

RANCANG BANGUN POTENSIOSTAT BERBASIS MIKROKONTROLER

POTENTIOSTAT DESIGN BASED ON MIKROKONTROLER

Jilva Novandarys Sugandi¹, Drs. Suwandi. M. Si.², Dr. Memoria Rosi. M.Si.,³

^{1,2,3}Prodi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

jilva.phoenix@gmail.com¹ memoriarosi@gmail.com² Suwandi.sains@gmail.com³

Abstrak

Potentiostat adalah alat elektronik yang digunakan pada eksperimen elektrokimia menggunakan 3 elektroda dengan cara mengontrol tegangan pada salah satu elektroda lalu melihat respon arus yang terjadi pada elektroda yang diuji. Hasil pengukuran pada sensor elektrokimia dapat diolah menjadi informasi berupa konsentrasi larutan, derajat keasaman, laju korosi dan laju transfer elektron pada kapasitor elektrokimia. Untuk pengukuran kapasitansi pada kapasitor, data pengukuran biasanya ditampilkan dalam bentuk kurva I-V yang reversibel menggunakan metoda *cyclic voltammetry*. Dalam operasinya, potensiostat dihubungkan dengan sensor berupa tiga macam elektroda yang dimasukkan ke dalam sel elektrokimia yaitu elektroda kerja, elektroda referensi dan elektroda pengimbang. System potensiostat yang dibuat terdiri dari rangkaian analog dan rangkaian mikrokontroler, rangkaian analog menggunakan Op-amp TLC274, op-aamp yang diunakan bekerja sebagai 3 rangkaian yang berbeda yaitu sebagai buffer, differensial dan I to v converter. Dac MCP4725 digunakan untuk mengatur tegangan di rangkaian differensial agar dapat menghasilkan tegangan yang diinginkan mikrokontroler digunakan sebagai pengatur nilai tegangan dari DAC dan pengolah data dari rangkaian analog untuk dapat ditampilkan ke komputer. Rancang bangun potensiostat yang dibuat dapat menghasilkan tegangan pada rentang -1V hingga 1V, dengan nilai *scan rate* sebesar 10mV/s, 50mV/s, 100mV/s, dan dapat membaca arus dari rentang 10uA hingga 300uA.

Kata Kunci : Potentiostat, elektroda, kurva I-V.

Abstract

A potentiostat is the electronic hardware required to control a three electrode cell, the system functions by maintaining the potential of the working electrode at a constant level with respect to the reference electrode by adjusting the current at a counter electrode. The result from the measurement from the potentiostat can be used as reference to calculate such as the liquid concentration, acidity, corrosion rate and electron transfer rate from capacitor. For the use of capacitance measurement on capacitor, the data will be displayed as I-V curve by using Cyclic Voltammetry method. In the operation of potentiostat will be using three different electrode sensor which is working electrode, reference electrode, counter electrode. The system from the potentiostat consist analog circuit and microcontroller circuit. Analog circuit using an Op-amp TLC274 as the core of its system, the op-amps in the analog circuit work as three different method which consist buffer circuit, differential circuit and I to V converter circuit. The DAC MCP4725 are used to control the voltage in the differential op-amp. Microcontroller are used to change the voltage value of DAC and data acquisition to acquire data from the analog circuit. And we can display the acquired data to the computer. The prototype of the potentiostat are able to control the voltage between -1V – 1V, and have three different scan rate value 10mV/s, 50mV/s, 100mV/s, and the range measurement of current is 10uA to 300uA.

Keyword: Potentiostat, electrode, I-V curve.

