

# Rancang Bangun Sistem Potensiostat Menggunakan Arduino Uno

Dimas Syafindra<sup>a)</sup>, Esmar Budi<sup>b)</sup>, Iwan Sugihartono<sup>c)</sup>

Program Studi Fisika, FMIPA, UNJ, Jl. Jl.Rawamangun Muka, Jakarta Timur, 13220

<sup>a)</sup> go.syafindra@gmail.com,

<sup>b)</sup> esmarbudi@unj.ac.id,

<sup>c)</sup> isugihar@hotmail.com

## Abstrak

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. 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-kata kunci:* Mikrokontroler, Potensiostat

## PENDAHULUAN

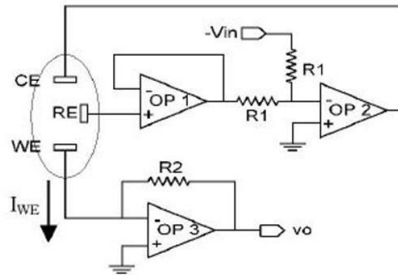
Saat ini terdapat beberapa sensor yang tersedia di pasaran yang digunakan dalam proses pengujian elektrokimia. Salah satu dari sensor tersebut yaitu potensiostat. Proses pengujian elektrokimia untuk analisis (elektroanalisis) memerlukan potensiostat yang digunakan untuk mengatur potensial listrik dan mengukur arus listrik pada sel elektrokimia [3,7]. Potensiostat merupakan suatu rangkaian sederhana yang tersusun atas beberapa resistor, kapasitor, dan penguat operasional atau Op-Amp [6]. Pada pengaplikasiannya potensiostat dapat digunakan untuk mengontrol kualitas makanan dan obat-obatan, sensor biologi dan sensor kimia [7], dalam bidang material seperti analisis korosi dan analisis sifat-sifat material [5], dan dalam keperluan medis seperti identifikasi DNA, perekaman syaraf, klasifikasi protein, dan mendeteksi variasi pH dengan mendeteksi data dalam bentuk potensial dan arus [1].

Ketersediaan 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 [5] 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.

## Konsep Dasar Potensiostat

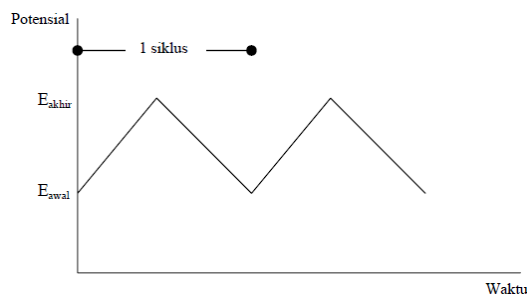
Secara khusus, pengujian elektrokimia memerlukan suatu rangkaian elektronika yang dinamakan potensiostat [4]. Potensiostat merupakan instrumen yang dapat digunakan untuk mengukur arus yang melewati pasangan elektroda kerja dan elektroda bantu dan selalu menjaga keseimbangan beda potensial antara elektroda kerja dan elektroda pembanding [3]. Potensiostat menerapkan kontrol dengan menyuntikkan arus kedalam sel elektrokimia melalui elektroda bantu [1].

Potensiostat memberi potensial dan merekam respons arus yang merupakan karakteristik dari sampel uji. Dalam banyak percobaan, elektroda kerja yang biasanya digunakan yaitu bahan inert seperti platinum, grafit, emas atau *glassy carbon* [5]. Sedangkan elektroda pembanding yang biasa digunakan yaitu elektroda Ag/AgCl dan elektroda kalomel [5]. Dan elektroda bantu yang biasanya digunakan yaitu terbuat dari bahan inert seperti platinum, aurum, grafit dan *glassy carbon* [1], tapi juga dapat digunakan logam yang sama dengan elektroda kerjanya [2].



