memberikan potensial hingga ± 24 Volt (lihat Tabel 4.1).

Tabel 4.1. Suplai potensial yang dapat diberikan *power supply* DC

<i>Output</i>	Minimum (Volt)	Maksimum (Volt)
1	-1.42	-19.6
2	+1.26	19.66
3	-1.31	-24.21
4	1.39	24.27
Ground	-	-

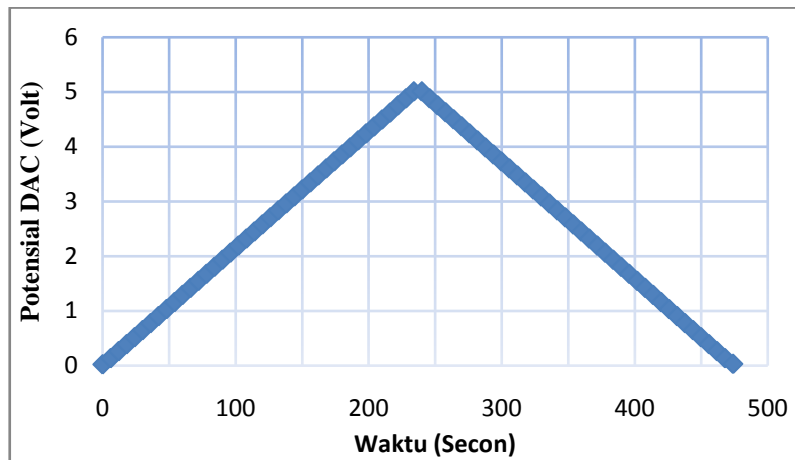
Rancang bangun sistem potensiostat menggunakan Arduino Uno ini hanya membutuhkan potensial *input* sebesar ± 12 Volt. Untuk mendapatkan potensial ± 12 Volt yang stabil dan memastikan OP Amp tidak menerima potensial yang berlebih maka digunakanlah suatu regulator potensial positif LM7812 dan regulator potensial negatif LM7912. *Input* regulator haruslah lebih besar ± 3 Volt dari *output*nya sehingga *power supply* harus memberikan potensial ke rangkaian minimum sebesar ± 15 Volt.

4.2. Potensial Output Modul DAC MCP4725

Dikarenakan Arduino Uno tidak memiliki pin DAC (*digital to analog converter*) internal maka dibutuhkan suatu perangkat tambahan yang dapat mengubah sinyal PWM (*pulse width modulation*) yang dimiliki Arduino ke sinyal Analog sehingga dapat digunakan untuk menghasilkan potensial yang diperlukan dalam pengujian *cyclic voltammetry*. Perangkat tambahan tersebut yaitu modul DAC MCP4725. Modul DAC MCP4725 memiliki resolusi 12 bit yang menyediakan 4095 nilai potensial diskrit. Rentang potensial yang dapat diberikan Modul DAC MCP4725 adalah 0 - 5 Volt dengan resolusi setiap nilai potensial diskrit nya adalah 0.00122 Volt sesuai dengan persamaan berikut ini.

$$\frac{5 \text{ Volt}}{4095} = 0.00122 \text{ Volt (potensial step)} \quad (4.1)$$

Untuk memastikan seberapa besar rentang potensial yang dapat diberikan Modul DAC MCP4725 ini maka dilakukan pengukuran menggunakan multimeter. Pengukuran dilakukan sebanyak 3 kali dimana modul DAC MCP4725 yang telah terkoneksi dengan Arduino memberikan nilai potensial secara sapuan maju dan sapuan balik (*forward* dan *reverse scan*) yang selanjutnya nilai potensial tersebut diukur menggunakan multimeter. Sapuan tersebut memberikan nilai potensial dari nilai mula-mula kemudian bertambah sampai nilai maksimum kemudian diturunkan kembali ke nilai mula-mula. Nilai potensial yang didapatkan dari masing-masing pengukuran kemudian dirata-ratakan dan diplot kedalam grafik hubungan antara potensial *output* modul DAC MCP4725 terhadap waktu sapuan (*scan*) (Gambar 4.3)



Gambar 4.3. Grafik hubungan potensial *output* Modul DAC MCP4725 saat sapuan maju dan sapuan balik terhadap waktu sapuan (*scan*).

4.3. Kalibrasi Pin Analog A0 Arduino

Sebelum membuat suatu potensiostat terlebih dahulu dilakukan proses kalibrasi. Proses kalibrasi yang akan dilakukan yaitu membandingkan nilai pengukuran potensial modul DAC MCP4725 oleh alat ukur yang digunakan terhadap alat yang menjadi standar alat pengukuran. Alat ukur yang digunakan yaitu pin analog A0 Arduino, sedangkan alat pengukuran standar yang digunakan yaitu Multimeter Metra Hit 25S. Proses kalibrasi dilakukan untuk mengetahui seberapa besar perbedaan hasil pengukuran yang didapatkan oleh pin analog A0 Arduino terhadap multimeter sehingga dapat diketahui tingkat kesalahan relatif dan nilai RMSE (*root mean square*) pengukuran tersebut. Digunakan metode perhitungan RMSE untuk mengetahui seberapa besar perbedaan nilai pengukuran antara pin analog A0 dengan multimeter.

Proses kalibrasi dimulai dengan pemberian potensial secara sapuan maju dan balik (*forward* dan *reverse scan*) oleh modul DAC MCP4725 yang terhubung ke Arduino sebanyak 3 kali pengulangan. Nilai potensial *output* modul DAC MCP4725 tersebut selanjutnya diukur menggunakan pin analog A0 dan multimeter. Dari 3 kali pengulangan tersebut didapatkan nilai rata-rata pengukuran oleh pin Analog A0 dan multimeter yang kemudian nilai tersebut dibandingkan untuk mendapatkan nilai kesalahan relatif dan nilai RMSE.

Didapatkan kesalahan relatif rata-rata pengukuran potensial modul DAC MCP4725 oleh pin Analog A0 terhadap multimeter saat sapuan maju dan sapuan balik masing-masing sebesar 1.4884% dan 1.525%. Didapatkan juga rata-rata nilai RMSE untuk pengukuran pin analog A0 rata terhadap pengukuran multimeter rata-rata saat sapuan maju dan balik masing-masing sebesar 0.0193 dan 0.0194.

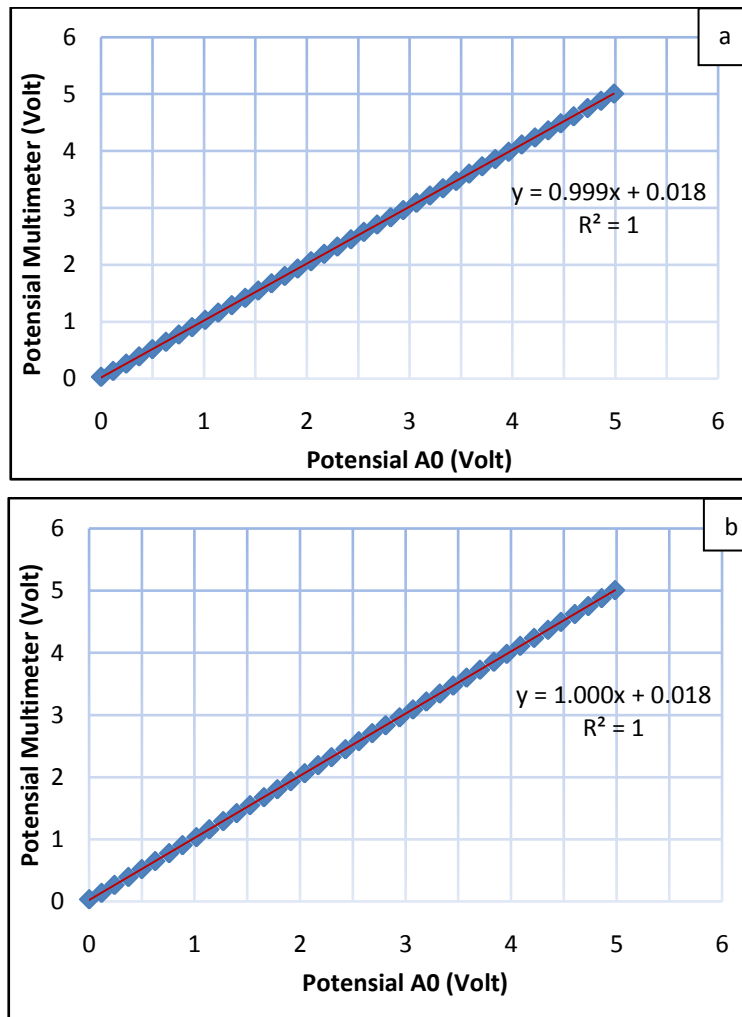
Untuk mendekatkan nilai pengukuran pin Analog A0 terhadap multimeter maka dibuatlah suatu grafik hubungan pengukuran potensial modul DAC MCP4723 pin Analog A0 terhadap multimeter (lihat Gambar 4.4). Dari grafik pada Gambar 4.4 tersebut diperoleh fungsi korelasi sebagai berikut:

$$y = 0.999x + 0.018 \quad (4.2)$$

dan

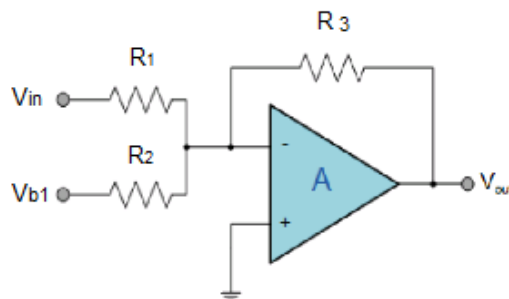
$$y = 1.000x + 0.018 \quad (4.3)$$

dimana y adalah nilai pengukuran potensial modul DAC MCP4725 oleh multimeter dan x adalah nilai pengukuran potensial modul DAC MCP472 oleh pin analog A0 Arduino. Fungsi korelasi (4.2) dan (4.3) tersebut selanjutnya dimasukkan kedalam koding program Arduino dan dilakukan pengujian kembali sehingga kesalahan relatif dan nilai RMSE kalibrasi dan pengujian dapat dibandingkan. Dari nilai pengujian kembali tersebut didapatkan kesalahan relatif rata-rata pengukuran pin analog A0 terhadap pengukuran multimeter saat sapuan maju dan sapuan balik masing-masing sebesar 0.1737 % dan 0.17%. Selain itu juga didapatkan rata-rata nilai RMSE saat sapuan maju dan balik masing-masing sebesar 0.0024 dan 0.002. Kesalahan relatif dan perbedaan tersebut diakibatkan nilai potensial disetiap pengujian berbeda-beda yang diakibatkan terdapatnya *noise* pada modul DAC MCP4725 sehingga hasil pengukuran tersebut tidak 100% sesuai dengan nilai aktualnya.



Gambar 4.4. Grafik hubungan antara pengukuran potensial *output* modul DAC MCP4725 oleh multimeter terhadap Analog A0. Gambar 4.4(a) saat sapuan maju dan gambar 4.4(b) saat sapuan balik.

4.4. Kalibrasi Pin Analog A0 Terhadap Rangkaian *Summing Amplifier*



Gambar 4.5. Rangkaian *summing amplifier*

Pada pengujian *cyclic voltammetry* Penulis tertarik untuk menggunakan variasi potensial positif dan negatif. Untuk menghasilkan potensial positif dan negatif tersebut, nilai potensial *output* modul DAC MCP4725 diubah menggunakan rangkaian *summing amplifier* (lihat Gambar 4.5). Besar potensial *output* rangkaian *summing amplifier* dapat dicari dengan persamaan sebagai berikut:

$$V_{Sum-Amp} = -R_3 \left(\frac{V_{IN}}{R_1} + \frac{V_{b1}}{R_2} \right) \quad (4.4)$$

dimana $R_1 = 501.4 \Omega$; $R_2 = 2401.8 \Omega$; $R_3 = 239.98 \Omega$; $V_{b1} = -11.981 \text{ Volt}$; $V_{IN} = V_{DAC}$. Dari persamaan (4.4) tersebut dapat dilihat bahwa semakin besar nilai V_{DAC} maka semakin besar juga nilai $V_{Sum-Amp}$.