1. Pendahuluan

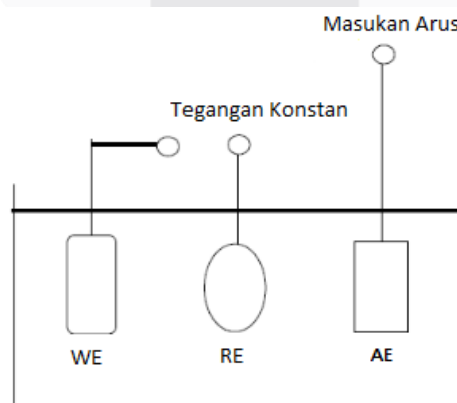
Potensiostat adalah alat elektronik yang digunakan pada eksperimen elektrokimia menggunakan 3 Elektroda dengan cara mengontrol tegangan pada salah satu elektroda lalu melihat respon arus yang terjadi pada elektroda yang diuji. Hasil pengukuran pada sensor elektrokimia dapat diolah menjadi informasi berupa konsentrasi larutan, derajat keasaman, laju korosi dan laju transfer elektron pada kapasitor elektrokimia. Untuk pengukuran kapasitansi pada kapasitor, data pengukuran biasanya ditampilkan dalam bentuk kurva I-V yang reversibel menggunakan metoda *cyclic voltammetry*. Dalam operasinya, potensiostat dihubungkan dengan sensor berupa tiga macam elektroda yang dimasukkan ke dalam sel elektrokimia yaitu elektroda kerja, elektroda referensi dan elektroda pengimbang. Fungsi potensiostat adalah mengusahakan tegangan tertentu pada elektroda kerja terhadap elektroda referensi dengan cara mengalirkan arus melalui elektroda pengimbang [1][2].

Aplikasi yang meluas terhadap potensiostat di dunia industri maupun laboratorium penelitian menyebabkan kebutuhan terhadap potensiostat semakin meningkat. Permasalahan yang terjadi adalah harga potensiostat yang tergolong mahal. Hal tersebut menjadi sebuah tantangan tersendiri untuk membuat potensiostat dengan biaya yang murah dengan tetap memperhatikan kinerja yang baik sesuai dengan potensiostat standar. Beberapa laboratorium penelitian di Indonesia telah berhasil menciptakan potensiostat, diantaranya Lab. Fisika ITB yang merancang rangkaian potensiostat menggunakan *op-amp* TLC2264 dengan sistem kontrol berbasis mikrokontroler ATXMEGA32. Potensiostat yang dihasilkan dapat menghasilkan scan tegangan mulai dari -1,6 V sampai 1,6 V dengan ketelitian 1 mV dan rata-rata error sebesar 1,34% [3].

Pada penelitian ini, akan dilakukan pembuatan potensiostat yang spesifik dimanfaatkan untuk mendukung kebutuhan karakterisasi elektroda kapasitor elektrokimia di Lab. Material, Universitas Telkom. Potensiostat yang akan dibuat ini diharapkan dapat mengukur arus dalam orde mili Amper yang merupakan hasil pengujian elektroda kapasitor menggunakan potensiostat standar eDAQ. Rangkaian potensiostat akan dirancang menggunakan *op-amp* TL074 dengan sistem kontrol berbasis Mikrokontroler. Potensiostat juga dilengkapi dengan fitur GUI sebagai navigasi pada proses pengukuran.

2.1. Prinsip Kerja Potensiostat

Potensiostat pada umumnya menggunakan sistem 3 elektroda pada sel elektrokimia yaitu WE (*working electrode*), RE (*reference electrode*) dan AE (*auxiliary electrode*) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1.

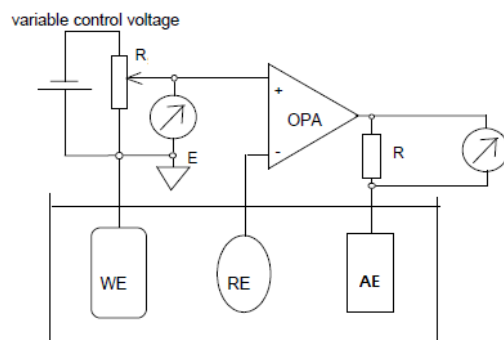


Gambar 2.1 Prinsip kerja potensiostat pada 3 elektroda

WE merupakan elektroda aktif yang menjadi tempat berlangsungnya aktivitas penyimpanan muatan listrik berupa ion-ion elektrolit garam. WE pada superkapasitor biasanya berupa material padat seperti karbon, emas, nikel,

ruthenium, dan lain-lain. RE berfungsi untuk menjaga tegangan pada elektroda tetap stabil, yang berarti nilai tegangan yang di hasilkan harus tetap dan tidak berubah-ubah dan tidak dipengaruhi oleh larutan elektrolit yang digunakan. Untuk menjaga potensial tetap stabil RE hanya digunakan sebagai penghantar tegangan tanpa arus, RE yang biasa digunakan adalah Ag/AgCl, kalomel, dan lain-lain. AE adalah elektroda yang digunakan untuk mengalirkan arus kepada WE, oleh karena itu AE harus memiliki konduktivitas yang tinggi agar dapat menghantarkan arus dengan baik dan biasanya terbuat dari kawat platina.

