

SKRIPSI

**RANCANG BANGUN ALAT *CYCLIC VOLTAMMETRY* BERBASIS
ARDUINO UNO UNTUK PENGUKURAN SUPERKAPASITOR DARI
BIOMASSA**

Disusun dan diajukan oleh

ZHAFAAT RAHIMI ZAINAL

H021171310



**DEPARTEMEN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR**

2022

**RANCANG BANGUN ALAT *CYCLIC VOLTAMMETRY* BERBASIS
ARDUINO UNO UNTUK PENGUKURAN SUPERKAPASITOR DARI
BIOMASSA**

SKRIPSI

*Diajukan sebagai Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Sains
pada Program Studi Fisika Departemen Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Hasanuddin*

**ZHAFAAT RAHIMI ZAINAL
H021171310**

**DEPARTEMEN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2022**

LEMBAR PENGESAHAN

**RANCANG BANGUN ALAT *CYCLIC VOLTAMMETRY* BERBASIS
ARDUINO UNO UNTUK PENGUKURAN SUPERKAPASITOR DARI
BIOMASSA**

Disusun dan diajukan oleh:

ZHAFAAT RAHIMI ZAINAL

H021 17 1310

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Fisika Fakultas Matematika
dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin
pada tanggal 26 Agustus 2022
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui

Pembimbing Utama,

Dr. Ir. Bidayatul Arminah, MT.
NIP. 19630830 198903 2 001

Pembimbing Pendamping,

Prof. Dr. Erman Taer, M.Si
NIP. 19710923 199512 1 002

Ketua Program Studi,



Prof. Dr. Anfin, MT
NIP. 19670520 199403 1 002

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Zhafaat Rahimi Zainal
NIM : H021171310
Program Studi : Fisika
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

Rancang Bangun Alat *Cyclic Voltammetry* Berbasis Arduino UNO untuk Pengukuran Superkapasitor dari Biomassa

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambil alihan tulisan orang lain bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau seluruh skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 26 Agustus 2022



Menyatakan,

Zhafaat Rahimi Zainal

ABSTRAK

Superkapasitor adalah perangkat penyimpanan energi yang mengisi celah kosong di antara perangkat penyimpan energi antara baterai (akumulator) dan kapasitor biasa. Superkapasitor dapat berfungsi sebagai sumber energi terbarukan yang dapat meningkatkan kualitas energi. Pengukuran kapasitansi dari superkapasitor perlu dilakukan untuk mengetahui jumlah muatan listrik yang dapat tersimpan. Penelitian ini difokuskan pada pembuatan sistem pengukuran superkapasitor untuk menampilkan grafik *cyclic voltammogram* dengan membuat alat *cyclic voltammetry* berbasis arduino UNO menggunakan biaya yang relatif murah dan dapat melakukan pengukuran secara *real-time*. Sistem pengukuran alat *cyclic voltammetry* terdiri dari rangkaian digital (arduino UNO, MCP4725 dan ADS1115), rangkaian analog (rangkaiannya potensioostat dan sel superkapasitor), *interface* (aplikasi dekstop) untuk menampilkan data hasil pengukuran dari sel superkapasitor biomassa. Alat *cyclic voltammetry* memiliki kesalahan pengukuran sebesar 29,79%. Hasil pengukuran alat *cyclic voltammetry* pada 3 sampel sel superkapasitor biomassa batang lengkuas ZnCl_2 0,3 M, superkapasitor biomassa daun lengkuas 0,5 M, dan superkapasitor biomassa buah rimbang ZnCl_2 0,7 M pada satu laju scanrate 1 mV/s dengan *range* 0 mV sampai 500 mV diperoleh nilai rata-rata kesalahan kapasitansi spesifik sebesar 39,84 %.

Kata Kunci: arduino UNO; *cyclic voltammetry*; kapasitansi spesifik; superkapasitor biomassa.