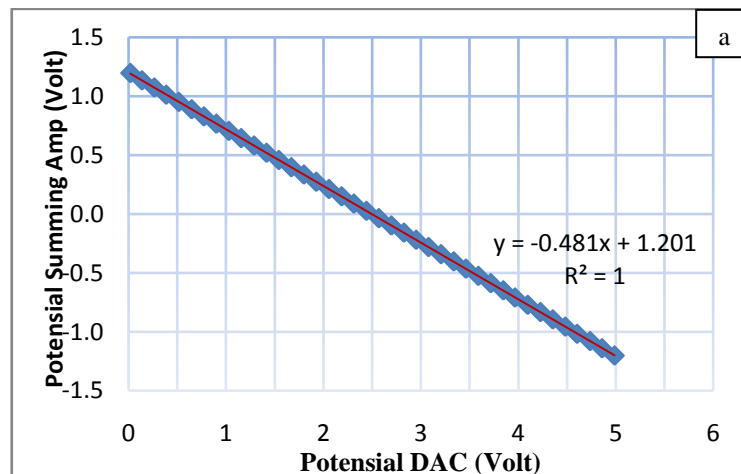
Dikarenakan pin Analog Arduino tidak dapat mengukur potensial negatif maka dalam pengukuran potensial *output* rangkaian *summing amplifier* digunakan multimeter. Proses pengukuran potensial *output* rangkaian *summing amplifier* dilakukan sebanyak 3 kali pengulangan. Modul DAC MCP4725 memberikan potensial secara sapuan maju dan sapuan balik (*forward* dan *reverse scan*) ke rangkaian *summing amplifier*. Secara bersamaan pin Analog A0 membaca potensial *output* modul DAC MCP4725. Kemudian hasil pengukuran potensial *output* rangkaian *summing amplifier* dan potensial *output* modul DAC MCP472 dicari rata-ratanya. Kedua nilai rata-rata tersebut selanjutnya dibuatkan suatu grafik hubungan antara rata-rata potensial *output* rangkaian *summing amplifier* dan potensial *output* modul DAC MCP472 (lihat Gambar 4.6). Diperoleh fungsi korelasi dari grafik pada Gambar 4.6 untuk pemberian potensial saat sapuan maju dan sapuan balik sebagai berikut:

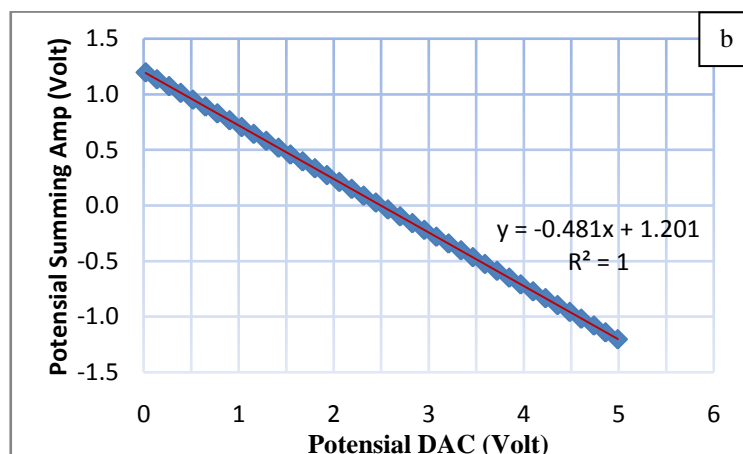
$$y = -0.482x + 1.199 \quad (4.5)$$

dan

$$y = -0.481x + 1.201 \quad (4.6)$$

dimana y adalah nilai rata-rata pengukuran potensial *output* rangkaian summing amplifier oleh multimeter dan x adalah nilai pengukuran potensial modul DAC MCP472 oleh pin analog A0 Arduino. Fungsi korelasi (4.5) dan (4.6) tersebut selanjutnya dimasukkan kedalam program arduino dan dilakukan penyesuaian terhadap koding pengukuran oleh pin analog A0. Kemudian dilakukan pengujian menggunakan pin analog A0 dan Multimeter terhadap pengukuran potensial *output* rangkaian *summing amplifier*. Didapatkan kesalahan relatif pengukuran oleh pin analog A0 terhadap multimeter saat sapuan maju dan sapuan balik masing-masing sebesar 0.2416 % dan 0.636 %. Selain itu didapatkan rata-rata nilai RMSE untuk pengukuran pin analog A0 terhadap multimeter saat sapuan maju dan sapuan balik masing-masing sebesar 0.0034 dan 0.0023. Kesalahan dan perbedaan dikarenakan nilai pengukuran potensial *summing amplifier* oleh multimeter berubah-ubah. Hal ini dikarenakan terdapatnya noise pada rangkaian *summing amplifier* yang menyebabkan nilai pengukuran berbeda dari nilai aktualnya.





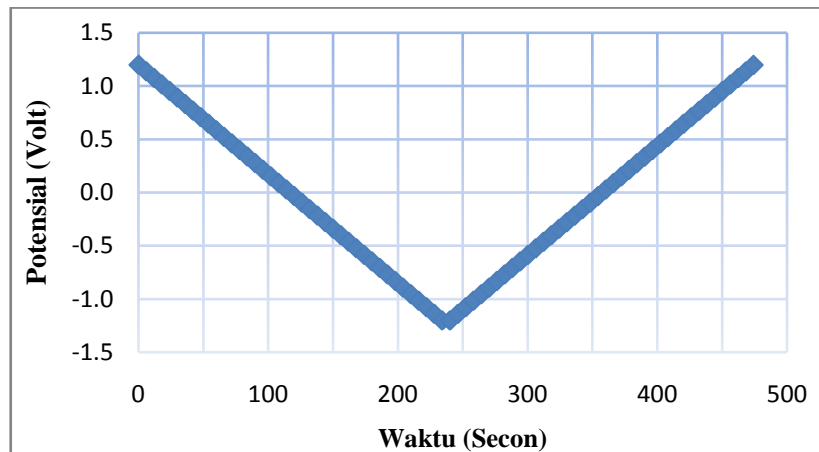
Gambar 4.6. Grafik korelasi linier hasil pengukuran potensial *output* rangkaian *summing amplifier* terhadap pengukuran potensial DAC MCP4725. Gambar 4.6(a) grafik ketika pemberian potensial saat sapuan maju dan Gambar 4.6(b) grafik ketika pemberian potensial saat sapuan balik.

4.5. Potensial *Output* Rangkaian *Summing Amplifier*

Berdasarkan hasil pengukuran menggunakan multimeter didapatkan grafik nilai potensial *output* rangkaian *summing amplifier* terhadap lama waktu sapuan maju dan balik (Gambar 4.7). Lama waktu sapuan potensial didapatkan dari pengkodisian terhadap coding. Nilai potensial *output* rangkaian *summing amplifier* merupakan nilai potensial yang dapat diberikan ketika pengujian elektrokimia berlangsung.

Tabel 4.2. Rentang potensial *output* DACMCP4725 dan rangkaian *summing amplifier*

Potensial DAC MCP4725 (Volt)	Potensial Summing Amplifier (Volt)
0.0213	1.1989
5.0077	-1.1976



Gambar 4.7. Rentang keluaran rangkaian *summing amplifier* saat pemberian potensial maju dan balik terhadap lama waktu scan pemberian potensial.

4.6. Kalibrasi Pin Analog A1 Terhadap Potensial *Output* Rangkaian *Current to Voltage Converter*

Rangkaian potensiostat menggunakan rangkaian *current to voltage converter* untuk mengkonversi arus yang terbentuk pada sel elektrokimia ke nilai potensial. Konversi dilakukan karena pin analog Arduino hanya dapat membaca nilai potensial. Untuk menguji rangkaian *current to voltage converter*, dilakukan pengujian menggunakan resistor 300 Ohm yang dihubungkan ke 3 pin keluaran elektroda pin yaitu elektroda kerja (*working electrode*), elektroda referensi (*reference electrode*), dan elektroda bantu (*counter electrode*). Berikut nilai resistansi ketiga resistor yang digunakan:

Tabel 4.3 Hasil Pengukuran Resistor

	Resistor 1 (Ω)	Resistor 2 (Ω)	Resistor 3 (Ω)
Resistor 300 Ω	297.4	298.8	299

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan pengukuran arus rangkaian *current to voltage converter* pada rangkaian potensiostat, sesuai dengan prinsip sederhana hukum Ohm sebagai berikut:

$$I = \frac{V}{R} \quad (4.7)$$

dimana V (Volt) merupakan potensial yang diaplikasikan potensiostat (secara khusus rangkaian *summing amplifier*) dan R (Ohm) merupakan nilai resistansi resistor. Arus yang muncul akibat diterapkannya suatu potensial pada resistor akan dikonversikan menjadi nilai potensial oleh rangkaian *current to voltage converter*. Pada pengujian ini dilakukan pengukuran potensial *output* rangkaian *current to voltage converter* oleh pin Analog A1 dan Multimeter. Proses pengujian dilakukan sebanyak 3 kali pengulangan. Hasil pengukuran potensial *output* rangkaian *current to voltage converter* oleh pin analog A1 dan multimeter masing-masing kemudian dirata-ratakan yang selanjutnya dibandingkan untuk mencari nilai kesalahan relatif dan nilai RMSE. Kesalahan relatif rata-rata pengukuran potensial *output* rangkaian *current to voltage converter* rata-rata oleh pin analog A1 terhadap multimeter ketika sapuan maju dan sapuan balik masing-masing sebesar 1.6516% dan 0.3499%. Nilai RMSE pengukuran potensial *output* rangkaian *current to voltage converter* rata-rata oleh pin analog A1 terhadap multimeter saat sapuan maju dan sapuan balik sebesar 0.0321 dan 0.0101.

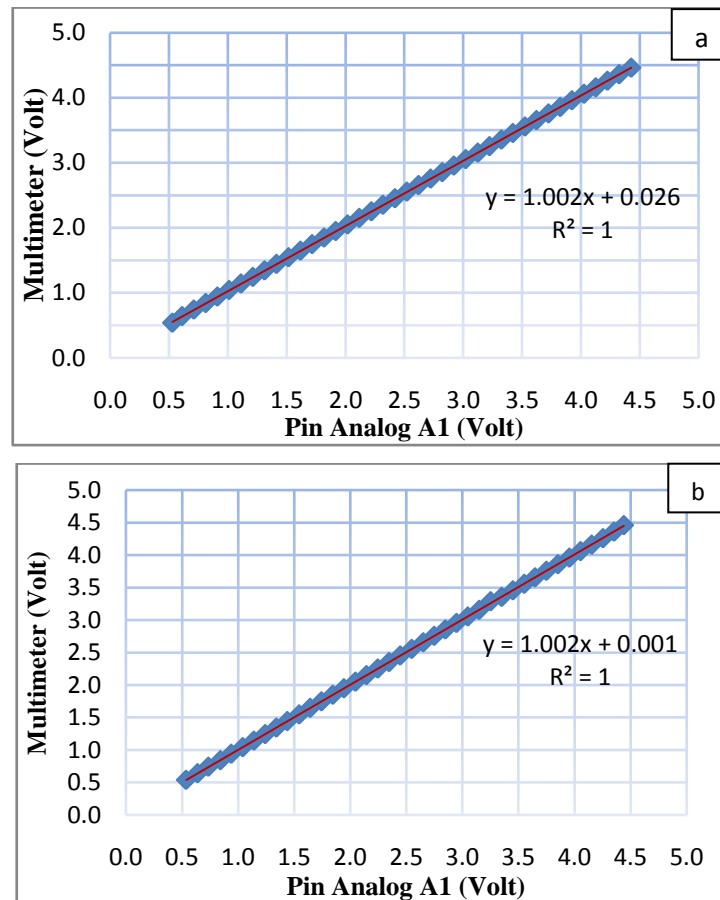
Untuk mendekati nilai pengukuran pin analog A1 dengan multimeter maka digunakan fungsi korelasi yang didapatkan dari grafik hubungan antara rata-rata pengukuran keluaran rangkaian *current to voltage converter* oleh multimeter dan pin analog A1 (lihat Gambar 4.8). Diperoleh fungsi korelasi dari grafik pada Gambar 4.8 untuk pemberian potensial saat sapuan maju dan sapuan balik sebagai berikut:

$$y = 1.002x + 0.026 \quad (4.8)$$

dan

$$y = 1.002x + 0.001 \quad (4.9)$$

dimana y adalah nilai rata-rata pengukuran potensial *output* rangkaian *current to voltage converter* oleh multimeter dan x adalah nilai pengukuran potensial *output* rangkaian *current to voltage converter* oleh pin analog A0 Arduino.



Gambar 4.8. Grafik korelasi linier hasil pengukuran potensial keluaran rangkaian *current to voltage converter* oleh multimeter terhadap pengukuran potensial oleh pin Analog A1 Arduino. Gambar 4.8(a) grafik ketika pemberian potensial maju dan Gambar 4.8(b) ketika pemberian potensial balik pada rangkaian *summing amplifier*.

Fungsi korelasi (4.8) dan (4.9) yang didapatkan dimasukkan kedalam program Arduino dan dilakukan penyesuaian program pengukuran potensial oleh pin analog A1. Lalu dilakukan pengujian kembali menggunakan resistor yang sama. Didapatkan kesalahan relatif pengukuran potensial *output* rangkaian *current to voltage converter* oleh pin analog A1 terhadap pengukuran oleh multimeter saat sapuan maju dan sapuan balik sebesar 0.176% dan 0.1330% dengan nilai RMSE masing-masing sebesar 0.0037 dan 0.0032.