Prinsip kerja potensiostat adalah memberikan tegangan pada WE melalui AE dan RE. AE berperan sebagai penghantar arus dan tegangan yang akan dialirkan kepada WE karena berperan sebagai penghantar arus dan tegangan dikhawatirkan akan terjadi tegangan drop pada AE oleh karena itu digunakanlah RE untuk menjaga tegangan yang diharapkan tetap konstan. RE berperan sebagai pemberi tegangan konstan kepada WE dan dirancang untuk mengalirkan tegangan tanpa arus oleh karena itu tidak akan terjadi tegangan drop. Jika perbedaan tegangan antara RE dan WE dapat diatur maka arus yang terukur pada WE dapat diolah untuk mendapatkan analisa elektrokimia. Untuk merealisasikan kerja sebuah potensiostat, kita membutuhkan sebuah *Op-amp* (*Operational Amplifier*) yang dihubungkan pada ketiga elektroda seperti terlihat pada Gambar 2.2.

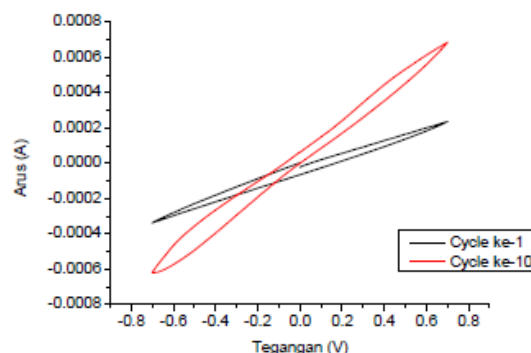


Gambar 2.2 Prinsip Potensiostat

2.2. Voltammetry

Voltammetry merupakan metoda elektroanalisa komponen kimia yang terdapat pada sebuah WE atau biasa disebut *half cell*. *Voltammetry* merupakan studi arus listrik sebagai fungsi potensial yang digambarkan pada sebuah kurva I-V yang disebut dengan *voltammogram*. *Voltammetry* berkembang pesat dibanding metode analisis lain, hal ini dikarenakan kelebihan dalam sensitifitas, selektifitas, kesederhanaan dan kemudahan penganalisaan [4].

Untuk aplikasi super kapasitor dalam pengisian dan pengosongan muatan, biasa digunakan metoda *cyclic voltammetry* yaitu pemberian potensial secara bolak-balik. Karakteristik *cyclic voltammetry* tergantung beberapa faktor yaitu laju reaksi transfer elektron, kereaktifan elektroaktif dan *scan rate* voltase yang semula dioksidasi pada sapuan potensial awal (*forward scan*) akan di reduksi setelah sapuan potensial balik (*reverse scan*) [3].



Gambar 2.11 grafik CV elektroda karbon

Metode *cyclic voltametry* biasanya mengasumsikan adanya tegangan linier yang dilakukan satu *cycle* pada WE. Namun resistansi dapat menyebabkan tegangan drop pada WE dan RE. Maka tegangan pada WE dapat dihitung dengan menambahkan IR drop dengan rumus. Namun tegangan drop dapat dikurangi dengan menempatkan WE dan RE sedekat mungkin.