ABSTRACT

A supercapacitor is an energy storage device that fills the gap between an energy storage device between a battery (accumulator) and an ordinary capacitor. Supercapacitors can function as renewable energy sources that can improve energy quality. Measurement of the capacitance of the supercapacitor needs to be done to determine the amount of electric charge that can be stored. This research is focused on making a supercapacitor measurement system to display cyclic voltammogram graphs by making a cyclic voltammetry tool based on arduino UNO using a relatively low cost and able to perform real-time measurements. Cyclic voltammetry measuring system consists of digital circuits (arduino UNO, MCP4725 and ADS1115), analog circuits (potentiostat circuits and supercapacitor cells), interfaces (desktop applications) to display measurement data from biomass supercapacitor cells. The cyclic voltammetry tool has a measurement error of 29.79%. Measurement results of cyclic voltammetry on 3 cell samples of galangal stem biomass supercapacitor ZnCl_2 0.3 M, galangal leaf biomass supercapacitor 0.5 M, and fruit biomass supercapacitor ZnCl_2 0.7 M at a scanrate rate of 1 mV/s with a range of 0 mV up to 500 mV the average value of the specific capacitance error is 39.84 %.

Keywords: arduino UNO; cyclic voltammetry; specific capacitance; biomass supercapacitor.

KATA PENGANTAR

Bismillāhir-rahmānir-rahīm

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas limpahan berkah, rahmat, karunia dan petunjuk-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Shalawat dan Salam senantiasa tercurah kepada Rasulullah Muhammad SAW yang telah membawa manusia dari alam jahiliyah kepada alam yang penuh ilmu pengetahuan seperti saat sekarang ini. Berkat ridho Allah SWT disertai usaha penulis dapat menyusun skripsi dengan judul “**Rancang Bangun Alat Cyclic Voltammetry Berbasis Arduino UNO untuk Pengukuran Superkapasitor dari Biomassa**” sebagai syarat dalam menyelesaikan studi di Departemen Fisika Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin.

Selama proses penyelesaian skripsi ini, penulis telah melalui berbagai halangan dan keterbatasan pengetahuan, sehingga skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan. Namun, atas kehendak Allah SWT hambatan tersebut dapat dilalui dan skripsi ini dapat terselesaikan. Penulis juga ingin menyampaikan ucapan rasa terimakasih kepada semua pihak yang telah terlibat dalam mendukung dan membantu menyelesaikan tugas akhir ini. Dengan segala kerendahan hati, penulis menuturkan banyak terimakasih kepada:

1. Allah SWT yang telah memberikan kekuatan, kesabaran dan petunjuk kepada penulis untuk menyelesaikan skripsi ini.
2. Nabi Muhammad SAW sebagai suri tauladan dan motivator penulis.
3. Orangtua penulis yang tersayang, Abi **Zainal Abidin** dan Umi **Marwah Nur** yang senantiasa berkorban dan berusaha untuk mendukung setiap langkah yang penulis ambil, memberikan fasilitas, perhatian dan kasih sayang, serta selalu mendoakan keberhasilan penulis. Kepada Kakakku **Zuci Rahmani Zainal** yang selalu memberikan semangat dan bantuan kepada penulis. Untuk seluruh keluarga ku, yang selalu mendoakan yang terbaik untuk penulis, Semoga penulis bisa membalas kebaikan kalian, meskipun mungkin tidak akan cukup.