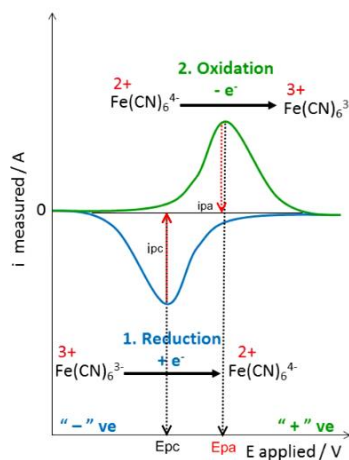
Gambar 1. Konfigurasi dasar dari potensiostat.

Potensiostat digunakan oleh beberapa teknik elektroanalisis, salah satunya ialah *cyclic voltammetry* (CV). Voltametri siklik merupakan teknik yang banyak digunakan untuk mendapatkan informasi tentang reaksi elektrokimia [8]. 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. Larutan elektrolit yang semula dioksidasi pada sapuan potensial maju (*forward scan*) akan direduksi setelah sapuan potensial balik (*reverse scan*). Siklus ini akan berulang-ulang dan harus dicatat sebagai fungsi waktu. Ilustrasi tentang teknik voltametri siklik ini dapat dilihat pada Gambar 2 dibawah ini.



Gambar 2. Sinyal eksitasi voltametri siklik.

Hasil dari voltametri siklik ini adalah hubungan antara arus dan potensial disebut voltammogram siklik seperti Gambar 3 dibawah ini.

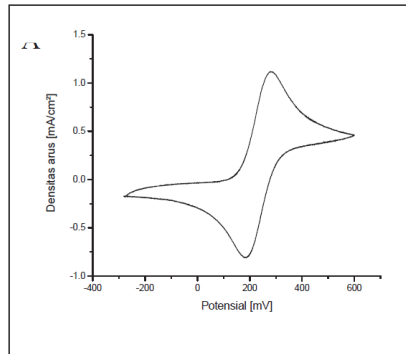


Gambar 1. Voltammogram siklik ferrocyanida sebagai larutan elektrolit.

dimana  $E_{pa}$  merupakan potensial pada saat terbentuknya *peak anodic*,  $E_{pc}$  merupakan potensial pada saat terbentuknya *peak cathodic*,  $I_{pa}$  merupakan arus pada saat terbentuknya *peak anodic*, dan  $I_{pc}$  merupakan 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:

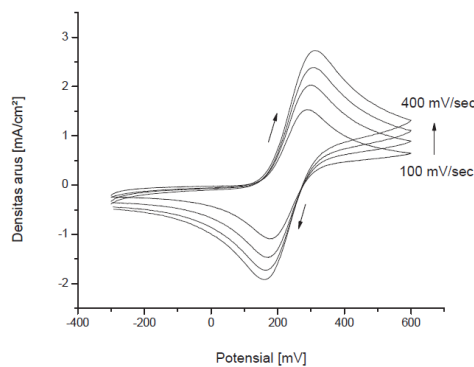
$$I_p = (2,69 \times 10^5) n^2 A C D^{\frac{1}{2}} v^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

dimana  $I_p$  merupakan arus puncak,  $n$  merupakan jumlah elektron yang terlibat dalam reaksi,  $A$  merupakan luas efektif permukaan elektroda ( $cm^2$ ),  $C$  merupakan konsentrasi ( $mol/cm^3$ ),  $D$  merupakan koefisien difusi ( $cm^2/s$ ), dan  $V$  merupakan laju potensial atau *scan rate* (V/s). Satu kasus yang selalu digunakan dalam penelitian dan pengajaran voltametri yaitu penggunaan ferrocyanida dalam elektrolit  $KNO_3$  [8]. Voltammogram yang dihasilkan adalah voltammogram dapat berbalik (*reversible*). Voltammogram ferrocyanida dalam  $KNO_3$  ditunjukkan dalam Gambar 4. Untuk menghindari pembentukan HCN pada larutan biasanya ditambahkan sodium hidroksida (NaOH) [5].