2.3. Perhitungan kapasitansi pada WE

Kapasitansi dari elektroda dapat dihitung berdasarkan kurva *cyclic voltammetry* yang diperoleh dengan menggunakan persamaan :

$$C_e(F) = \frac{\int i dv}{(\Delta V \cdot v_s)} \quad (2.5)$$

ΔV = Perbedaan tegangan

V_s = *scan rate*

i = arus pada elektroda

C_e = Kapasitansi elektroda

$$C_{sel} = \frac{2C_e}{m} \quad (2.6)$$

m = massa material elektroda aktif

C_{sel} = kapasitansi spesifik sel super kapasitor

Dengan C_e adalah kapasitansi sel, C_{sel} adalah kapasitansi spesifik (F/g), i dan v masing-masing adalah arus (A) dan *scan rate* (V/s), m adalah massa elektroda aktif (g). *Scan rate* adalah nilai kenaikan tegangan terhadap satuan waktu, pengaruh *scan rate* terhadap kapasitansi adalah berbanding terbalik yaitu kapasitansi akan turun seiring dengan peningkatan *scan rate*. Hal ini disebabkan ketika *scan rate* yang diberikan kecil maka aliran tegangan dapat masuk ke dalam WE, sedangkan ketika nilai *scan rate* yang diberikan *scan rate* tinggi maka aliran tegangan hanya melewati bagian dari permukaan WE saja [5].

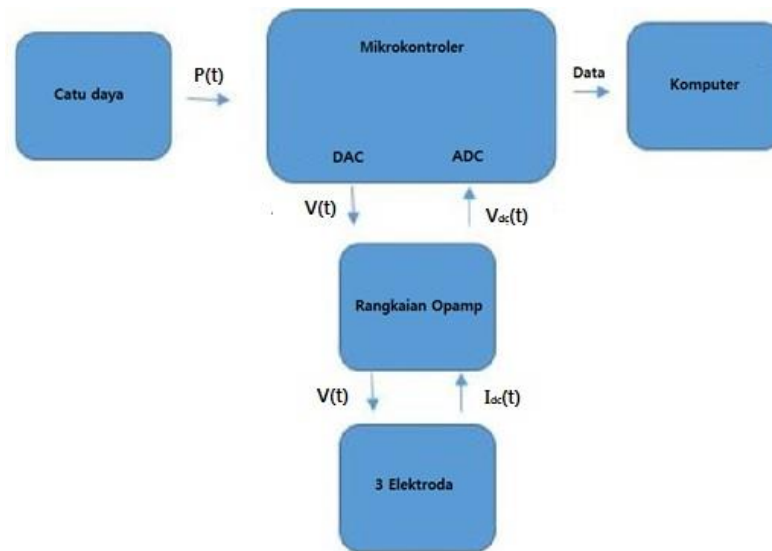
2.4. Sistem Potentiostat

Sistem potentiostat yang dibuat secara garis besar memiliki tiga bagian utama, yaitu bagian pengontrol, pembaca hasil pengukuran dan penampil. Dan bagian yang lain adalah bagian tambahan yang disesuaikan dengan fitur potentiostat. Pada bagian pengontrol berupa rangkaian *control analog* yang tegangannya dapat diatur dan dapat di terapkan tegangannya pada elektroda, dengan orde millivolt dan dapat mengukur arus maksimal 1 miliampere.

Skema rancangan sistem potentiostat yang dibuat ditampilkan dalam gambar 3.1. Pada bagian pengontrol, dibuat menggunakan rangkaian analog *Operational amplifier (op-amp)*. *op-amp* dapat berfungsi sebagai pengondisi dan pengolah sinyal. Rangkaian *op-amp* tersebut nantinya dihubungkan dengan elektroda yang dimasukkan ke dalam sel elektrokimia. Rangkaian control analog akan dikendalikan oleh mikrokontroler dengan cara mengirim data dan menerima data.

Rangkaian analog *op-amp* mendapatkan tegangan dari DAC. Tegangan ini didapat dari DAC MCP4725 *Digital to Analog Converter* (DAC) dengan resolusi 12 bit. DAC ini digunakan untuk menghasilkan sinyal analog yang bisa diatur secara digital dengan menggunakan mikrokontroler untuk menghasilkan sebuah sinyal tegangan analog yang diinginkan. Sinyal tegangan yang dikeluarkan dapat kita atur sesuai program yang kita masukan, pada penelitian ini kita menggunakan DAC untuk menghasilkan tegangan yang dapat disesuaikan dengan metode CV. Sinyal analog yang dihasilkan oleh DAC dari Mikrokontroler kemudian dihubungkan kepada *op-amp* dengan sistem *differential amplifier*, *op-amp* ini menentukan tegangan sel elektrokimia dan bertindak sebagai sumber arus yang di perlukan pada sel elektrokimia. Pada penelitian ini *op-amp* yang digunakan memiliki nilai input impedansi tinggi dan *noise* rendah.