4. Ibu **Dr. Ir. Bidayatul Armynah, MT.** selaku Dosen Pembimbing Utama dan Dosen Penasehat Akademik, serta Bapak **Prof. Dr. Erman Taer, M.Si** selaku Dosen Pembimbing Pertama yang telah bersedia untuk meluangkan waktu, tenaga, dan pemikirannya dalam membimbing penulis, sehingga skripsi ini dapat terselesaikan.
5. Bapak **Prof. Dr. Arifin, M.T** dan Bapak **Prof. Dr. Tasrief Surungan, M.Sc** selaku Dosen Penguji yang telah meluangkan waktu dan tenaga untuk memberikan ilmu, saran dan diskusi dalam menyelesaikan skripsi ini.
6. Bapak **Prof. Dr. Arifin, M. T** selaku Ketua Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin terima kasih atas ilmu dan bimbingannya selama ini.
7. Seluruh **Dosen FMIPA Unhas**, terkhusus kepada **Bapak dan Ibu Dosen Pengajar Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin**, semoga hasil ajarannya selalu memberikan manfaat bagi setiap orang.
8. Bapak/Ibu **Staf Pegawai FMIPA UNHAS**, terutama **Staf Departemen Fisika; Pak Syukur, Pak Ahmad, Ibu Rana dan Ibu Evi** yang selalu membantu penulis selama berada di kampus.
9. Kepada Bang Apriwandi dan kakak-kakak di **Lab. Material FMIPA Universitas Riau** yang telah memberikan ilmu dan fasilitas penelitian sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
10. Penghuni **Laboratorium Elektronika dan Instrumentasi** angkatan 2017 yang telah banyak membantu, menemani dan memberikan ide dan saran-saran dalam penelitian penulis. Semoga diberikan kesuksesan ke depannya.
11. Para Tampan Maks, **Puat, Ardi, Syahrul, Angga, Dicky, Roni, Khalis, Madan, Ale, Ebiet, Azhardi, Zahari, Sabran, Rial, Aldo, Agung, Fadlan, Fajar, Faisal, Faqih, Albar, Riadi, Tsaqif, Ucha, Zain** dan teman-teman yang belum sempat disebutkan namanya. Terima kasih banyak karena telah direpotkan oleh penulis selama perkuliahan.

12. Saudara tak sedaraku, **Himafi 17** terima kasih kepada 80 orang hebat yang selalu ada baik suka maupun duka, segala supportnya, kebersamaannya, dan segalanya yang tidak bisa disebutkan satu – persatu. Saya sangat bersyukur menjadi salah satu bagian dari kalian. Semoga tetap **Teguh dalam Keyakinan, Kukuh dalam Kebersamaan**.
13. Kameradku di **BEM FMIPA Unhas periode 2020/2021**, terutama teman-teman dari bidang kerohanian Islam, terima kasih atas kebersamaannya selama satu periode kepengurusan di tahun ke-empat perkuliahan.
14. **Kanda – kanda Himafi 2015** dan **Kanda – kanda Himafi 2016** yang telah banyak memberikan arahan dan masukan selama saya menjadi mahasiswa, baik akademik maupun non-akademik.
15. Adik – adik tak sedarah, **Himafi 2018, Himafi 2019**, terima kasih atas dukungan dan motivasi yang diberikan.
16. Teman-teman seperjuangan **Fisika angkatan 2017** yang tidak sempat disebutkan satu – persatu namanya, banyak cerita telah dilalui bersama semoga menjadi kenangan indah untuk kita semua. Bersama-sama dari maba, hingga sekarang satu persatu telah menyelesaikan masa studinya. Semoga kita semua sukses dimasa mendatang dan silaturahmi diantara kita tetap terjalin.
17. Lembagaku, **Himpunan Mahasiswa Fisika (Himafi) FMIPA Unhas** terima kasih telah membentuk karakter **keras, kuat, cerdas dan berani** di dalam diri penulis, serta memperkenalkan dan mengajarkan banyak hal baru sejak penulis menjadi mahasiswa baru hingga saat ini.
18. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, yang telah memberikan kontribusi sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.