Gambar 2. Voltammogram 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

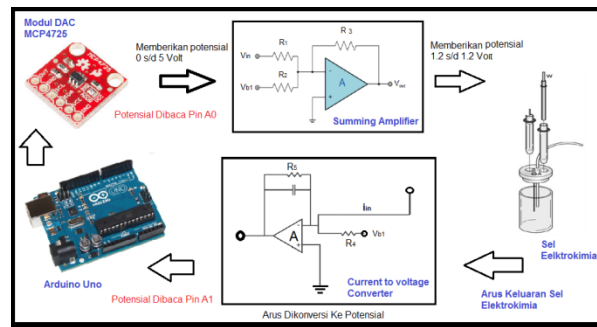
Besarnya potensial puncak yang dihasilkan dipengaruhi oleh kinetika transfer elektron. Jika kinetika transfer elektron berlangsung lambat maka besarnya pemisahan potensial puncak akan lebih besar dan akan meningkat sesuai dengan peningkatan *scan rate* (lihat Gambar 5). Apabila potensial puncak yang 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 3. Voltammogram 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.

## METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah eksperimen dan pengembangan. Untuk memberikan gambaran tentang penelitian ini akan ditampilkan skema inti rangkaian potensiostat.



Gambar 6. Skema rancang bangun sistem potensiostat menggunakan Arduino Uno Potensiostat

Proses awal dilakukan pengujian dan kalibrasi terhadap alat ukur, komponen serta rangkaian yang digunakan. 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 larutan 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 CVC oleh pin analog A1 Arduino selanjutnya akan diubah ke nilai arus listrik.

Proses akhir yaitu pengujian keseluruhan rancang bangun sistem potensiostat ini dengan menggunakan larutan elektrolit pada sel elektrokimia dengan metode *cyclic voltammetry*. Pengujian ini menggunakan bahan yang terdiri atas campuran *potassium ferricyanide* dengan konsentrasi 10 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 mm<sup>2</sup> sedangkan untuk elektroda referensi menggunakan AgCl. Ketiga elektroda dicelupkan kedalam larutan sedalam 5 mm. Maka didapatkan luas area elektroda kerja sebesar 0.4 mm<sup>3</sup>. Pada pengujian ini digunakan variasi *scan rates* terhadap masing-masing larutan elektrolit. *Scan rates* merupakan kecepatan pemberian potensial tiap satuan waktu [2]. 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 [8].

## HASIL DAN PEMBAHASAN

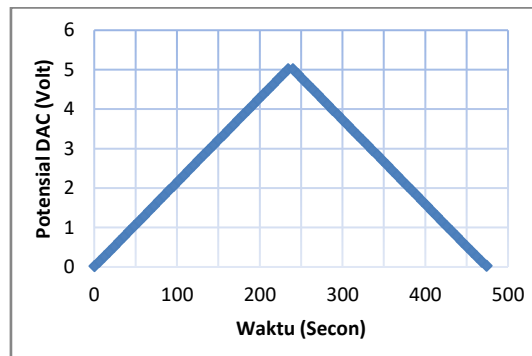
### Potensial Output Modul DAC MCP4725

Dikarenakan Arduino Uno tidak memiliki pin DAC (*digital to analog converter*) internal maka digunakanlah modul DAC MCP4725 yang dapat mengubah sinyal PWM (*pulse width modulation*) yang dimiliki Arduino ke sinyal Analog sehingga dapat digunakan untuk dalam pengujian elektrokimia. Berdasarkan *datasheet* diketahui bahwa rentang potensial yang dapat diberikan Modul DAC MCP4725 adalah antara 0 s/d 5 Volt dengan resolusi (12 bit = 4095 nilai potensial diskrit) dapat dicari melalui persamaan sebagai berikut:

$$\frac{5 \text{ Volt}}{4095} = 0.00122 \text{ Volt} \quad (2)$$

Untuk mengetahui besar potensial *output* Modul DAC MCP4725 sebenarnya maka dilakukan proses pengukuran. Modul DAC MCP4725 yang telah terkoneksi dengan Arduino memberikan nilai potensial *output* secara sapuan maju dan sapuan balik (*forward* dan *reverse scan*) yang selanjutnya nilai potensial tersebut diukur menggunakan multimeter Metra Hit 25S sebanyak 3 kali pengukuran. Berdasarkan hasil pengukuran didapatkan grafik hubungan antara nilai potensial