Pada bagian pengambil data digunakan fungsi *Analog to Digital Converter* (ADC) dengan resolusi 12 bit yang terdapat pada Mikrokontroler. ADC digunakan untuk mengukur arus yang mengalir pada sel elektrokimia yang kita gunakan. Arus yang di ukur adalah arus yang melalui WE dan akan diubah nilainya menjadi tegangan melalui rangkaian *op-amp I to V Converter* lalu dikirim ke mikrokontroler. Setelah itu data yang telah didapat tadi akan dikirim ke komputer dari Mikrokontroler melalui komunikasi serial yang telah tersedia, komunikasi ini memungkinkan kita untuk mengirim data yang akan kita lihat secara *real time* ke komputer, yang memudahkan kita untuk melakukan analisis karena data dapat langsung dikirim ke komputer.



Gambar 3.1 Sistem Potentiostat

4.1. Uji Coba Perangkat Keras

Uji coba perangkat keras dilakukan pada komponen *I to V converter*, rangkaian differensial, ADC dan DAC. Pengujian pada tiap komponen bertujuan untuk memastikan tiap komponen bekerja dengan baik sehingga potensiostat yang dibuat berfungsi dengan baik.

4.1.1. Pengujian ADC

Pengujian ADC bertujuan untuk mengetahui ketepatan hasil konversi yang dilakukan oleh mikrokontroler terhadap tegangan yang diberikan. Tegangan analog dari *I to V Converter* akan dikonversi menjadi sinyal digital oleh ADC sebelum diolah menjadi besaran arus. Jika error pada bagian ADC cukup besar maka dapat dipastikan nilai arus yang diperoleh menjadi tidak akurat. Pada perancangan potensiostat, ADC yang digunakan memiliki resolusi 12 bit sehingga tegangan analog akan dipecah menjadi 4096 bagian.

Pengujian dilakukan dengan menggunakan DAC dengan tegangan 3.3 Volt, karena tegangan tersebut merupakan tegangan maksimum yang dapat diolah oleh mikrokontroler. DAC selanjutnya dihubungkan ke pin ADC mikrokontroler. Tegangan dengan rentang 0 volt – 3.3 Volt dapat dihasilkan oleh DAC. Besar tegangan dari DAC akan diukur menggunakan multimeter dan dibandingkan dengan nilai yang diperoleh dari hasil konversi ADC pada mikrokontroler. Hasil pengujian ditunjukkan pada tabel 4.1.

Tegangan hasil konversi diperoleh dengan memasukkan nilai ADC yang terpaca pada mikrokontroler ke dalam persamaan,

$$V = \text{ADC Value} \times \frac{3,3}{4096} \quad (4.1)$$

Nilai referensi yang digunakan adalah sebesar 3,3V, besar error tegangan hasil konversi sebesar 0,82%. berdasarkan hasil tersebut ADC sudah dapat membaca masukan tegangan dengan nilai error yang cukup kecil dan dapat dikatakan bahwa komponen ADC mikrokontroler berfungsi dengan baik.