Makassar, 26 Agustus 2022

Zhafaat Rahimi Zainal

DAFTAR ISI

SKRIPSI.....	i
SKRIPSI.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB I.....	1
I.1 Latar Belakang.....	1
I.2 Rumusan Masalah.....	2
I.3 Tujuan Penelitian	2
BAB II	3
II.1 <i>Cyclic Voltammetry</i>	3
II.2 Potensiostat.....	4
II.2.1 Prinsip Kerja Potensiostat.....	5
II.3 Arduino UNO	6
II.4 MCP4725.....	8
II.5 ADS1115	8
II.6 Superkapasitor	9
II.6.1 Prinsip Kerja dan Bagian-bagian Superkapasitor.....	11
II.6.2 Kapasitansi Spesifik Superkapasitor	12
BAB III.....	13
III.1 Waktu dan Tempat Penelitian	13
III.2 Alat dan Bahan Penelitian.....	13
III.3 Prosedur Penelitian.....	14

III.3.1 Perancangan dan Pembuatan Alat <i>Cyclic Voltammetry</i>	14
III.3.2 Persiapan Sel Superkapasitor	16
III.3.3 Pengujian Perangkat Sistem	17
III.3.4 Pengambilan Data Alat <i>Cyclic Voltammetry</i> pada Sel Superkapasitor	17
III.4 Bagan Alir Penelitian	18
BAB IV	19
IV.1 Perancangan Rangkaian Potensiostat	19
IV.2 Pembuatan Alat <i>Cyclic Voltammetry</i>	20
IV.2.1 Pembuatan Rangkaian Analog	20
IV.2.2 Pembuatan Rangkaian Digital	21
IV.2.3 Pembuatan Aplikasi Dekstop	22
IV.3 Pengujian Perangkat Sistem Alat <i>Cyclic Voltammetry</i>	24
IV.3.1 Kalibrasi Alat <i>Cyclic Voltammetry</i>	25
IV.4 Pengukuran Sel Superkapasitor dari Biomassa	27
BAB V	33
V.1 Kesimpulan	33
V.2 Saran	33
DAFTAR PUSTAKA ;	34
LAMPIRAN	38

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Voltammogram siklik [16].	3
Gambar 2.2 Prinsip kerja potensiostat pada tiga elektroda [21].....	5
Gambar 2.3 Rangkaian potensiostat [22].	6
Gambar 2.4 Modul arduino UNO [24].	7
Gambar 2.5 Modul MCP4725	8
Gambar 2.6 Konfigurasi <i>hardware</i> antara ADS1115 (alamat 0x48h) dengan system arduino menggunakan koneksi I ² C [28].	9
Gambar 2.7 Densitas daya sebagai fungsi densitas energi untuk berbagai perangkat penyimpanan energi [31].	10
Gambar 2.8 Rangkaian superkapasitor secara umum.....	11
Gambar 3.1 Diagram blok rancangan alat <i>cyclic voltammetry</i> berbasis arduino UNO.	14
Gambar 3.2 Diagram blok alat <i>cyclic voltammetry</i> pengukur superkapasitor.....	14
Gambar 3.3 Langkah-langkah persiapan sel superkapasitor.	16
Gambar 3.4 Blog diagram pengujian dan pengambilan data.....	17
Gambar 3.5 Diagram alir penelitian.	18
Gambar 4.1 Rangkaian potentiostat.....	19
Gambar 4.2 Skema rangkaian analog	20
Gambar 4.3 Skema rangkaian digital.	21
Gambar 4.4 Tampilan aplikasi dekstop alat <i>cyclic voltammetry</i>	23
Gambar 4.5 Panel-panel pada tampilan aplikasi dekstop.	23
Gambar 4.6 Sistem pengukuran alat <i>cyclic voltammetry</i>	24
Gambar 4.7 Grafik hasil pengukuran alat Physics CV UR Rad-Er 5841 dan alat <i>cyclic voltammetry</i>	26
Gambar 4.8 Set-up pengujian sel superkapasitor dari biomassa.	28
Gambar 4.9 Grafik <i>cyclic voltammogram</i> superkapasitor biomassa batang lengkuas ZnCl ₂ 0,3 M.	28
Gambar 4.10 Grafik <i>cyclic voltammogram</i> superkapasitor biomassa daun lengkuas 0,5 M.	30
Gambar 4.11 Grafik <i>cyclic voltammogram</i> superkapasitor biomassa buah rimbang ZnCl ₂ 0,7 M.....	31