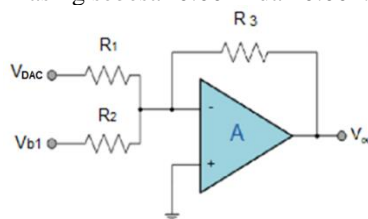
output modul DAC MCP4725 rata-rata terhadap waktu sapuan (*scan*) (Gambar 7). Berdasarkan grafik tersebut besar rentang potensial output modul DAC MCP4725 yaitu antara 0.0213 V s/d 5.0077 V.



Gambar 7. Grafik hubungan potensial output Modul DAC MCP4725 saat sapuan maju dan sapuan balik terhadap waktu sapuan (*scan*).

### Kalibrasi Pin Analog A0 Arduino dan Rangkaian *Summing Amplifier*

Untuk mengetahui kemampuan alat ukur rancang bangun sistem potensiostat dalam pembacaan potensial sel elektrokimia, dalam hal ini yaitu pin analog A0 Arduino, maka dilakukanlah proses kalibrasi. Proses kalibrasi ini membandingkan nilai pengukuran potensial output modul DAC MCP4725 oleh pin analog A0 terhadap Multimeter. Potensial output diberikan secara sapuan maju dan sapuan balik (*forward* dan *reverse scan*). Nilai potensial output tersebut selanjutnya diukur menggunakan pin analog A0 dan multimeter sebanyak 3 kali pengukuran. Hasil pengukuran kedua alat ukur tersebut kemudian dibandingkan. Berdasarkan perbandingan tersebut didapatkan kesalahan relatif rata-rata pengukuran potensial output modul DAC MCP4725 oleh 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 (*root mean square*) saat sapuan maju dan balik masing-masing sebesar 0.0024 dan 0.002.



Gambar 8. Rangkaian *summing amplifier*

Pada perancangan potensiostat ini Penulis tertarik menggunakan variasi potensial positif dan negatif. Untuk menghasilkan nilai potensial tersebut, potensial output modul DAC MCP4725 diubah menggunakan rangkaian *summing amplifier*. Potensial output pada rangkaian *summing amplifier* (lihat Tabel 1 dan Gambar 9) ini yang nantinya dapat diterapkan pada sel elektrokimia saat proses pengujian elektrokimia berlangsung.

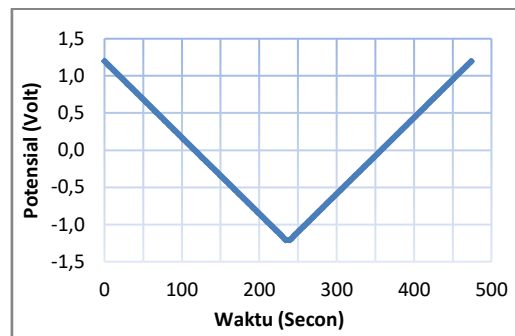
Dikarenakan pin Analog Arduino tidak dapat mengukur potensial negatif maka untuk menyiasatinya digunakanlah fungsi korelasi yang didapatkan dari grafik hubungan antara hasil pengukuran potensial output modul DAC MCP4725 oleh pin Analog A0 dengan pengukuran potensial output rangkaian *summing amplifier* oleh multimeter. Fungsi tersebut selanjutnya dimasukkan kedalam program Arduino.

Proses selanjutnya yaitu pengujian pin Analog A0 terhadap pembacaan potensial output rangkaian *summing amplifier*. Pada pengujian tersebut 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. Untuk penelitian selanjutnya diharapkan dapat menggunakan OP-Amp yang mampu meredam noise sehingga hasil pengukuran tidak berbeda jauh dari nilai aktualnya.