4.7. Kalibrasi Pin Analog A1 Terhadap Arus Rangkaian *Current to Voltage Converter*

Untuk mengetahui arus keluaran sel elektrokimia maka hasil pengukuran potensial oleh pin Analog A1 harus dikonversikan kembali ke nilai arus melalui persamaan berikut:

$$V_{CVC} = -R_5 \times \left(i_{in} + \frac{V_{b1}}{R_4} \right) \quad (4.10)$$

dimana V_{CVC} merupakan potensial keluaran rangkaian *current to voltage converter*; $R_4 = 2396.2 \Omega$; $R_5 = 500.8 \Omega$; $V_{b1} = -11.981$ Volt; i_{in} merupakan arus keluaran sel elektrokimia. Untuk mencari nilai arus, persamaan (4.10) menjadi:

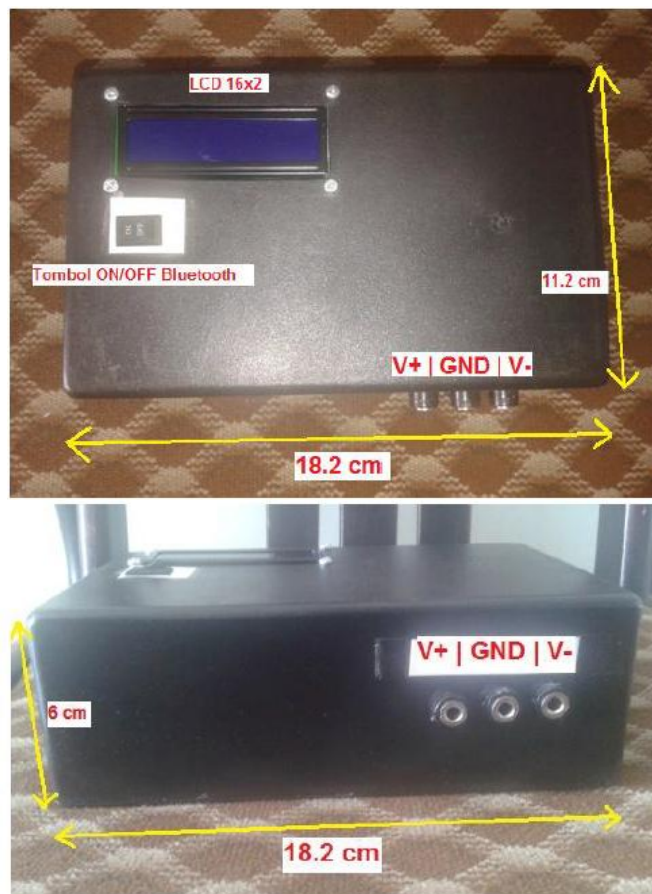
$$i_{in} = -\frac{V_{b1}}{R_4} - \frac{V_{CVC}}{R_5} = 0.005 - \frac{(0 \text{ s/d } 5 \text{ Volt})}{500.8} \quad (4.11)$$

Melalui persamaan (4.11) tersebut didapatkan nilai arus keluaran sel elektrokimia dengan memasukkan nilai pengukuran potensial *output* rangkaian *current to voltage converter* (V_{CVC}) oleh pin Analog A1 dan Multimeter kedalam persamaan. Kedua hasil pengukuran oleh pin Analog A1 dan multimeter kemudian dibandingkan dan didapatkan kesalahan relatif pengukuran saat sapuan maju dan sapuan balik masing-masing sebesar 0.7517 % dan 0.5266 % dengan nilai RMSE masing-masing sebesar 0.0075 dan 0.00646. Kemudian dilakukan penyesuaian program untuk pengukuran arus oleh pin analog A1 dengan memasukkan persamaan (4.11) kedalam program Arduino. Melalui persamaan (4.11), karena pin Analog Arduino hanya dapat membaca potensial dengan rentang 0 - 5 Volt, dengan memasukkan nilai 0 Volt maka didapatkan nilai arus sebesar 0.005 A dan dengan memasukkan nilai 5 Volt didapatkan nilai arus sebesar -0.00498 A sehingga arus yang dapat diukur potensiostat ini memiliki rentang -4.98 mA s/d 5 mA.

4.8. Perancangan Perangkat Keras

Dilakukan perancangan perangkat keras yang bertujuan untuk menyatukan seluruh komponen yang digunakan dalam rangcang bangun sistem potensiostat

ini. Pada proses ini modul DAC MCP4725 yang telah dikalibrasi disatukan dengan LCD 16x2, modul *bluetooth* HC-05, sistem minimum Arduino Uno, dan rangkaian potensiostat. Terdapat *input* pengisi sumber daya yang terhubung dengan Arduino Uno sehingga potensiostat dapat dioperasikan secara *portable* tanpa harus terhubung dengan perangkat komputer. Potensiostat ini berdimensi 18.2 cm x 11.2 cm x 6 cm sehingga dapat mudah dibawa dan dipindahkan.



Gambar 4. 9 Tampilan rancang bangun sistem potensiostat menggunakan Arduino Uno

4.9. Perancangan Aplikasi Android

Proses perancangan aplikasi Android menggunakan software MIT App Inventor. Pada pengoperasian potensiostat, Aplikasi ini bertindak sebagai pengatur operasional potensiostat seperti pengaturan scan rates, potensial mula-mula, potensial maksimum, potensial minimum serta seberapa banyak pengujian

dilakukan (siklus). Selain pengaturan, di bagian bawah tampilan aplikasi terdapat 2 baris yang berfungsi untuk memonitoring potensial dan arus listrik hasil pengukuran potensiostat dalam pengujian elektrokimia (lihat Gambar 4.10). Terdapat batasan-batasan dalam pengaturan potensiostat yang akan dijabarkan melalui Tabel 4.4.



Gambar 4.10. Tampilan Aplikasi Android

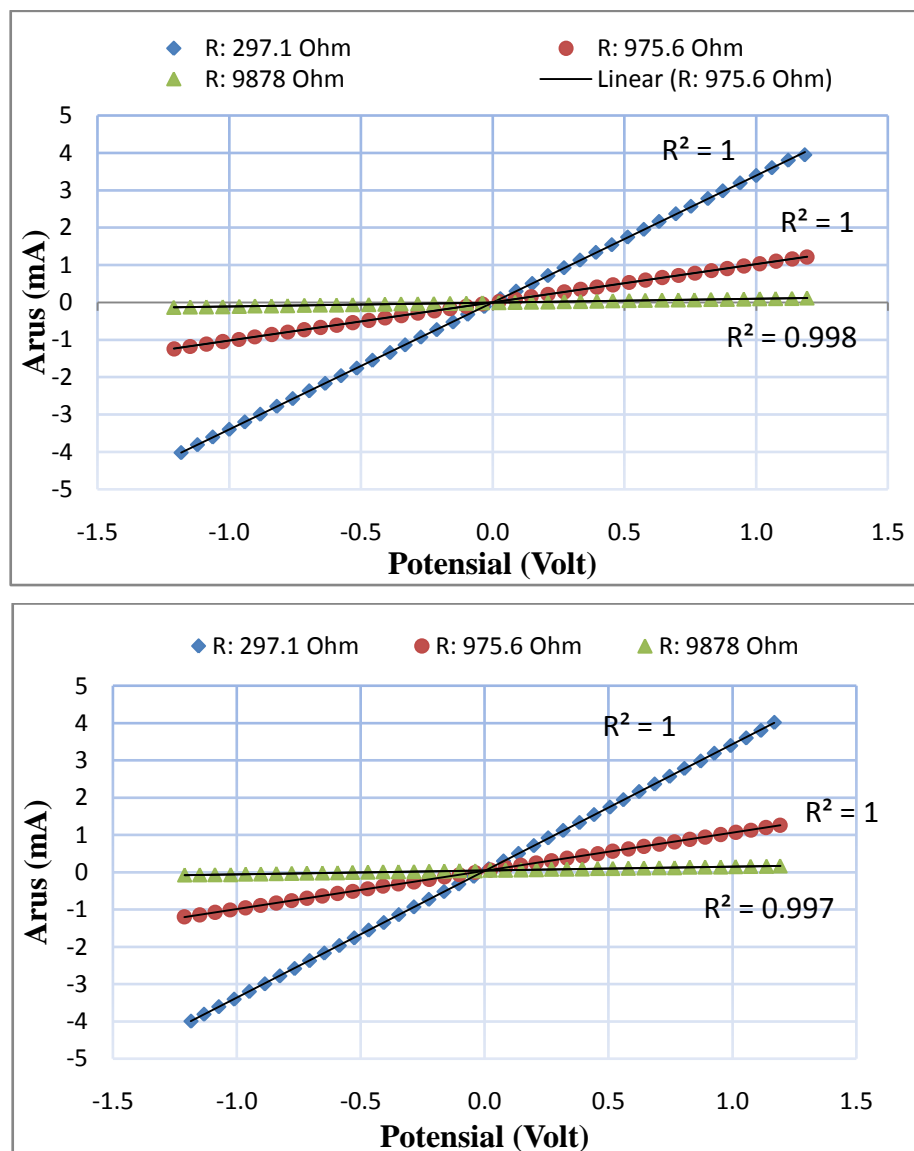
Tabel 4. 4. Kemampuan Pengaturan Potensiostat

	Minimum	Maksimum
Scan Rates	$\sim < 200 \text{ mV/s}$	200 mV/s
Cycle	0	9999
Potensial Mula-Mula	-1.1976 V	1.199 V
Potensial Maksimum	-	1.199
Potensial Minimum	-	-1.1976 V

4.10. Pengujian Sistem Potensiostat Menggunakan Resistor

Untuk mengetahui seberapa besar kemampuan rancang bangun sistem potensiostat ini maka dilakukan pengujian potensiostat menggunakan variasi resistor 297.1 Ω , 9756 Ω , dan 9878 Ω . Dilakukan pengujian secara bergantian

menggunakan ketiga resistor untuk mengetahui seberapa besar kemampuan pin analog A1 dalam merespon nilai arus. Ketiga resistor secara bergantian dihubungkan ke 3 pin keluaran elektroda pin yaitu elektroda kerja (*working electrode*), elektroda referensi (*reference electrode*), dan elektroda bantu (*counter electrode*). Hasil pengujian menggunakan ketiga resistor saat pemberian potensial maju dan balik ditampilkan sebagai berikut:



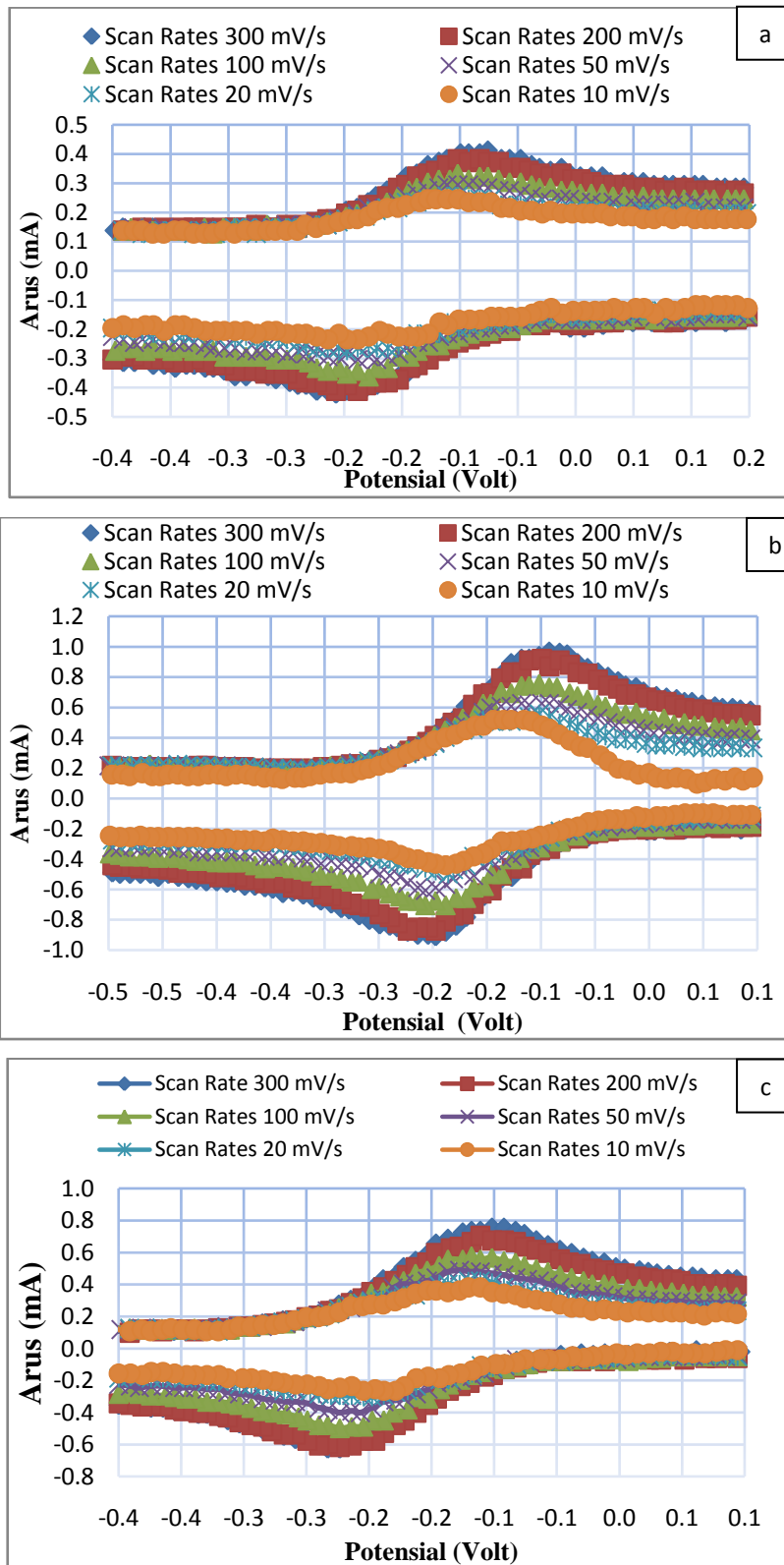
Gambar 4.11. Kurva respon Arus terhadap kenaikan potensial (a) dan penurunan potensial (b).