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Pengukuran kapasitansi spesifik superkapasitor biomassa.	26
Tabel 4.2 Perbandingan hasil pengukuran tiga superkapasitor dari biomassa	32

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. <i>Script</i> program Arduino IDE, MCP4725, dan ADS1115	38
Lampiran 2. <i>Scrip</i> Program Aplikasi <i>Dekstop</i>	42
Lampiran 3. Tabel data Kalibrasi Alat <i>Cyclic Voltammetry</i>	52
Lampiran 4. Perhitungan Kapasitansi Spesifik Superkapasitor Biomassa.....	62
Lampiran 5. Tabel Data Pengukuran Superkapasitor dari Biomassa Batang Lengkuas ZnCl_2 0,3 M	66
Lampiran 6. Tabel Data Pengukuran Superkapasitor dari Biomassa Daun Lengkuas 0,5 M.....	68
Lampiran 7. Tabel Data Pengukuran Superkapasitor dari Biomassa Buah Rimbang ZnCl_2 0,7 M.....	70

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Perangkat penyimpanan energi konvensional yang memperoleh energi dari sumber energi disekelilingnya seperti kapasitor tradisional dan baterai, biasanya menghasilkan keluaran daya yang terputus-putus yang membuatnya tidak kompatibel [1]. Superkapasitor yang juga dikenal sebagai kapasitor elektrokimia dapat menutupi kekurangan tersebut karena perangkat ini memiliki kepadatan daya tinggi, laju pengisian/pengosongan cepat, bobot yang ringan, perawatan yang rendah, sifat keamanan tinggi dan siklus hidup yang panjang (> 100.000 siklus) [2, 3, 4, 5]. Superkapasitor memiliki sifat yang khas sehingga dapat berfungsi untuk menyimpan atau melepaskan sejumlah besar energi dalam waktu yang sangat singkat [2]. Sehingga para peneliti mencoba mengeksplorasi keunikan dari superkapasitor sebagai perangkat penyimpanan daya listrik yang efisien [2, 6]. Superkapasitor, juga dikenal sebagai ultrakapasitor adalah perangkat penyimpanan energi yang menjembatani kesenjangan kepadatan energi antara kapasitor tradisional dan baterai serta digunakan untuk melengkapi fungsi baterai dalam berbagai aplikasi [7, 8].

Pengembangan superkapasitor memberikan manfaat yang luar biasa pada kendaraan listrik hibrida dimana aplikasi superkapasitor dalam transportasi ini meliputi *stop and start* dan sistem pengereman regeneratif di *hybrid electric vehicles* (HEV) yang terjadi pada skala waktu beberapa detik saja [8]. Trem dan bus juga telah mendapat manfaat dari pengembangan superkapasitor dan ada banyak contoh bus listrik bertenaga superkapasitor (mengisi daya dengan cepat di halte bus) di seluruh dunia, terutama di Cina [9]. Superkapasitor dapat berfungsi sebagai sumber energi terbarukan yang dapat meningkatkan kualitas energi, hal ini diaplikasikan pada produk elektronik digital seperti peralatan elektronik konsumen, kamera digital, komputer, catu daya tak terputus (UPS), inverter, instalasi keamanan, bor, dan perangkat telekomunikasi [10].