Tabel 1. 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 9. Rentang keluaran rangkaian *summing amplifier* saat pemberian potensial maju dan balik terhadap lama waktu *scan* pemberian potensial.

### Kalibrasi Pin Analog A1 Arduino

Dalam pembacaan arus listrik yang terbentuk pada saat pengujian elektrokimia berlangsung maka digunakan Pin Analog A0 Arduino. Dikarenakan pin Analog Arduino hanya dapat membaca nilai potensial maka arus listrik yang terbentuk tersebut sebelumnya dirubah ke nilai potensial melalui rangkaian *current to voltage converter* (CVC). Untuk menguji kemampuan pin Analog A0 dalam pembacaan potensial *output* rangkaian CVC maka dilakukanlah proses kalibrasi. Proses kalibrasi yang dilakukan yaitu membandingkan hasil pengukuran oleh pin Analog A0 terhadap pengukuran oleh multimeter. Agar rangkaian CVC menghasilkan arus listrik maka digunakan resistor dengan resistansi  $300 \text{ Ohm} \pm 0.1\%$  yang dihubungkan ke 3 pin elektroda yaitu elektroda kerja (*working electrode*), elektroda referensi (*reference electrode*), dan elektroda bantu (*counter electrode*). Proses kalibrasi dilakukan sebanyak 3 kali penukaran. Dari kalibrasi tersebut didapatkan kesalahan relatif pengukuran potensial *output* rangkaian CVC rata-rata oleh pin analog A1 terhadap multimeter ketika sapuan maju dan sapuan balik masing-masing sebesar 0.176% dan 0.1330%. Sedangkan nilai RMSE saat sapuan maju dan sapuan balik sebesar 0.0037 dan 0.0032.

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

$$V_{CVC} = -R_5 \times \left( i_{in} + \frac{V_{b1}}{R_4} \right) \quad (3)$$

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

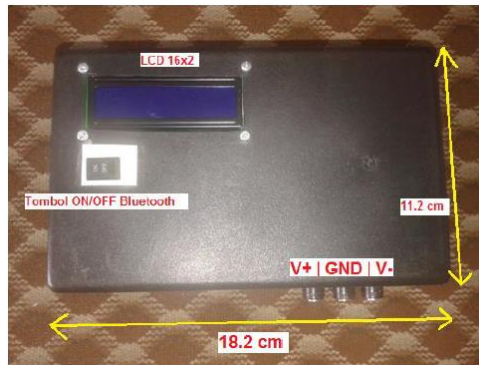
$$i_{in} = -\frac{V_{b1}}{R_4} - \frac{V_{CVC}}{R_5} = 0.005 - \frac{(0 \text{ s/d } 5 \text{ Volt})}{500.8} \quad (4)$$

Melalui persamaan (4.11) tersebut didapatkan nilai arus keluaran sel elektrokimia dengan memasukkan nilai pengukuran potensial *output* rangkaian CVC ( $V_{CVC}$ ) oleh pin Analog A1 dan Multimeter kedalam persamaan. Kedua hasil pengukuran alat-alat ukur tersebut 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) kedalam program Arduino. Melalui persamaan (4), 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.

### Perancangan Perangkat Keras

Proses perancangan perangkat keras dilakukan bertujuan untuk menyatukan seluruh komponen yang digunakan dalam rancang 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*