Berdasarkan kurva diatas, terlihat bahwa nilai koefisien determinasi terendah yaitu $R^2 = 0.997$ dan tertinggi $R^2 = 1$ yang menandakan hasil pengukuran arus dan potensial oleh rancang bangun sistem potensiostat saling berhubungan atau mencapai tingkat korelasi sempurna. Hasil pengukuran arus dan potensial melalui nilai koefisien determinasi tersebut telah sesuai dengan hukum Ohm sederhana dimana penambahan potensial pada bahan/larutan yang memiliki nilai resistansi tertentu akan meningkatkan nilai arus yang muncul.

4.11. Pengujian Sistem Potensiostat

Untuk menguji rangkaian potensiostat dilakukan pengujian elektrokimia menggunakan metode *cyclic voltammetry*. Pengujian ini menggunakan 3 larutan elektrolit berbeda dengan bahan yang terdiri atas campuran *potassium ferricyanide* dengan konsentrasi masing-masing 10 mM, 20 mM, dan 30 mM, *potassium nitrate* 0.1 mM dan *sodium hidroxide* 0.1 mM dengan pelarut aquades sebanyak 10 ml untuk masing-masing larutan. Untuk elektroda kerja dan elektroda bantu menggunakan kawat platina berdiameter 0.08 mm² sedangkan untuk elektroda referensi menggunakan AgCl. Ketiga elektroda dicelupkan kedalam larutan sedalam 5 mm. Maka didapatkan luas area elektroda kerja sebesar 0.4 mm³.

Pada pengujian ini digunakan variasi *scan rates* terhadap masing-masing larutan elektrolit. *Scan rates* merupakan kecepatan pemberian potensial tiap satuan waktu (Andriani, 2007). Perubahan *scan rates* memberikan pengaruh pada laju pertukaran aliran elektron dalam larutan elektrolit. Variasi *scan rates* yang digunakan adalah 10, 20, 50, 100, 200, dan 300 mV/s. Dalam satu siklus pemberian potensial sapuan maju dan balik (*forward* dan *reverse scan*) terjadi 548 kali pemberian potensial diskrit. Pemberian potensial dengan cara menaikkan potensial sampai nilai tertentu dalam reaksi oksidasi menyebabkan kenaikan arus secara cepat sampai ketitik tertinggi sehingga arus puncak akan diperoleh (Riyanto, 2013). Didapatkan hasil yaitu voltammogram siklik yaitu grafik hubungan antara arus dan potensial seperti berikut:



Gambar 4.12. Voltamogram Siklik larutan $K_3Fe(CN)_6$ konsentrasi 10 mM (a), 20 Mm (b) dan 30 Mm (c).

Voltammogram siklik yang telah didapatkan (Gambar 4.12) selanjutnya dibandingkan dengan voltammogram siklik dari referensi yang ada. Berdasarkan (Gambar 2.4) dapat dilihat bahwa penambahan *scan rates* menyebabkan arus puncak anoda dan katoda pada voltammogram siklik semakin tinggi. Pada voltammogram siklik yang terbentuk dapat dilihat bahwa pembentukan arus puncak anoda dan katoda berada pada interval potensial -0.5 Volt s/d 0 Volt. Hal ini telah sesuai dengan penelitian sebelumnya (Meloni, 2016) yang menggunakan elektroda yang sama dengan larutan *potassium ferricyanide*.

Untuk menganalisa voltamogram siklik yang didapatkan, arus puncak anoda dan katoda disetiap kenaikan *scan rates* dalam satu siklus harus diketahui. Arus puncak anoda dan katoda masing-masing voltammogram siklik ditampilkan pada Tabel 4.5 dan Tabel 4.6.

Tabel 4.5. Nilai arus puncak anoda dan akar scan rate untuk konsentrasi $K_3Fe(CN)_6$ masing-masing 10 mM, 20 Mm, dan 30 mM

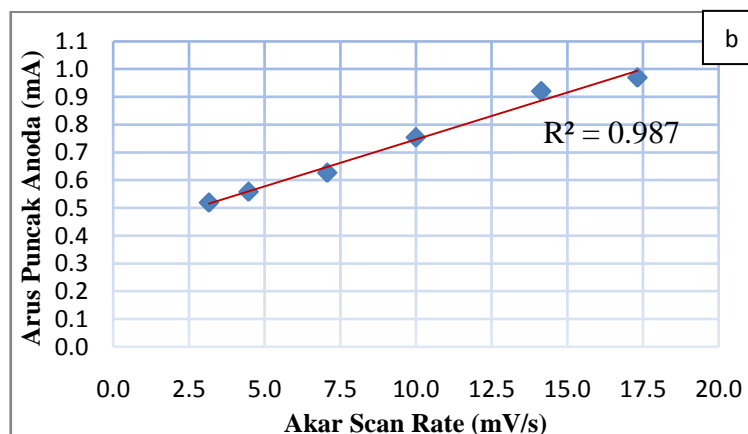
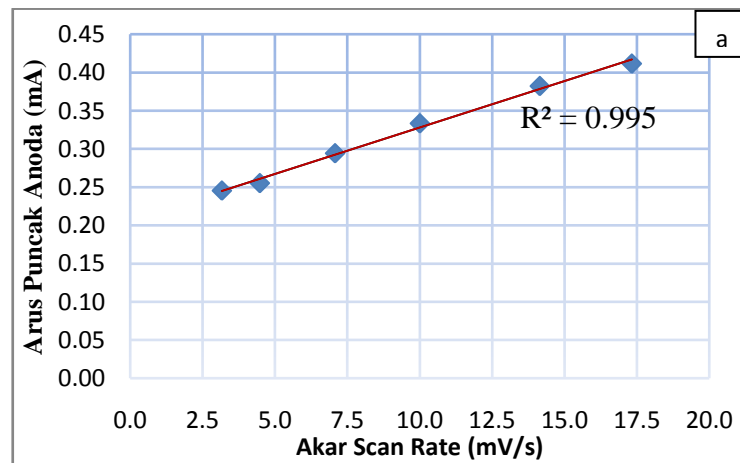
Konsentrasi $K_3Fe(CN)_6$					
10 Mm		20 mM		30 mM	
Arus Puncak Anoda (mA)	Akar Scan Rate (mV/s)	Arus Puncak Anoda (mA)	Akar Scan Rates (mV/s)	Arus Puncak Anoda (mA)	Akar Scan Rates (mV/s)
0.2454	3.1623	0.5192	3.1623	0.3823	3.1623
0.2552	4.4721	0.5583	4.4721	0.4214	4.4721
0.2943	7.0711	0.6268	7.0711	0.4898	7.0711
0.3334	10	0.7539	10	0.5779	10
0.3823	14.1421	0.9201	14.1421	0.7050	14.1421
0.4116	17.3205	0.9690	17.3205	0.7539	17.3205

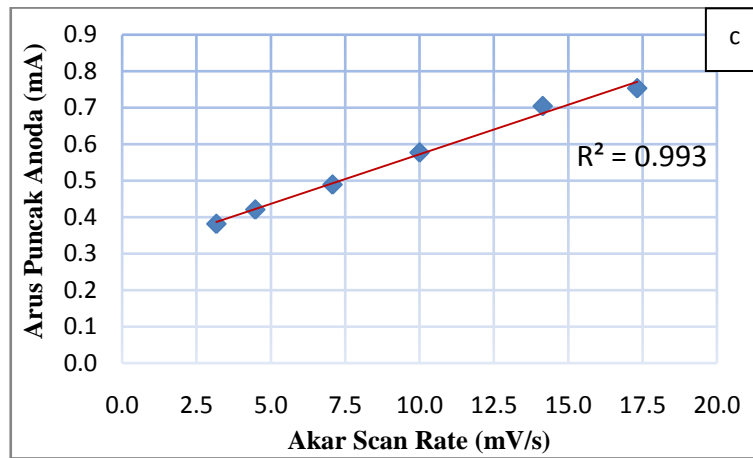
Tabel 4.6. Nilai arus puncak katoda dan akar scan rate untuk konsentrasi $K_3Fe(CN)_6$ masing-masing 10 mM, 20 Mm, dan 30 mM

Konsentrasi $K_3Fe(CN)_6$					
10 mM		20 mM		30 mM	
Arus Puncak Katoda (mA)	Akar Scan Rate (mV/s)	Arus Puncak Katoda (mA)	Akar Scan Rates (mV/s)	Arus Puncak Katoda (mA)	Akar Scan Rates (mV/s)
-0.2348	3.1623	-0.4402	3.1623	-0.2642	3.1623

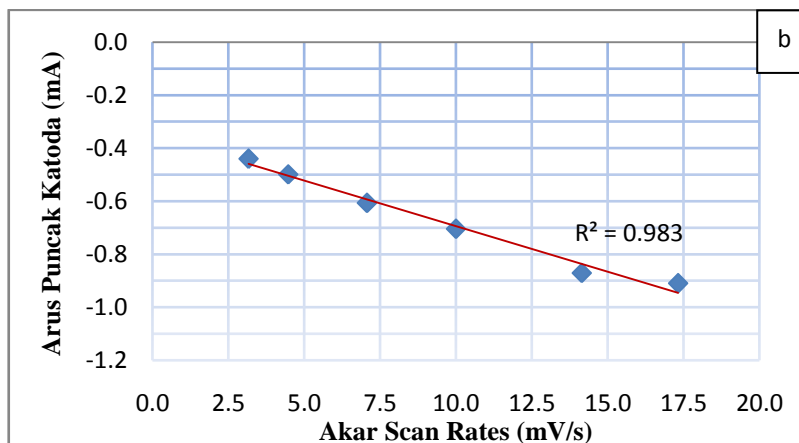
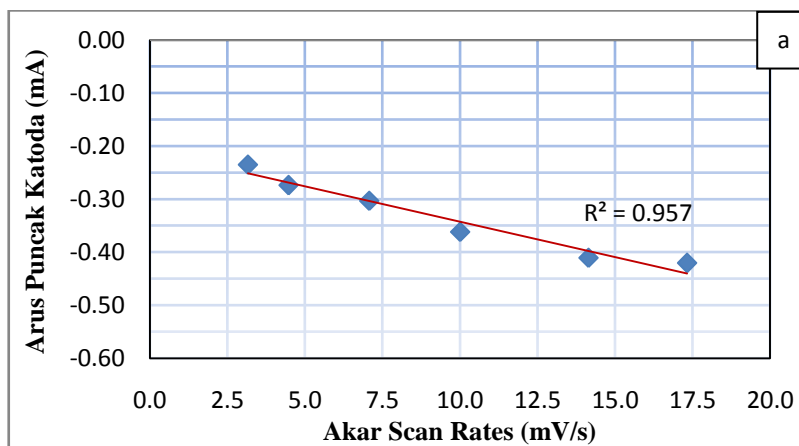
-0.2739	4.4721	-0.4989	4.4721	-0.3033	4.4721
-0.3033	7.0711	-0.6064	7.0711	-0.4011	7.0711
-0.3620	10	-0.7042	10	-0.4989	10
-0.4109	14.1421	-0.8705	14.1421	-0.6162	14.1421
-0.4206	17.3205	-0.9096	17.3205	-0.6260	17.3205

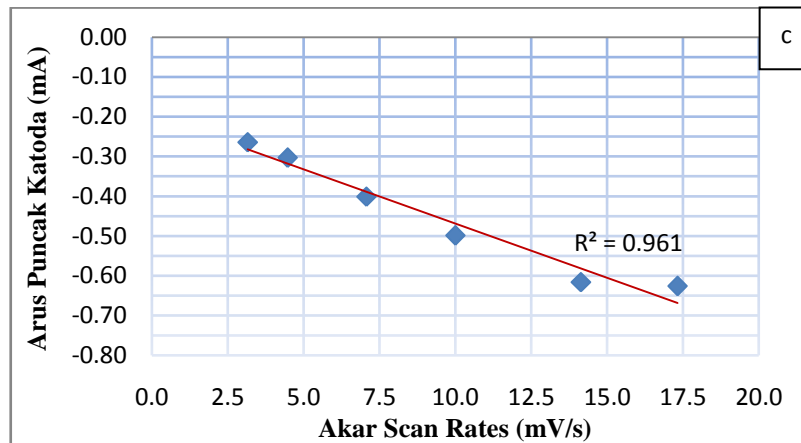
Berdasarkan literatur yang ada (Riyanto, 2013), voltamogram dari larutan *potassium ferricyanide* yang digunakan termasuk kedalam voltamogram dapat berbalik (*reversible*). Besarnya arus puncak dari reaksi yang berlangsung secara *reversible* pada suhu 25°C ditentukan dengan persamaan Randles-Sevcik (persamaan 2.1). Dari persamaan (2.1) tersebut kita dapat melihat bahwa besar arus puncak berbanding lurus dengan akar scan rate ($v^{\frac{1}{2}}$). Nilai arus puncak yang telah kita dapatkan kemudian diplot kedalam grafik hubungan antara arus puncak anodik dan katodik terhadap akar scan rate (lihat Gambar 4.13 dan Gambar 4.14).