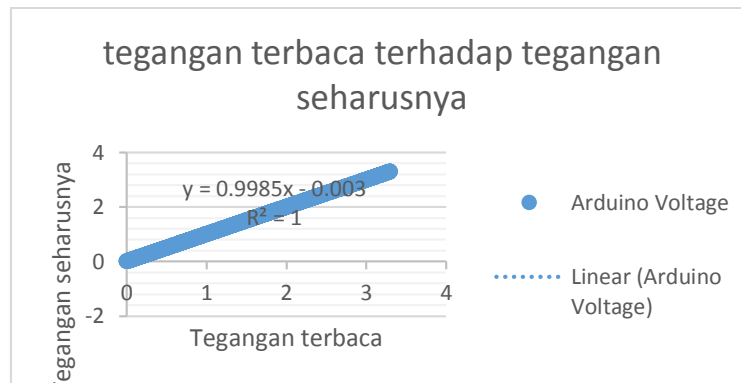
4.1.2. Pengujian DAC

Pengujian DAC dilakukan untuk melakukan kalibrasi tegangan keluaran DAC. Tujuan lain pengujian DAC adalah untuk mengetahui kinerja DAC yang digunakan dan melihat perubahan bit terhadap tegangan. Pengujian DAC dilakukan dengan cara memberikan input data *digital LSB* kepada DAC melalui mikrokontroler dengan program tersendiri. DAC yang digunakan memiliki resolusi 12 bit sehingga nilai bit yang dapat kita input sampai 4096 dengan maksimal tegangan 3.3 Volt.

Pengujian dilakukan dengan menggunakan ADC mikrokontroler sebagai pembaca tegangan. Selanjutnya output dari DAC disambungkan dengan ADC pada mikrokontroler untuk dibaca nilai tegangannya. Tegangan yang terbaca oleh ADC akan dibandingkan dengan tegangan ideal yang seharusnya dikeluarkan oleh DAC berdasarkan persamaan berikut.

$$V = \frac{\text{bit} \times 3.3}{4096} \quad (4.2)$$

Dari hasil pengujian di dapatkan grafik sebagai berikut :



Gambar 4.1

Dari hasil pengujian didapatkan nilai error tegangan sebesar 0.8352% DAC sudah dapat menghasilkan tegangan yang dibutuhkan dengan error yang kecil.

4.1.3. Pengujian Rangkaian Buffer

Rangkaian buffer pada rangkaian digunakan sebagai penerus sinyal tegangan dari output yang nilai tegangannya tidak dipengaruhi arus sehingga memiliki tegangan yang stabil. Tegangan Output dari rangkaian buffer harus sama dengan tegangan input. Pengujian rangkaian buffer dilakukan dengan memberikan tegangan pada kaki input rangkaian buffer lalu mengamati tegangan output dari rangkaian buffer dan dilihat apakah tegangan output nya sama dengan tegangan input.

Dari data yang didapatkan dilakukan pengujian dengan menggunakan 13 tegangan berbeda yang dihubungkan dengan input rangkaian buffer dan kaki output rangkaian dihubungkan dengan multimeter untuk dibaca tegangannya. Didapatkan error sebesar 0.44% dari data. Tegangan yang dihasilkan oleh tegangan buffer adalah harus sama dengan tegangan masukan, dari hasil pengujian rangkaian buffer sudah sesuai dengan kebutuhan system.

4.1.4. Pengujian rangkaian differensial

Rangkaian differensial adalah rangkaian yang digunakan untuk menghasilkan tegangan dengan *range* -1 Volt hingga 1 Volt. Output tegangan dari rangkaian differensial adalah tegangan yang akan diterapkan terhadap sampel yang akan diukur. Pengujian rangkaian differensial dilakukan dengan cara memberi tegangan variable kepada kaki input + op-amp, dan tegangan tetap kepada kaki input – op-amp sebagai tegangan referensi. Dengan menggunakan 2 resistor sebesar 1000 ohm maka besar output tegangan dari rangkaian differensial dapat didapatkan dengan persamaan berikut

$$V_{out} = \left(1 + \frac{R_4}{R_3}\right)V_1 - \frac{R_4}{R_3}V_2 \quad (4.3)$$

Pengujian dilakukan dengan cara membandingkan tegangan output rangkaian differensial dengan tegangan seharusnya yang didapatkan dari persamaan diatas. Dari data diatas didapatkan nilai rata-rata error sebesar 2,64% tegangan yang dihasilkan oleh rangkaian differensial sudah memenuhi kebutuhan untuk menghasilkan tegangan pada system.