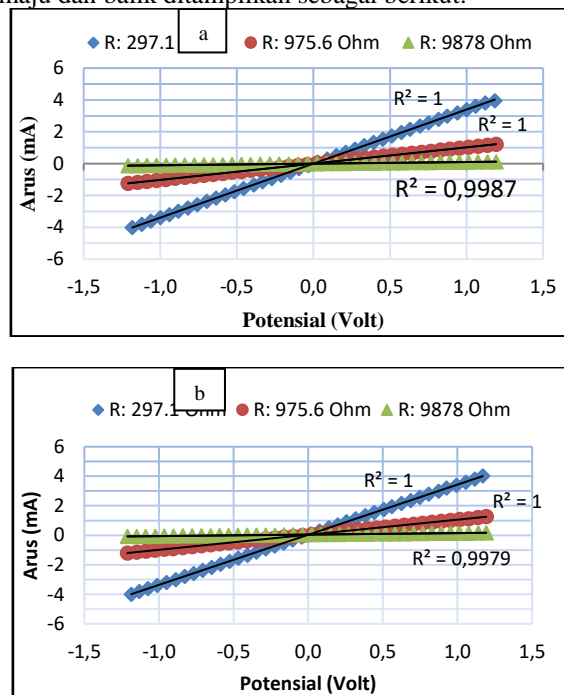
pengisi sumber daya yang terhubung dengan Arduino Uno sehingga potensiostat dapat dioperasikan secara *portable* tanpa harus terhubung dengan perangkat komputer. Potensiostat ini berdimensi 18.2 cm x 11.2 cm x 6 cm sehingga dapat mudah dibawa dan dipindahkan.



Gambar 10. Tampilan rancang bangun sistem potensiostat menggunakan Arduino Uno

### Pengujian Sistem Potensiostat Menggunakan Resistor

Untuk mengetahui seberapa besar kemampuan rancang bangun sistem potensiostat ini maka dilakukan pengujian potensiostat menggunakan variasi resistor 297.1  $\Omega$ , 9756  $\Omega$ , dan 9878  $\Omega$ . 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 1. 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.

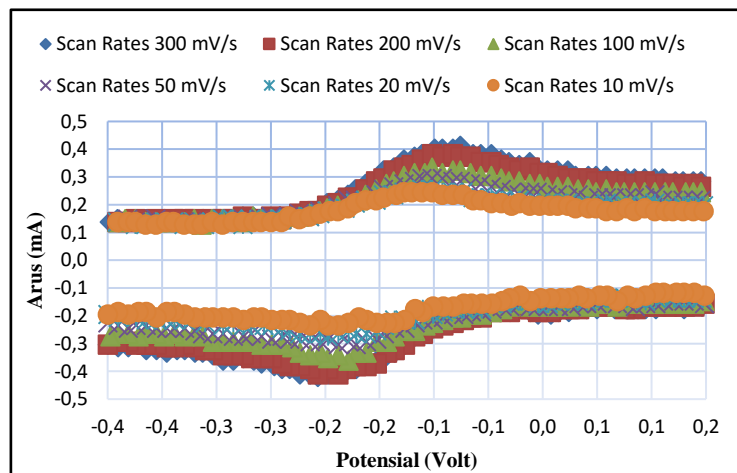
**Pengujian Sistem Potensiostat Menggunakan Larutan**

Pada pengujian sistem potensiostat menggunakan larutan didapatkan hasil yaitu voltammogram siklik yaitu grafik hubungan antara arus dan potensial (Gambar 12). Voltammogram siklik yang telah didapatkan (Gambar 12) selanjutnya dibandingkan dengan voltammogram siklik dari referensi yang ada. Berdasarkan (Gambar 5) 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 [6] 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 voltammogram siklik ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Nilai arus puncak anoda dan katoda serta akar *scan rate* untuk konsentrasi  $K_3Fe(CN)_6$  10 mM dengan campuran potassium nitrate 0.1 mM dan sodium hidroxide 0.1 mM