Gambar 4.13. Grafik hubungan arus puncak anodik terhadap akar *scan rates* dengan konsentrasi *potassium ferricyanide* masing-masing 10 mM (a), 20 mM (b), dan 30 mM (c)





Gambar 4.14. Grafik hubungan arus puncak katodik terhadap akar *scan rates* dengan konsentrasi *potassium ferricyanide* masing-masing 10 mM (a), 20 mM (b), dan 30 mM (c)

Dari grafik pada Gambar 4.13 dan Gambar 4.14 dapat kita lihat besar arus puncak anodik dan katodik ditentukan oleh besar *akar scan rates* dengan koefisien determinasi tertinggi untuk besar arus puncak anodik dan katodik masing-masing sebesar $R^2 = 0.995$ dan $R^2 = 0.983$. Nilai koefisien determinasi terendah untuk masing-masing arus puncak anodik dan katodik yaitu $R^2 = 0.987$ dan $R^2 = 0.957$. Dari nilai R^2 tersebut dapat kita lihat besar arus puncak anoda ditentukan sebesar 99.5% dan 98.7% oleh penambahan nilai *scan rates* sedangkan arus puncak katoda ditentukan sebesar 98.3% dan 95.7% oleh penambahan nilai *scan rates* dan sisanya ditentukan oleh faktor lain. Berdasarkan literatur (lihat Gambar 2.4) dan rumus Randles Sevcik (persamaan 2.1), peningkatan *scan rates* dapat meningkatkan besar arus puncak anoda dan katoda sehingga hasil yang telah didapatkan dalam pengujian yaitu voltammogram siklik masing-masing konsentrasi larutan diatas telah sesuai dengan literatur yang ada.

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Telah dibuat suatu rancang bangun sistem potensiostat menggunakan Arduino Uno yang memanfaatkan aplikasi Android sebagai tampilan data dan pengaturan operasional potensiostat. Rancang bangun potensiostat ini berdimensi 18.2 cm x 11.2 cm x 6 cm membuatnya *portable* dan praktis dalam penggunaannya. Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, rentang potensial yang dapat diberikan potensiostat ini yaitu -1.1976 Volt s/d 1.199 Volt dengan rentang pengukuran arus dari -4.98 mA s/d 5 mA. Tingkat akurasi pengukuran potensial sel elektrokimia oleh alat ini saat pemberian potensial sapuan maju dan sapuan balik didapatkan kesalahan relatif masing-masing sebesar 0.2416 % dan 0.636 % dan didapatkan juga nilai RMSE (*root mean square error*) masing-masing sebesar 0.0034 dan 0.0023. Sedangkan tingkat akurasi pengukuran arus sel elektrokimia oleh alat ini saat pemberian potensial sapuan maju dan sapuan balik didapatkan kesalahan relatif pembacaan masing-masing sebesar 0.7517% dan 0.5266% dan didapatkan juga nilai RMSE masing-masing sebesar 0.0075 dan 0.00646.

5.2. Saran

1. Dalam penelitian berikutnya diharapkan dapat memperbesar rentang pemberian potensial dan pengukuran arus pada sel elektrokimia.
2. Diharapkan menggunakan penguat operasional (Op-Amp) yang mampu meredam noise sehingga tidak mempengaruhi alat ukur dalam membaca nilai arus dan potensial.
3. Karena ketidakmampuan mikrokontroler dalam pengukuran potensial negatif maka diharapkan pada penelitian berikutnya menambahkan suatu rangkaian atau sensor yang dapat mengatasi kelemahan tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Aishah, S. (2013). *Multichannel Electrochemical Analyzer*. Johor Bahru: University Technology of Malaysia.
- Amani, F., & Prawiroredjo, K. (2016). Alat Ukur Kualitas Air Minum Dengan Parameter PH, Suhu, Tingkat Kekeruhan, dan Jumlah Padatan Terlarut. *JETri, Volume 14, no 1* .
- Andriani, V. (2007). *Pengembangan Sensor Voltametri N₂O Dengan Optimalisasi Polarisation Elektroda Dan Konsentrasi Elektrolit Menggunakan Elektroda Kerja Perak (Ag)*. Jember: Universitas Negeri Jember.
- Arifin, J., Zulita, L. N., & Hermawansyah. (2016). Perancangan Murottal Otomatis Menggunakan Mikrokontroler Arduino Mega 2560. *Jurnal Media Infotama* .
- Astria, F., Subito, M., & Nugraha, D. W. (2014). Rancang Bangun Alat Ukur PH dan Suhu Berbasis Short Message Service (SMS) Gateway. *Jurnal Mektrik* .
- Bard, A. J., & Faulkner, L. R. (1980). *Electrochemical Methods Fundamentals And Applications*. Singapore: John Wiley and Sons. Inc.
- BPS.(2015). Retrieved from Badan Pusat Statistik:
<https://www.bps.go.id/linkTabelStatis/view/id/1763>
- Deril, M., & Noviriani. (n.d.). Uji Parameter Air Minum Dalam Kemasan (AMDK) di Kota Surabaya. *Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan Vol.6 No.1* .
- Deril, M., & Novirina. (n.d.). Uji Parameter Air Minum Dalam Kemasan (AMDK) di Kota Surabaya. *Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jatim* .
- Djuhariningrum, T. (2005). Penentuan Total Zat Padat Terlarut Dalam Memprediksi Kualitas Air Tanah Dari Berbagai Contoh Air. *Pusat Pengembangan Geologi Nuklir- BATAN* .
- Dorf, R. C., & Svoboda, J. A. (2014). *Introduction to Electric Circuits 9th Edition*. Singapore: John Wiley & Sons.
- Fu, H., Chow, H., Lew, M., Menon, S., Scratchley, C., & Parameswaran, M. A. (2015). *An Electrochemical Potentiostat Interface for Mobile Device: Enabling Remote Medical Diagnostics*. New York: Cornell University.

- Gopinath, A. V., & Russell, D. (2005). An Inexpensive Field-Portable Programmable Potentiostat. *The Chemical Educator* 10 , 1-6.
- Hartanto, S. (2007). Studi Kasus Kualitas dan Kuantitas Kelayakan Air Sumur Artetis Sebagai Air Bersih Untuk Kebutuhan Sehari-hari Di Daerah Kelurahan Sukerejo Kecamatan Gunungpati Semarang Tahun 2007. *Universitas Negeri Semarang* .
- Hendrik, B., Masril, M., & Moenir, A. (2015). Pemanfaatan MIT APP INVENTOR Dalam Membangun Aplikasi Pengontrolan Kecepatan Putaran Motor Listrik. *Jurnal-tip*.
- Malis, J. (2008). Prinsip Kerja Conductivity Sensor Dalam Pengukuran Daya Hantar Listrik Suatu Fluida (Aplikasi PT.RIAU Andalan Pulp And Paper) . *USU Institutional*
- Margolis, M. (2011). *Arduino Cookbook*. O'reilly Media, Inc.
- Mastra, I. G. (2016). *Prototype Sistem Kendali Otomatis Robot Mobil Untuk Parkir Pintar Menggunakan Komunikasi Nirkabel*. Jimbaran: Universitas Udayana.
- Meloni, G. N. (2016). Building a Microcontroller Based Potentiostat: A Inexpensive and Versatile Platform for Teaching Electrochemistry and Instrumentation. *Journal of Chemical Education*, 93 , 1320-1322.
- Moechtar. (1989). *Farmasi Fisik : Bagian Larutan dan Dispersi*. Yogyakarta: Gajah Mada University Press.
- Mubarok, F. (2015). *Pengembangan Media Pembelajaran Berbasis Mobile Application Menggunakan App Inventor Pada Mata Pelajaran Mekanika Teknik Untuk Siswa Kelas X Studi Keahlian Tgb Smk Negeri 3 Yogyakarta*. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.
- Muid, A., Djamal, M., & Wirawan, R. (2014). Development of a Low Cost Potentiostat Using ATXMEGA32. *AIP Conference Proceedings* 1589 , 124-128.
- Nasrudin, A. A., & Dzulkiflih. (2015). Rancang Bangun Aplikasi Lux meter BH1750 Sebagai Alat Ukuri Kekeuhan Air Berbasis Mikrokontroler . *Jurnal Inovasi Fisika Indonesia* .

- Nicola, F. (2015). Hubungan Antara Konduktivitas, TDS(Total Dissolved Solid) dan TSS(Total Suspended Solid) dengan Kadar Fe²⁺ dan Fe Total Pada Air Sumur Gali.
- Nuzula, N. I., & Endarko. (2013). Rancang Bangun Alat Ukur Kekeruhan Air Berbasis Mikrokontroler. *Institut Teknologi Sepuluh November* .
- Pandiangan, J. (2007). Perancangan dan Penggunaan Photodiode Sebagai Sensor Penghindar Dinding Pada Robot Forklit. *Universitas Sumatera Utara* .
- Puranto, P., & Imawan, C. (2010). Pengembangan Instrumen Pengkarakterisasi Sensor Elektrokimia Menggunakan Metode Voltametri Siklik. *Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi TELAAH* .
- Riyanto. (2013). *Elektrokimia dan Aplikasinya Edisi Pertama*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Rohman, A. Z. (2015). *Rancang Bangun Alat Ukur Getaran Mesin berbasis Arduino*. Semarang: Universitas Negeri Semarang.
- Rokhmaturrokhman. (2007). *Studi Awal Pemanfaatan Puncak Oksidasi dari Produk Reduksi p-nitrofenol untuk Analisis p-nitrofenol Secara Voltametri*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Rumondor, P. P., Porotu'o, J., & Waworuntu, O. (2014). Identifikasi Bakteri Pada Depot Air Minum Isi Ulang Di Kota Manado. *Univeritas Sam Ratulangi Manado* .
- Rumopa, V. W. (2015). *Kontrol Penerangan Ruangan Menggunakan Sensor Suara (Speech Recognition) Berbasis Android* . Manado: Politeknik Negeri Manado.
- S, K. D. (2016). *App Inventor*. Depok: Universitas Gunadarma.
- Santoso, H. (2015). *Panduan Praktis Arduino Untuk Pemula*.
- Saputra, A., Febriansyah, D., & Kuswara, H. (2014). Alat Kendali Lampu Rumah Menggunakan Bluetooth Berbasis Android. *Jurnal Teknologi Dan Informatika* .
- Setiawan, I. (2009). *Buku Ajar Sensor dan Transduser*.

- Setiawati, E. (2015). *Validasi Metode Analisis Potensi Antioksidan β -Karoten dari Mikroalga Dunaliella sp. dengan Teknik Linear Sweep Voltammetry*. Bandar Lampung: Universitas Lampung.
- Sriyono, Satmoko, A., Febrianto, Hidayati, N. R., Arifal, Sumarno, E., et al. (1999). Pengukuran Laju Korosi Material Pembangkit Uap Inconel 690 Pada Suhu Dan Tekanan Tinggi Dengan Cms100. *Prosiding Presentasi Ilmiah Teknologi Keselamatan Nuklir-IV* (pp. ISSN No.: 1410-0533). Serpong: P2TKN-BATAN.
- Texas Instruments. (2015, Januari). *LMx24-N, LM2902-N Low-Power, Quad-Operational Amplifiers*. Retrieved Agustus 7, 2017, from <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm124-n.pdf>
- Wardah, H. (2012). *Pengembangan Sensor BOD berbasis Rhodotorula mucilaginosa UICC Y-181 Terimobilisasi dalam Gelatin dan Alginat Menggunakan Elektroda Emas dan Boron-Doped Diamond Termodifikasi Nanopartikel Emas*. Depok: Universitas Indonesia.
- Waslaluiddin2016Rancang Bangun Sistem Alat Ukur Turbidity Untuk Analisis Kualitas Air Berbasis Arduino UNO *Fibosi (JoF), Volume 4 No 1*
- Yudha, Y. A., Pakereng, M. I., & Wellem, T. (2013). Perancangan Dan Implementasi Sistem Monitoring Suhu Ruangan Penyimpanan Vaksin Berbasis Mikrokontroler. *Universitas Kristen Satya Wacana* .