Pengukuran performa dari superkapasitor menjadi hal yang sangat penting, karena perannya yang sangat bermanfaat seperti uraian di atas. Performa superkapasitor dapat diukur dengan metode pelepasan muatan galvanostatik (GCD), *cyclic voltammetry* (CV) dan spektroskopi impedansi elektrokimia (EIS) [11, 12]. Metode pengukuran akan menghasilkan penilaian kinerja elektrokimia superkapasitor melalui parameter seperti kapasitansi spesifik, masa pakai, laju pengisian-pengosongan dan tahanan listrik dari superkapasitor [12]. Alat *cyclic voltammetry* digunakan untuk mengukur parameter penting seperti pengukuran kapasitansi spesifik dan mengevaluasi siklus hidup superkapasitor. Kapasitansi spesifik (C_{sp}) didefinisikan sebagai kemampuan sel superkapasitor menyimpan muatan yang dinyatakan dengan satuan Farad (F). Kapasitansi spesifik sangat berpengaruh dalam menentukan kinerja superkapasitor [13].

Beberapa penelitian sebelumnya tentang pengukuran performa superkapasitor menggunakan *cyclic voltammetry* diantaranya dilakukan oleh Giannakou, dkk. (2020) mengenai karakteristik sifat elektrokimia superkapasitor NiO menggunakan *cyclic voltammetry*, dimana pengukuran elektrokimia menggunakan Gamry Interface 1000 E Potensiostat/Galvanostat/ZRA dan Gamry Reference 600+ Potensiostat/Galvanostat/ZRA [1]. Babu, dkk. (2019) tentang alat *cyclic voltammetry* untuk menilai kemampuan siklus hidup yang panjang dan kapasitansi spesifik yang tinggi pada superkapasitor kepingan nano $\text{Co}_3\text{O}_4/\text{CMC}$ [14]. Che, dkk. (2019) tentang pengujian kecepatan laju siklik dan stabilitas siklik menggunakan *cyclic voltammetry* pada superkapasitor dengan elektroda komposit polianilin/karbon nanotube berpori [15]. Namun, pada penelitian sebelumnya sulit dilakukan karena menggunakan sistem yang kompleks dan tidak adanya alat *cyclic voltammetry* yang tersedia secara umum di wilayah Sulawesi Selatan dan terkhusus di Universitas Hasanuddin, sehingga sulit untuk menguji kinerja dan karakteristik dari superkapasitor.

Pada penelitian ini akan dibuat alat *cyclic voltammetry* menggunakan biaya yang murah dengan tetap memperhatikan kinerja yang baik sesuai dengan *cyclic voltammetry* standar, hal ini dikarenakan alat paten *cyclic voltammetry* memiliki harga yang sangat mahal. Penelitian difokuskan untuk mengukur superkapasitor

dengan membuat alat *cyclic voltammetry* yang berbasis pada arduino UNO. Rangkaian yang digunakan pada *cyclic voltammetry* adalah rangkain potensiostat, dimana rangkaian ini digunakan untuk mengatur tegangan listrik dan mengukur arus listrik pada sel superkapasitor. Rangkaian potensiostat merupakan rangkaian yang sederhana tersusun atas beberapa resistor, dan penguat operasional atau op-amp [16]. Dimana arduino UNO digunakan untuk menyuplai tegangan masukan pada rangkaian potensiostat, serta mengolah data tegangan masukan dan arus keluaran dari sel superkapasitor untuk menghasilkan kurva hasil pengukuran *cyclic voltammetry*. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah eksperimen dan pengembangan. Metode ini digunakan karena proses fabrikasi yang mudah, dan biaya yang relatif murah serta diharapkan mampu memberikan informasi peforma superkapasitor pada sistem pengukuran yang sederhana.

I.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini, yaitu:

1. Bagaimana merancang dan membuat alat *cyclic voltammetry* berbasis arduino UNO?
2. Bagaimana mengkalibrasi alat *cyclic voltammetry* berbasis arduino UNO dengan alat *cyclic voltammetry* standar?
3. Bagaimana mengimplementasikan alat *cyclic voltammetry* pada superkapasitor dari biomassa?