4.1.5. Pengujian rangkaian I to V Converter

Rangkaian *I to V converter* adalah rangkaian yang akan membaca arus yang mengalir pada sample dan mengubahnya menjadi nilai tegangan agar dapat dibaca oleh mikrokontroler, pengujian rangkaian ini dilakukan dengan memberi tegangan dari 0 Volt hingga 3,3 Volt yang dihubungkan secara seri dengan resistor 100 Kilo ohm

yang berarti nilai arus yang mengalir akan bergantung pada nilai tegangan yang kita berikan dibagi resistor 100k ohm, tegangan output rangkaian didapatkan dari persamaan berikut,

$$V = iR \quad (4.4)$$

karena nilai arus yang dialirkan sebesar $1\mu\text{A}$ hingga $3,3\mu\text{A}$, nilai R yang digunakan sebagai pengali adalah sebesar 100k Ohm nilai ini digunakan agar tegangan yang dikeluarkan I to v converter memiliki nilai dari

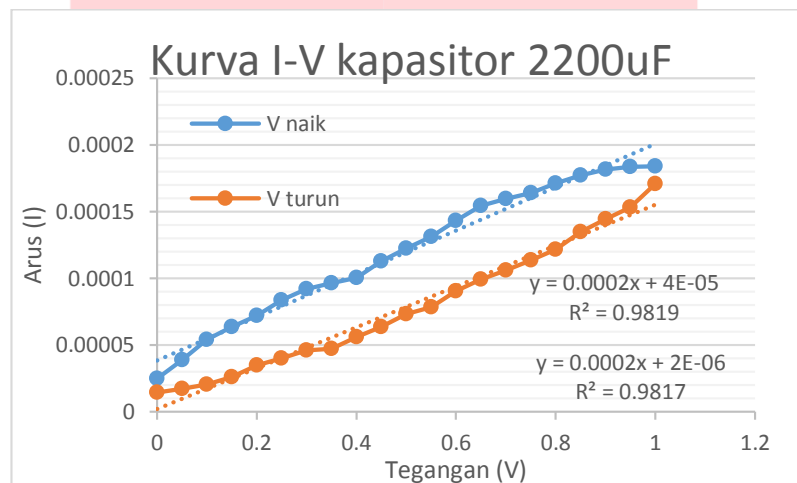
0 Volt hingga 3,3 Volt, nilai output rangkaian I to v converter akan dibandingkan dengan nilai tegangan seharusnya yang didapatkan dari persamaan 4.4 dari hasil pengujian didapatkan tabel 4.4

Didapatkan nilai error sebesar 1,022%, rangkaian I to v sudah dapat mengubah nilai arus menjadi nilai tegangan dengan error yang cukup kecil hal ini menunjukkan bahwa rangkaian I to v converter sudah berfungsi dengan baik.

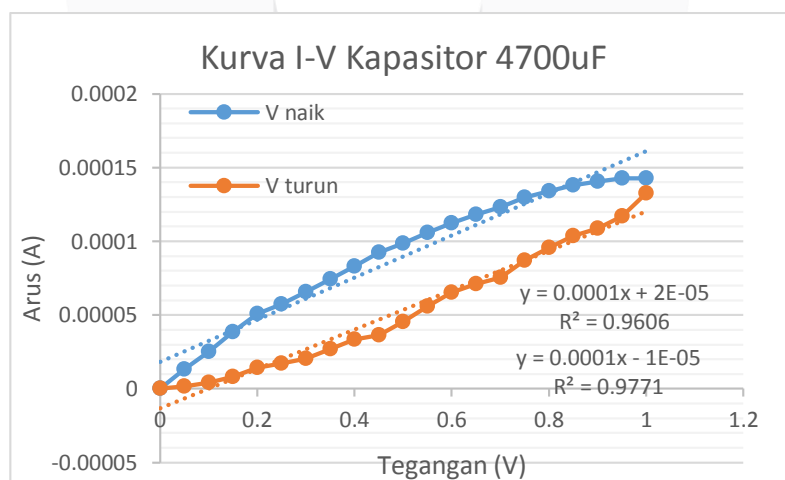
4.2. Pengujian sampel

Pengukuran sampel dilakukan dengan menggunakan alat potensiostat yang telah dirancang. Pengukuran bertujuan untuk memperoleh kurva I to V dari sampel, pengujian dilakukan pada kapasitor standar agar nilai kapasitor dari kapasitor tersebut telah diketahui.