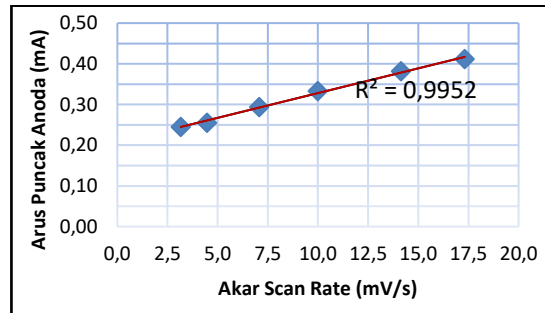
Arus Puncak Anoda (mA)	Akar Scan Rate (mV/s)	Arus Puncak Anoda (mA)	Akar Scan Rate (mV/s)
0.2454	3.1623	-0.2348	3.1623
0.2552	4.4721	-0.2739	4.4721
0.2943	7.0711	-0.3033	7.0711
0.3334	10	-0.3620	10
0.3823	14.1421	-0.4109	14.1421
0.4116	17.3205	-0.4206	17.3205



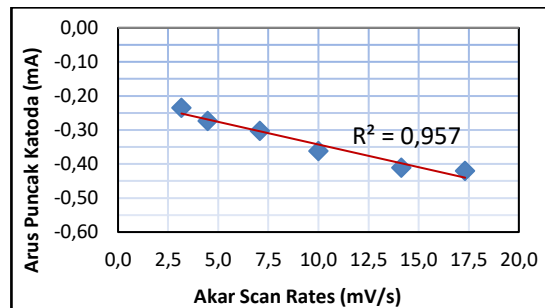
Gambar 2. Voltamogram Siklik larutan  $K_3Fe(CN)_6$  konsentrasi 10 mM dengan campuran potassium nitrate 0.1 mM dan sodium hidroxide 0.1 mM



Berdasarkan literatur yang ada [8], voltamogram dari larutan *potassium ferricyanide* yang digunakan termasuk kedalam voltamogram dapat berbalik (*reversible*). Besarnya arus puncak dari reaksi yang berlangsung secara *reversible* pada suhu  $25^{\circ}\text{C}$  ditentukan dengan persamaan Randles-Sevcik (persamaan 1). Dari (persamaan 1) tersebut dapat kita lihat 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 13 dan Gambar 14).



Gambar 3. Grafik hubungan arus puncak anodik terhadap akar *scan rates*



Gambar 4. Grafik hubungan arus puncak katodik terhadap akar *scan rates*

Dari grafik pada Gambar 13 dan Gambar 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  $R^2 = 0,957$ . Dari nilai  $R^2$  tersebut dapat kita lihat besar arus puncak anoda ditentukan sebesar 99.5% sedangkan arus puncak katoda ditentukan sebesar 95.7% oleh penambahan nilai *scan rates* dan sisanya ditentukan oleh faktor lain. Berdasarkan literatur (lihat Gambar 5) dan rumus Randles Sevcik (persamaan 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.

## KESIMPULAN

Telah dibuat suatu rancang bangun sistem potensiostat menggunakan Arduino Uno. 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..

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada teman-teman fisika angkatan 2013, pembimbing, dosen dan staf laboratorium di Program Studi Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam atas dukungan dalam penelitian dan penulisan makalah.

## REFERENSI

1. Aishah, S. (2013). Multichannel Electrochemical Analyzer. Johor Bahru: University Technology of Malaysia.
2. Andriani, V. (2007). Pengembangan Sensor Voltametri N<sub>2</sub>O Dengan Optimalisasi Polarisasi Elektroda Dan Konsentrasi Elektrolit Menggunakan Elektroda Kerja Perak (Ag). Jember: Universitas Negeri Jember.
3. Bard, A. J., & Faulkner, L. R. (1980). *Electrochemical Methods Fundamentals And Applications*. Singapore: John Wiley and Sons. Inc.
4. 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.
5. Gopinath, A. V., & Russell, D. (2005). An Inexpensive Field-Portable Programmable Potentiostat. *The Chemical Educator* 10 , 1-6.
6. 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.
7. Muid, A., Djamal, M., & Wirawan, R. (2014). Development of a Low Cost Potentiostat Using ATXMEGA32. *AIP Conference Proceedings* 1589 , 124-128.
8. Riyanto. (2013). *Elektrokimia dan Aplikasinya Edisi Pertama*. Yogyakarta: Graha Ilmu.