LAMPIRAN

Lampiran 1. Data-Data Yang Didapatkan Dari Hasil Pengukuran

Lampiran 1.1. Data Potensial *Output* Modul DAC MCP4725

Waktu (Secon)	Potensial DAC Saat Sapuan Maju (Volt)	Waktu (Secon)	Potensial DAC Saat Sapuan Balik (Volt)
0	0.0213	240	5.0077
6	0.1335	246	4.8783
12	0.2614	252	4.7503
18	0.3890	258	4.6230
24	0.5162	264	4.4953
30	0.6453	270	4.3677
36	0.7728	276	4.2377
42	0.9019	282	4.1097
48	1.0300	288	3.9803
54	1.1575	294	3.8533
60	1.2888	300	3.7257
66	1.4172	306	3.5977
72	1.5454	312	3.4697
78	1.6736	318	3.3413
84	1.8022	324	3.2130
90	1.9312	330	3.0857
96	2.0601	336	2.9580
102	2.1896	342	2.8310
108	2.3177	348	2.7043
114	2.4461	354	2.5747
120	2.5756	360	2.4457
126	2.7051	366	2.3171
132	2.8324	372	2.1890
138	2.9591	378	2.0595
144	3.0866	384	1.9307
150	3.2157	390	1.8017
156	3.3420	396	1.6735
162	3.4700	402	1.5449
168	3.5983	408	1.4166
174	3.7277	414	1.2884
180	3.8543	420	1.1571
186	3.9817	426	1.0296
192	4.1107	432	0.9016
198	4.2370	438	0.7725
204	4.3650	444	0.6451
210	4.4920	450	0.5160
216	4.6183	456	0.3889
222	4.7510	462	0.2613
228	4.8787	468	0.1335
234	5.0077	474	0.0304

Lampiran 1.2. Data Kalibrasi Pin Analog A0

Sapuan Maju						
Potensial Pin A0 Rata-Rata (Volt)	Multimeter Rata-Rata (Volt)	KSR Pembacaan A0 Terhadap Multimeter (%)	RMSE Pembacaan A0 Terhadap Multimeter	Potensial Pin A0 Uji Rata-Rata (Volt)	KSR Pembacaan A0 Uji Terhadap Multimeter (%)	RMSE Pembacaan A0 Uji Terhadap Multimeter
0.0000	0.0213	-	-	0.0180		
0.1173	0.1335	12.1524	0.0003	0.1368	2.4764	0.0000
0.2444	0.2614	6.5058	0.0003	0.2605	0.3468	0.0000
0.3699	0.3890	4.9186	0.0004	0.3924	0.8655	0.0000
0.4985	0.5162	3.4227	0.0003	0.5160	0.0323	0.0000
0.6305	0.6453	2.2986	0.0002	0.6479	0.3977	0.0000
0.7560	0.7728	2.1782	0.0003	0.7748	0.2588	0.0000
0.8847	0.9019	1.9035	0.0003	0.9034	0.1737	0.0000
1.0117	1.0300	1.7735	0.0003	1.0320	0.1942	0.0000
1.1388	1.1575	1.6156	0.0003	1.1590	0.1267	0.0000
1.2708	1.2888	1.3966	0.0003	1.2875	0.1009	0.0000
1.4011	1.4172	1.1361	0.0003	1.4193	0.1505	0.0000
1.5282	1.5454	1.1130	0.0003	1.5463	0.0604	0.0000
1.6569	1.6736	0.9978	0.0003	1.6732	0.0239	0.0000
1.7856	1.8022	0.9192	0.0003	1.8018	0.0203	0.0000
1.9110	1.9312	1.0443	0.0004	1.9304	0.0414	0.0000
2.0414	2.0601	0.9109	0.0004	2.0606	0.0243	0.0000
2.1685	2.1896	0.9667	0.0004	2.1875	0.0959	0.0000
2.2972	2.3177	0.8831	0.0004	2.3162	0.0647	0.0000
2.4291	2.4461	0.6936	0.0003	2.4447	0.0559	0.0000
2.5546	2.5756	0.8166	0.0004	2.5717	0.1514	0.0000
2.6833	2.7051	0.8059	0.0005	2.7035	0.0591	0.0000
2.8152	2.8324	0.6073	0.0003	2.8288	0.1271	0.0000
2.9374	2.9591	0.7344	0.0005	2.9574	0.0586	0.0000
3.0661	3.0866	0.6620	0.0004	3.0843	0.0734	0.0000
3.1965	3.2157	0.5960	0.0004	3.2162	0.0166	0.0000
3.3236	3.3420	0.5506	0.0003	3.3415	0.0160	0.0000
3.4522	3.4700	0.5120	0.0003	3.4701	0.0029	0.0000
3.5777	3.5983	0.5734	0.0004	3.5937	0.1278	0.0000
3.7048	3.7277	0.6134	0.0005	3.7240	0.0984	0.0000
3.8319	3.8543	0.5820	0.0005	3.8509	0.0891	0.0000
3.9622	3.9817	0.4897	0.0004	3.9779	0.0946	0.0000
4.0893	4.1107	0.5206	0.0005	4.1097	0.0235	0.0000
4.2180	4.2370	0.4484	0.0004	4.2318	0.1227	0.0000
4.3467	4.3650	0.4185	0.0003	4.3652	0.0053	0.0000
4.4689	4.4920	0.5150	0.0005	4.4922	0.0045	0.0000
4.5943	4.6183	0.5197	0.0006	4.6191	0.0173	0.0000
4.7296	4.7510	0.4511	0.0005	4.7477	0.0695	0.0000
4.8599	4.8787	0.3847	0.0004	4.8779	0.0150	0.0000
4.9869	5.0077	0.4140	0.0004	5.0032	0.0892	0.0000
	Rata-Rata	1.4884	0.0193	Rata-Rata	0.1737	0.0024

Sapuan Balik						
Potensial Pin A0 Rata-Rata (Volt)	Multimeter Rata-Rata (Volt)	KSR Pembacaan A0 Terhadap Multimeter (%)	RMSE Pembacaan A0 Terhadap Multimeter	Potensial Pin A0 Uji Rata-Rata (Volt)	KSR Pembacaan A0 Uji Terhadap Multimeter (%)	RMSE Pembacaan A0 Uji Terhadap Multimeter
4.9853	5.0077	0.4466	0.0005	5.0082	0.0107	0.0000
4.8567	4.8783	0.4441	0.0005	4.8795	0.0239	0.0000
4.7296	4.7503	0.4372	0.0004	4.7541	0.0793	0.0000
4.6025	4.6230	0.4442	0.0004	4.6254	0.0512	0.0000
4.4737	4.4953	0.4805	0.0005	4.4983	0.0653	0.0000
4.3484	4.3677	0.4419	0.0004	4.3680	0.0076	0.0000
4.2180	4.2377	0.4641	0.0004	4.2393	0.0378	0.0000
4.0876	4.1097	0.5361	0.0005	4.1105	0.0211	0.0000
3.9605	3.9803	0.4974	0.0004	3.9802	0.0042	0.0000
3.8352	3.8533	0.4715	0.0003	3.8532	0.0043	0.0000
3.7064	3.7257	0.5162	0.0004	3.7277	0.0546	0.0000
3.5777	3.5977	0.5550	0.0004	3.6006	0.0815	0.0000
3.4506	3.4697	0.5495	0.0004	3.4686	0.0307	0.0000
3.3220	3.3413	0.5796	0.0004	3.3416	0.0080	0.0000
3.1965	3.2130	0.5135	0.0003	3.2145	0.0467	0.0000
3.0661	3.0857	0.6330	0.0004	3.0858	0.0032	0.0000
2.9390	2.9580	0.6412	0.0004	2.9587	0.0225	0.0000
2.8104	2.8310	0.7277	0.0004	2.8332	0.0777	0.0000
2.6833	2.7043	0.7765	0.0004	2.7062	0.0703	0.0000
2.5546	2.5747	0.7820	0.0004	2.5742	0.0194	0.0000
2.4275	2.4457	0.7442	0.0003	2.4438	0.0750	0.0000
2.2972	2.3171	0.8603	0.0004	2.3152	0.0834	0.0000
2.1701	2.1890	0.8649	0.0004	2.1930	0.1812	0.0000
2.0397	2.0595	0.9598	0.0004	2.0610	0.0728	0.0000
1.9110	1.9307	1.0221	0.0004	1.9339	0.1640	0.0000
1.7840	1.8017	0.9842	0.0003	1.8053	0.1961	0.0000
1.6569	1.6735	0.9900	0.0003	1.6749	0.0857	0.0000
1.5282	1.5449	1.0810	0.0003	1.5478	0.1899	0.0000
1.3994	1.4166	1.2095	0.0003	1.4191	0.1765	0.0000
1.2708	1.2884	1.3635	0.0003	1.2888	0.0336	0.0000
1.1388	1.1571	1.5844	0.0003	1.1601	0.2535	0.0000
1.0133	1.0296	1.5799	0.0003	1.0297	0.0097	0.0000
0.8847	0.9016	1.8708	0.0003	0.9027	0.1257	0.0000
0.7543	0.7725	2.3517	0.0003	0.7723	0.0216	0.0000
0.6272	0.6451	2.7696	0.0003	0.6452	0.0207	0.0000
0.4985	0.5160	3.3852	0.0003	0.5165	0.1034	0.0000
0.3715	0.3889	4.4742	0.0003	0.3895	0.1543	0.0000
0.2428	0.2613	7.0951	0.0003	0.2608	0.2067	0.0000
0.1157	0.1335	13.3453	0.0003	0.1386	3.8108	0.0000
0.0000	0.0304	-		0.0180	-	
	Rata-Rata	1.5250	0.0194	Rata-Rata	0.1714	0.0020

Lampiran 1.3. Data Kalibrasi Pin Analog A0 Terhadap Rangkaian Summing Amplifier

Sapuan Maju				
Potensial PSA Uji (Volt)	Potensial Multimeter Uji Rata-Rata (Volt)	Potensial Summing Amplifier (PSA) Akhir (Volt)	KSR PSA Akhir Terhadap Multimeter Uji (%)	RMSE PSA Akhir Terhadap Multimeter Uji
1.1903	1.1995	1.1933	0.5169	0.0001
1.1338	1.1369	1.1368	0.0044	0.0000
1.0727	1.0754	1.0757	0.0279	0.0000
1.0115	1.0138	1.0145	0.0740	0.0000
0.9503	0.9526	0.9533	0.0787	0.0000
0.8867	0.8904	0.8897	0.0730	0.0000
0.8267	0.8291	0.8297	0.0784	0.0000
0.7643	0.7670	0.7673	0.0456	0.0000
0.7020	0.7053	0.7050	0.0425	0.0000
0.6408	0.6439	0.6438	0.0155	0.0000
0.5761	0.5809	0.5791	0.3013	0.0000
0.5149	0.5190	0.5179	0.2119	0.0000
0.4537	0.4573	0.4567	0.1203	0.0000
0.3925	0.3955	0.3955	0.0126	0.0000
0.3313	0.3336	0.3343	0.2249	0.0000
0.2678	0.2718	0.2708	0.3643	0.0000
0.2066	0.2096	0.2096	0.0167	0.0000
0.1430	0.1471	0.1460	0.7781	0.0000
0.0830	0.0854	0.0860	0.6790	0.0000
0.0207	0.0235	0.0237	0.9477	0.0000
-0.0429	-0.0387	-0.0399	3.1274	0.0000
-0.1041	-0.1011	-0.1011	0.0049	0.0000
-0.1653	-0.1625	-0.1623	0.1384	0.0000
-0.2265	-0.2235	-0.2235	0.0089	0.0000
-0.2876	-0.2850	-0.2846	0.1491	0.0000
-0.3500	-0.3464	-0.3470	0.1877	0.0000
-0.4124	-0.4081	-0.4094	0.3185	0.0000
-0.4736	-0.4696	-0.4706	0.2129	0.0000
-0.5336	-0.5315	-0.5306	0.1599	0.0000
-0.5960	-0.5935	-0.5930	0.0842	0.0000
-0.6571	-0.6549	-0.6541	0.1222	0.0000
-0.7195	-0.7161	-0.7165	0.0628	0.0000
-0.7807	-0.7783	-0.7777	0.0707	0.0000
-0.8419	-0.8401	-0.8389	0.1428	0.0000
-0.9055	-0.9027	-0.9025	0.0277	0.0000
-0.9666	-0.9647	-0.9636	0.1088	0.0000
-1.0290	-1.0261	-1.0260	0.0097	0.0000
-1.0902	-1.0876	-1.0872	0.0322	0.0000
-1.1514	-1.1492	-1.1484	0.0696	0.0000
-1.2149	-1.2118	-1.2119	0.0124	0.0000
		Rata-Rata	0.2416	0.0034

Sapuan Balik				
Potensial PSA Uji (Volt)	Potensial Multimeter Uji Rata-Rata (Volt)	Potensial Summing Amplifier Akhir (Volt)	KSR PSA Akhir Terhadap Multimeter Uji (%)	RMSE PSA Akhir Terhadap Multimeter Uji
-1.2080	-1.2118	-1.2102	0.1273	0.0000
-1.1468	-1.1498	-1.1489	0.0742	0.0000
-1.0857	-1.0884	-1.0878	0.0564	0.0000
-1.0246	-1.0269	-1.0266	0.0268	0.0000
-0.9635	-0.9659	-0.9655	0.0400	0.0000
-0.9012	-0.9040	-0.9031	0.1050	0.0000
-0.8389	-0.8414	-0.8407	0.0726	0.0000
-0.7766	-0.7799	-0.7783	0.1954	0.0000
-0.7155	-0.7176	-0.7172	0.0606	0.0000
-0.6531	-0.6565	-0.6548	0.2661	0.0000
-0.5920	-0.5951	-0.5936	0.2450	0.0000
-0.5309	-0.5329	-0.5324	0.0880	0.0000
-0.4698	-0.4712	-0.4713	0.0148	0.0000
-0.4086	-0.4097	-0.4100	0.0875	0.0000
-0.3452	-0.3479	-0.3465	0.3751	0.0000
-0.2840	-0.2864	-0.2853	0.3723	0.0000
-0.2229	-0.2230	-0.2241	0.4878	0.0000
-0.1618	-0.1640	-0.1630	0.6573	0.0000
-0.0995	-0.1028	-0.1006	2.1120	0.0000
-0.0372	-0.0403	-0.0382	5.0951	0.0000
0.0251	0.0217	0.0241	11.3552	0.0000
0.0851	0.0837	0.0842	0.5976	0.0000
0.1462	0.1454	0.1453	0.0645	0.0000
0.2097	0.2080	0.2089	0.4591	0.0000
0.2708	0.2701	0.2701	0.0016	0.0000
0.3331	0.3320	0.3324	0.1305	0.0000
0.3954	0.3937	0.3948	0.2782	0.0000
0.4565	0.4556	0.4560	0.0782	0.0000
0.5188	0.5175	0.5183	0.1679	0.0000
0.5799	0.5792	0.5795	0.0570	0.0000
0.6446	0.6424	0.6442	0.2871	0.0000
0.7057	0.7037	0.7054	0.2424	0.0000
0.7657	0.7654	0.7654	0.0020	0.0000
0.8279	0.8276	0.8277	0.0215	0.0000
0.8914	0.8890	0.8913	0.2578	0.0000
0.9525	0.9512	0.9525	0.1317	0.0000
1.0137	1.0123	1.0137	0.1397	0.0000
1.0748	1.0739	1.0749	0.0954	0.0000
1.1359	1.1354	1.1360	0.0604	0.0000
1.1923	1.1981	1.1925	0.4680	0.0000
		Rata-Rata	0.2416	0.0034