Berikut adalah kurva dari hasil pengujian yang dilakukan pada kapasitor 4700uF dan kapasitor 2200uF dengan nilai tegangan 0V sampai 1 V dan scan rate yang dipakai sebesar 50mV/s.



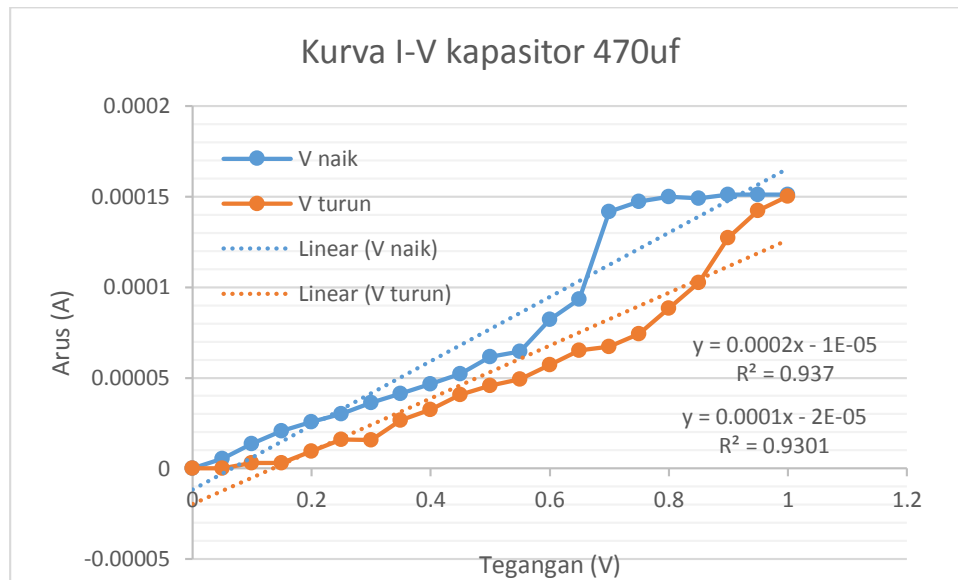
Gambar 4.2. Kurva Kapasitor 2200uF



Gambar 4.3 Kurva Kapasitor 4700uF

Dengan sumbu x adalah dengangan yang diaplikasikan pada kapasitor dan sumbu y adalah arus yang terbaca pada kapsitor.

4.3.Perhitungan Kapasitansi menggunakan kurva I to V



Gambar 4.10 kurva I-V kapasitor 470uF

Dengan menggunakan persamaan (2.6) dapat dihitung nilai kapasitansi dari kapasitor yang diuji, dari hasil pengujian sampel kapasitor didapatkan kurva I to V dari kapasitor 470uF, dari kurva tersebut kita dapat mendapatkan nilai kapasitansi pada kapasitor dengan menggunakan persamaan (2.5), dari persamaan tersebut didapatkan nilai kapasitansi sebesar 498.5uF nilai yang didapatkan akan dibandingkan dengan nilai kapasitor sesungguhnya untuk menunjukkan apakah alat sudah bekeja dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Himmaty. Ikfina, Enderko. Pembuatan elektroda dan perancangan sistem capacitive deionization untuk mengurangi kadar garam pada larutan sodium clorida (NaCl) Jurusan Fisika, Fakultas MIPA.
- [2] Puranto, Prabowo (2010), Pengembangan instrument pengkarakterisasi sensor elektrokimia menggunakan metode voltametri siklik
- [3] Syahbana Muh Ali, (2014), Bio sensor Kolesterol, Bandung, Institut Teknologi Bandung
- [4] Mikrokontroler, <http://mikrokontroler.cc/en/Main/MikrokontrolerBoardDue> diakses pada 17-12-2014
- [5] Adhytiawan. Achmad, Susanti. Diah. Pengaruh variasi waktu tahan hidrotermal terhadap sifat kapasitif superkapasitor material Graphene.