Lampiran 1. 4. Data Potensial Output Rangkaian *Summing Amplifier*

Waktu (Secon)	Potensial Summing Amplifier Sapuan Maju (Volt)	Waktu (Secon)	Potensial Summing Amplifier Sapuan Balik (Volt)
0	1.1989	240	-1.2024
6	1.1365	246	-1.1407
12	1.0752	252	-1.0794
18	1.0136	258	-1.0180
24	0.9527	264	-0.9571
30	0.8908	270	-0.8957
36	0.8300	276	-0.8332
42	0.7677	282	-0.7718
48	0.7065	288	-0.7095
54	0.6452	294	-0.6486
60	0.5826	300	-0.5875
66	0.5208	306	-0.5258
72	0.4592	312	-0.4645
78	0.3977	318	-0.4030
84	0.3360	324	-0.3417
90	0.2745	330	-0.2806
96	0.2126	336	-0.2192
102	0.1503	342	-0.1585
108	0.0888	348	-0.0977
114	0.0272	354	-0.0355
120	-0.0340	360	0.0265
126	-0.0967	366	0.0881
132	-0.1578	372	0.1496
138	-0.2186	378	0.2118
144	-0.2797	384	0.2735
150	-0.3408	390	0.3351
156	-0.4025	396	0.3968
162	-0.4638	402	0.4583
168	-0.5256	408	0.5198
174	-0.5870	414	0.5813
180	-0.6485	420	0.6443
186	-0.7095	426	0.7055
192	-0.7715	432	0.7668
198	-0.8329	438	0.8286
204	-0.8952	444	0.8897
210	-0.9567	450	0.9517
216	-1.0179	456	1.0127
222	-1.0792	462	1.0739
228	-1.1406	468	1.1351
234	-1.2024	474	1.1976

Lampiran 1.5. Data Kalibrasi Pin Analog A1 Terhadap Potensial Output Rangkaian *Current to Voltage Converter*

Sapuan Maju							
Potensial Pin A1 Rata-Rata (Volt)	Potensial Multimeter Rata-Rata (Volt)	KSR Pin A1 Terhadap Multimeter (%)	RMSE Pin A1 Terhadap Multimeter	Potensial Pin A1 Uji (Volt)	Potensial Multimeter Uji (Volt)	KSR Potensial A1 Uji Terhadap Multimeter Uji (%)	RMSE Potensial A1 Uji Terhadap Multimeter Uji
0.5279	0.5378	1.9564	0.0001	0.5598	0.5417	3.3413	0.0003
0.6109	0.6400	4.6363	0.0008	0.6431	0.6435	0.0622	0.0000
0.7103	0.7402	4.1127	0.0009	0.7410	0.7432	0.2960	0.0000
0.8113	0.8403	3.5200	0.0008	0.8439	0.8430	0.1068	0.0000
0.9107	0.9399	3.1753	0.0009	0.9418	0.9423	0.0531	0.0000
1.0101	1.0412	3.0460	0.0010	1.0447	1.0433	0.1342	0.0000
1.1111	1.1411	2.6602	0.0009	1.1377	1.1429	0.4550	0.0000
1.2121	1.2423	2.4624	0.0009	1.2454	1.2439	0.1206	0.0000
1.3115	1.3427	2.3503	0.0010	1.3434	1.3440	0.0446	0.0000
1.4125	1.4426	2.1204	0.0009	1.4413	1.4434	0.1455	0.0000
1.5152	1.5454	1.9796	0.0009	1.5442	1.5461	0.1229	0.0000
1.6162	1.6460	1.8304	0.0009	1.6470	1.6463	0.0425	0.0000
1.7155	1.7466	1.7918	0.0010	1.7450	1.7465	0.0859	0.0000
1.8166	1.8475	1.6850	0.0010	1.8478	1.8470	0.0433	0.0000
1.9159	1.9479	1.6579	0.0010	1.9458	1.9472	0.0719	0.0000
2.0170	2.0489	1.5682	0.0010	2.0437	2.0479	0.2051	0.0000
2.1163	2.1501	1.5766	0.0011	2.1466	2.1487	0.0977	0.0000
2.2190	2.2515	1.4522	0.0011	2.2494	2.2499	0.0222	0.0000
2.3167	2.3520	1.5092	0.0012	2.3473	2.3501	0.1191	0.0000
2.4194	2.4527	1.3617	0.0011	2.4453	2.4505	0.2122	0.0000
2.5204	2.5538	1.3169	0.0011	2.5481	2.5514	0.1293	0.0000
2.6197	2.6554	1.3519	0.0013	2.6510	2.6527	0.0641	0.0000
2.7224	2.7549	1.1797	0.0011	2.7489	2.7520	0.1126	0.0000
2.8217	2.8543	1.1479	0.0011	2.8469	2.8510	0.1438	0.0000
2.9195	2.9543	1.1802	0.0012	2.9448	2.9504	0.1898	0.0000
3.0205	3.0542	1.1034	0.0011	3.0526	3.0506	0.0656	0.0000
3.1232	3.1540	0.9765	0.0009	3.1505	3.1500	0.0159	0.0000
3.2225	3.2543	0.9670	0.0010	3.2485	3.2500	0.0462	0.0000
3.3236	3.3550	0.9359	0.0010	3.3513	3.3500	0.0388	0.0000
3.4213	3.4560	1.0041	0.0012	3.4542	3.4510	0.0927	0.0000
3.5239	3.5557	0.9027	0.0010	3.5472	3.5510	0.1070	0.0000
3.6217	3.6550	0.9111	0.0011	3.6500	3.6500	0.0000	0.0000
3.7243	3.7570	0.8440	0.0011	3.7480	3.7510	0.0800	0.0000

3.8237	3.8570	0.8625	0.0011	3.8508	3.8510	0.0052	0.0000
3.9231	3.9593	0.9076	0.0013	3.9537	3.9530	0.0177	0.0000
4.0258	4.0597	0.8188	0.0011	4.0516	4.0530	0.0345	0.0000
4.1251	4.1590	0.8151	0.0011	4.1545	4.1540	0.0120	0.0000
4.2245	4.2597	0.8093	0.0012	4.2524	4.2540	0.0376	0.0000
4.3239	4.3597	0.8060	0.0013	4.3553	4.3540	0.0299	0.0000
4.4266	4.4610	0.7719	0.0012	4.4532	4.4550	0.0404	0.0000
	Rata-Rata	1.6516	0.0321		Rata-Rata	0.1761	0.0037

Sapuan Balik							
Potensial Pin A1 Rata-Rata (Volt)	Potensial Multimeter Rata-Rata (Volt)	KSR Pin A1 Terhadap Multimeter (%)	RMSE Pin A1 Terhadap Multimeter	Potensial Pin A1 Uji (Volt)	Potensial Multimeter Uji (Volt)	KSR Potensial A1 Uji Terhadap Multimeter Uji (%)	RMSE Potensial A1 Uji Terhadap Multimeter Uji
4.4379	4.4610	0.5178	0.0005	4.4429	4.4550	0.2716	0.0001
4.3500	4.3607	0.2446	0.0001	4.3548	4.3540	0.0184	0.0000
4.2522	4.2607	0.1987	0.0001	4.2568	4.2540	0.0658	0.0000
4.1512	4.1607	0.2275	0.0001	4.1540	4.1550	0.0241	0.0000
4.0518	4.0607	0.2184	0.0001	4.0560	4.0560	0.0000	0.0000
3.9525	3.9603	0.1986	0.0001	3.9532	3.9560	0.0708	0.0000
3.8498	3.8583	0.2220	0.0001	3.8552	3.8540	0.0311	0.0000
3.7472	3.7577	0.2794	0.0001	3.7524	3.7540	0.0426	0.0000
3.6461	3.6567	0.2890	0.0001	3.6495	3.6530	0.0958	0.0000
3.5500	3.5570	0.1959	0.0000	3.5516	3.5540	0.0675	0.0000
3.4490	3.4570	0.2324	0.0001	3.4536	3.4540	0.0116	0.0000
3.3480	3.3560	0.2384	0.0001	3.3557	3.3530	0.0805	0.0000
3.2502	3.2890	1.1797	0.0015	3.2528	3.2530	0.0061	0.0000
3.1476	3.1557	0.2556	0.0001	3.1500	3.1530	0.0951	0.0000
3.0466	3.0547	0.2630	0.0001	3.0521	3.0530	0.0295	0.0000
2.9456	2.9547	0.3080	0.0001	2.9492	2.9530	0.1287	0.0000
2.8462	2.8550	0.3071	0.0001	2.8513	2.8530	0.0596	0.0000
2.7468	2.7559	0.3314	0.0001	2.7484	2.7546	0.2251	0.0000
2.6491	2.6563	0.2698	0.0001	2.6505	2.6551	0.1733	0.0000
2.5464	2.5547	0.3236	0.0001	2.5525	2.5541	0.0626	0.0000
2.4438	2.4536	0.3981	0.0001	2.4546	2.4530	0.0652	0.0000
2.3444	2.3529	0.3598	0.0001	2.3517	2.3524	0.0298	0.0000
2.2434	2.2523	0.3966	0.0001	2.2489	2.2522	0.1465	0.0000
2.1424	2.1508	0.3890	0.0001	2.1509	2.1509	0.0000	0.0000
2.0446	2.0498	0.2504	0.0000	2.0481	2.0503	0.1073	0.0000

1.9420	1.9487	0.3404	0.0000	1.9501	1.9495	0.0308	0.0000
1.8426	1.8484	0.3120	0.0000	1.8473	1.8491	0.0973	0.0000
1.7416	1.7475	0.3338	0.0000	1.7494	1.7485	0.0515	0.0000
1.6406	1.6468	0.3785	0.0000	1.6465	1.6481	0.0971	0.0000
1.5429	1.5462	0.2156	0.0000	1.5437	1.5478	0.2649	0.0000
1.4370	1.4434	0.4411	0.0000	1.4408	1.4453	0.3114	0.0000
1.3392	1.3434	0.3126	0.0000	1.3478	1.3455	0.1709	0.0000
1.2398	1.2431	0.2681	0.0000	1.2449	1.2454	0.0401	0.0000
1.1388	1.1419	0.2744	0.0000	1.1421	1.1445	0.2097	0.0000
1.0395	1.0420	0.2399	0.0000	1.0441	1.0448	0.0670	0.0000
0.9368	0.9407	0.4146	0.0000	0.9462	0.9438	0.2543	0.0000
0.8407	0.8410	0.0357	0.0000	0.8433	0.8444	0.1303	0.0000
0.7331	0.7408	1.0394	0.0001	0.7454	0.7444	0.1343	0.0000
0.6370	0.6406	0.5568	0.0000	0.6377	0.6445	1.0551	0.0000
0.5343	0.5383	0.7369	0.0000	0.5397	0.5424	0.4978	0.0000
	Rata-Rata	0.3499	0.0101		Rata-Rata	0.1330	0.0032

**Lampiran 1.6. Kalibrasi Pin Analog A1 Terhadap Arus Rangkaian
Current to Voltage Converter**

Sapuan Maju			
Arus Multimeter (mA)	Arus Pin A1 (mA)	KSR Arus Pin A1 Terhadap Arus Multimeter (%)	RMSE Arus Pin A1 Terhadap Arus Multimeter
3.9183	3.8822	0.9224	0.0013
3.7151	3.7159	0.0215	0.0000
3.5160	3.5204	0.1249	0.0000
3.3167	3.3149	0.0542	0.0000
3.1184	3.1194	0.0320	0.0000
2.9167	2.9139	0.0958	0.0000
2.7179	2.7282	0.3820	0.0001
2.5162	2.5132	0.1190	0.0000
2.3163	2.3175	0.0517	0.0000
2.1178	2.1220	0.1980	0.0000
1.9127	1.9165	0.1984	0.0000
1.7127	1.7113	0.0816	0.0000
1.5126	1.5156	0.1980	0.0000
1.3119	1.3103	0.1218	0.0000
1.1118	1.1146	0.2514	0.0000
0.9107	0.9191	0.9209	0.0001
0.7095	0.7137	0.5910	0.0000
0.5074	0.5084	0.1968	0.0000

0.3073	0.3129	1.8194	0.0000
0.1068	0.1172	9.7196	0.0001
-0.0946	-0.0881	6.9620	0.0000
-0.2969	-0.2935	1.1432	0.0000
-0.4952	-0.4890	1.2500	0.0000
-0.6929	-0.6847	1.1816	0.0001
-0.8914	-0.8802	1.2545	0.0001
-1.0915	-1.0954	0.3659	0.0000
-1.2899	-1.2909	0.0774	0.0000
-1.4896	-1.4866	0.2011	0.0000
-1.6893	-1.6919	0.1537	0.0000
-1.8910	-1.8974	0.3379	0.0000
-2.0907	-2.0831	0.3629	0.0001
-2.2883	-2.2883	0.0000	0.0000
-2.4900	-2.4840	0.2406	0.0000
-2.6897	-2.6893	0.0148	0.0000
-2.8934	-2.8948	0.0483	0.0000
-3.0931	-3.0903	0.0904	0.0000
-3.2947	-3.2957	0.0303	0.0000
-3.4944	-3.4912	0.0914	0.0000
-3.6941	-3.6967	0.0703	0.0000
-3.8958	-3.8922	0.0923	0.0000
	Rata-Rata	0.7517	0.0075

Sapuan Balik			
Arus Multimeter (mA)	Arus Pin A1 (mA)	KSR Arus Pin A1 Terhadap Arus Multimeter (%)	RMSE Arus Pin A1 Terhadap Arus Multimeter
-3.8958	-3.8716	0.6202	0.0006
-3.6941	-3.6957	0.0432	0.0000
-3.4944	-3.5000	0.1600	0.0000
-3.2967	-3.2947	0.0606	0.0000
-3.0990	-3.0990	0.0000	0.0000
-2.8994	-2.8938	0.1928	0.0000
-2.6957	-2.6981	0.0889	0.0000
-2.4960	-2.4928	0.1280	0.0000
-2.2943	-2.2873	0.3046	0.0000
-2.0966	-2.0919	0.2286	0.0000
-1.8970	-1.8962	0.0421	0.0000
-1.6953	-1.7007	0.3180	0.0000
-1.4956	-1.4952	0.0267	0.0000
-1.2959	-1.2899	0.4622	0.0000
-1.0962	-1.0944	0.1639	0.0000

-0.8966	-0.8890	0.8463	0.0001
-0.6969	-0.6935	0.4871	0.0000
-0.5004	-0.4880	2.4741	0.0002
-0.3017	-0.2925	3.0443	0.0001
-0.1000	-0.0968	3.1936	0.0000
0.1018	0.0986	3.1373	0.0000
0.3027	0.3041	0.4617	0.0000
0.5028	0.5094	1.3106	0.0000
0.7051	0.7051	0.0000	0.0000
0.9060	0.9103	0.4849	0.0000
1.1072	1.1060	0.1082	0.0000
1.3077	1.3113	0.2749	0.0000
1.5086	1.5068	0.1191	0.0000
1.7091	1.7123	0.1869	0.0000
1.9093	1.9175	0.4288	0.0001
2.1140	2.1230	0.4250	0.0001
2.3133	2.3087	0.1985	0.0000
2.5132	2.5142	0.0397	0.0000
2.7147	2.7194	0.1765	0.0000
2.9137	2.9151	0.0480	0.0000
3.1154	3.1106	0.1538	0.0000
3.3139	3.3161	0.0663	0.0000
3.5136	3.5116	0.0568	0.0000
3.7131	3.7266	0.3657	0.0002
3.9169	3.9223	0.1376	0.0000
	Rata-Rata	0.5266	0.0065

Lampiran 2. Koding Arduino

```
#include <LiquidCrystal.h>
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_MCP4725.h>
Adafruit_MCP4725 dac; // constructor

// Inisiasi pin //
const int voltsIn1 = A0; // pin input pembacaan
tegangannya
const int voltsIn2 = A1; // pin input pembacaan
arus

// Inisiasi LCD
const int numRows = 2; // Baris LCD
const int numCols = 16; // Kolom LCD
LiquidCrystal lcd(2,3,4,5,6,7);

// Inisiasi
int dac_value;
float adcValueRead1;
float adcValueRead2;
float voltageRead1;
float voltageRead2;
float currentRead;
float expectedVoltage;
int start = 0;
int reset = 0;
int kondisi = 0;
int circle = 0;
String fromAndroid;
int berhenti = 0;
int voltadaca = 0;
int current = 0;

// Inisiasi Pengaturan Potensiostat
int vevals;
int cycle;
float voltstart;
float voltmax;
float voltmin;
float input0;
float input1;
float input2;
int bit0;
int bit1;
int bit2;
int intervalos;

int y;
int kondisi2 = 0;

void setup(void) {
  Serial.begin(9600);
  dac.begin(0x60);

  lcd.begin(numCols, numRows);
  Serial.println("CLEARDATA");
  Serial.println("LABEL,Computer
Time,Expct_Val,ADC_Volt,ADC_Crnt");
}

void android1(void){
// // Start Loop
  lcd.setCursor(2, 0);
  lcd.print("POTENTIOSTAT");
  lcd.setCursor(7, 1);
  lcd.print("ARDUINO");
  delay(3000);
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(4, 0);
  lcd.print("MASUKKAN");
  lcd.setCursor(3, 1);
  lcd.print("PENGATURAN");

  while (berhenti == 0){
    if(Serial.available()>0)
    {
      fromAndroid = Serial.readString();

      if(fromAndroid.startsWith("vevals")){
        fromAndroid.replace("vevals", "");
        vevals = (fromAndroid.toInt());
        kondisi = kondisi+1;
        // Serial.println(vevals);
      }
      else if(fromAndroid.startsWith("cycle")){
        fromAndroid.replace("cycle", "");
        cycle = (fromAndroid.toInt());
        kondisi = kondisi+1;
        // Serial.println(cycle);
      }
      else if(fromAndroid.startsWith("voltstart")){
        fromAndroid.replace("voltstart", "");
        voltstart = (fromAndroid.toFloat());
        kondisi = kondisi+1;
        // Serial.println(voltstart);
      }
      else if(fromAndroid.startsWith("voltmax")){
        fromAndroid.replace("voltmax", "");
        voltmax = (fromAndroid.toFloat());
        kondisi = kondisi+1;
        // Serial.println(voltmax);
      }
      else if(fromAndroid.startsWith("voltmin")){
        fromAndroid.replace("voltmin", "");
        voltmin = (fromAndroid.toFloat());
        kondisi = kondisi+1;
        // Serial.println(voltmin);
      }
    }
  }
}
```

```

    }
}

if(kondisi == 5){
    berhenti = 1;
}
}
// End Loop
lcd.clear();
for (y==0; y<4; y++){
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Start(V) :");lcd.print(voltstart);
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("Max(V)  :");lcd.print(voltmax);
    delay(1000);
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Min(V)  :");lcd.print(voltmin);
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("Scan(mV/s):");lcd.print(voltmax);
    delay(1000);
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Cycle  :");lcd.print(voltmin);
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("VStart(V) :");lcd.print(voltstart);
    delay(1000);
    lcd.clear();
}
lcd.clear();
lcd.setCursor(2, 0);
lcd.print("TEKAN TOMBOL");
lcd.setCursor(6, 1);
lcd.print("START");
// Serial.println("OKE");
}

void pengujian(void){
    Serial.println("OKE");

// Perhitungan DAC Value //
input0 = abs(2.5 - (voltstart*500/240));
input1 = abs(2.5 - (voltmax*500/240));
input2 = abs(2.5 - (voltmin*500/240));
bit0 = round(input0*819); // Bit Start
bit1 = round(input1*819); // Bit Max
bit2 = round(input2*819); // Bit Min

    intervalos =
round(1000000L/((vevals)*11374.9999L)); //
Mengitung delay sesuai scan rate //

for (circle = 0; circle < cycle ; circle++){
    dac_value = 0;
    adcValueRead1 = 0;

    adcValueRead2 = 0;
    voltageRead1 = 0;
    voltageRead2 = 0;
    currentRead = 0;
    expectedVoltage = 0;
    voltdacsa = 0;
    current = 0;

// Forward Scan
for (dac_value = bit0; dac_value < bit2;
dac_value+=15){
    // Pemberian Tegangan Dengan DAC
    dac.setVoltage(dac_value, false);

    // Pembacaan tegangan dan arus
    expectedVoltage = (5.0/4095.0) * dac_value;
    adcValueRead1 = analogRead(voltsIn1);
    adcValueRead2 = analogRead(voltsIn2);

    voltageRead1 = (0.999*((adcValueRead1 * 5.0
)/ 1023.0))+0.018; // Pembacaan A0
    voltageRead2 = (1.002*((adcValueRead2 * 5.0
)/ 1023.0) + 0.026); // Pembacaan A1
    voltdacsa = (1.000*((-0.482*voltageRead1) +
1.199)) + 0.003;
    current = (0.005-(voltageRead2/500.8))*1000;

// Tampilan Hasil Pada LCD
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Volt(V)=");
    lcd.setCursor(9, 0);
    lcd.print(voltdacsa,4);

    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("Cur(mA)=");
    lcd.setCursor(9, 1);
    lcd.print(current,4);

//Tampilan Hasil Pada Serial Monitor
    Serial.print ("HASIL| ");
    Serial.print(voltdacsa,4);
    Serial.print ("|");
    Serial.print(current,4);
    Serial.println ();
    delay(intervalos);
}

// Reverse scan
for (dac_value = bit2; dac_value >=bit1;
dac_value-=15){
    // Pemberian Tegangan Dengan DAC
    dac.setVoltage(dac_value, false);

    // Pembacaan tegangan dan arus

```

```

expectedVoltage = (5.0/4095.0) * dac_value;
adcValueRead1 = analogRead(voltsIn1);
adcValueRead2 = analogRead(voltsIn2);

voltageRead1 = (1.000*((adcValueRead1 * 5.0
)/ 1023.0))+ 0.018; // Pembacaan A0
voltageRead2 = (1.002*((adcValueRead2 * 5.0
)/ 1023.0) + 0.001); // Pembacaan A1
voltdacsa = (1.001*((-0.481*voltageRead1) +
1.201)) - 0.001;
current = (0.005-(voltageRead2/500.8))*1000;

// Tampilan Hasil Pada LCD
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print("Volt(V)=");
lcd.setCursor(9, 0);
lcd.print(voltdacsa,4);

lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print("Cur(mA)=");
lcd.setCursor(9, 1);
lcd.print(current,4);

//Tampilan Hasil Pada Serial Monitor
Serial.print ("HASIL| ");
Serial.print(voltdacsa,4);
Serial.print ("|");
Serial.print(current,4);
Serial.println ();
delay(intervalos);
}
}
cycle = 0;
}

void loop(void){
  android1();
  kondisi2 = 0;
  while (kondisi2 == 0){
    if(Serial.available(>0){
      fromAndroid = Serial.readString();
      if(fromAndroid == "ON" and kondisi == 5){
        lcd.clear();
        pengujian();
        kondisi = 0;
        berhenti = 0;
      }

      else if(fromAndroid == "RESET"){
        lcd.clear();
        int vevals;
        int cycle;
        int voltstart;
        int voltmax;
        int voltmin;
        String fromAndroid;
        kondisi = 0;
        kondisi2 = 1;
        berhenti = 0;
        y = 0;
        // Serial.println("OKE");
      }
    }
  }
  else{
    delay(100);
  }
}
}

```

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



Dimas Syafindra merupakan anak ke-3 dari Ibu Irni Yefi dan Bapak Syafruddin Bagindo yang lahir di Denpasar, 30 April 1994.

Pendidikan formal dimulai dari SD Muhammadiyah 3 Denpasar (2000 – 2004) dan melanjutkannya di SDN Cempaka Putih Barat 18 Pagi (2004 – 2006), SMPN 77 Jakarta (2006 – 2009), SMAN 30 Jakarta (2009 – 2012) dan Program Studi Fisika FMIPA Universitas Negeri Jakarta (September 2013 – Agustus 2017).

Semasa kuliah pernah menjadi asisten laboratorium Fisika Modern, peserta Olimpiade Sains Nasional-Pertamina tahun 2014 dan 2015 dan menjadi pemakalah di Simposium Nasional Ilmu Pembelajaran dan Sains (SNIPS) 2017 dalam bidang instrumentasi di Institut Teknologi Bandung. Pernah bekerjasama dengan Pusat Citra Radar Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) untuk melaksanakan Praktik Kerja Lapangan pada tahun 2016.

Di luar bidang akademik, penulis pernah aktif dalam organisasi BEM Jurusan Fisika UNJ sebagai staf Biro Perekonomian dan Investasi (Perkoin) 2014-2015, menjadi anggota Perkap untuk acara Pekan Ilmiah Fisika 2015, Menjadi Koordinator Danus Anjangsana 2015, dan Menjadi Koordinator Danus untuk acara Entrepreneur Seminar and Competition (ESC) 2016.