I.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini, yaitu:

1. Merancang dan membuat alat *cyclic voltammetry* berbasis arduino UNO.
2. Mengkalibrasi alat *cyclic voltammetry* berbasis arduino UNO dengan alat *cyclic voltammetry* standar.
3. Mengetahui implementasi alat *cyclic voltammetry* pada superkapasitor dari biomassa.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

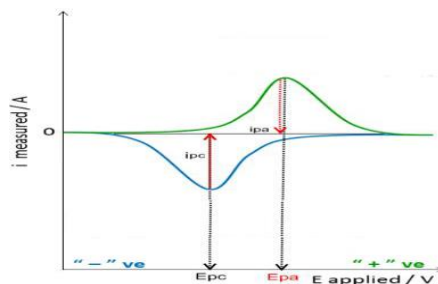
II.1 Cyclic Voltammetry

Pengukuran *cyclic voltammetry* merupakan salah satu teknik karakterisasi elektrokimia yang paling banyak digunakan [17]. Dalam percobaan pengukuran *cyclic voltammetry*, elektroda diatur agar menyentuh larutan elektrolit yang mengandung analit yang diinginkan. Permukaan elektroda kemudian dibias terhadap larutan, sedangkan gelombang potensial segitiga $E(t)$ diterapkan pada elektroda pembantu terhadap elektroda referensi [18]:

$$E(t) = \begin{cases} \pm\sigma t + E(t = 0) & \text{for } t < t_{1/2} \\ \mp\sigma(t - t_{1/2}) + E(t = t_{1/2}) & \text{for } t \geq t_{1/2} \end{cases} \quad (2.1)$$

di mana σ adalah laju pemindaian dan $t_{1/2}$ adalah setengah dari durasi satu siklus. Selama pemindaian tegangan dan arus elektroda, arus pada permukaan elektroda diukur dan menghasilkan beragam informasi tentang sifat reaksi pada permukaan elektroda [18].

Kurva *cyclic voltammetry* untuk superkapasitor ideal dengan laju pemindaian dan arus pengisian/pengosongan konstan adalah kurva hubungan arus dan tegangan berbentuk persegi panjang sempurna. Namun untuk superkapasitor praktis, kurva *cyclic voltammetry* selalu sedikit menyimpang dari persegi panjang ideal karena reaksi redoks dapat berlangsung pada permukaan elektroda. Oleh karena itu, bentuk kurva *cyclic voltammetry* dapat mencerminkan kinerja superkapasitor, yaitu semakin dekat ke persegi panjang, semakin baik kinerja kapasitansi, bentuk kurva *cyclic voltammetry* juga membantu untuk menentukan jenis reaksi redoks yang terjadi pada superkapasitor [11].



Gambar 2.1 Voltammogram siklik [16].

Hasil dari *cyclic voltammetry* ini adalah kurva hubungan antara arus dan potensial yang disebut voltammogram siklik seperti Gambar 2.1 [16], 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* [16].

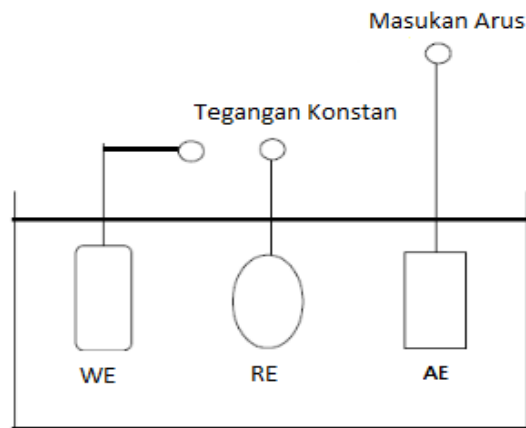
II.2 Potensiostat

Potensiostat adalah alat penting dalam penelitian elektrokimia. Ini memungkinkan eksperimen untuk menerapkan potensial ke sistem (yaitu sel elektrokimia) dan mengukur arus yang dihasilkan [19]. Sensor elektrokimia dan potensiostat merupakan perangkat yang biasa digunakan untuk melakukan pengukuran elektrokimia. Dalam sensor elektrokimia terdapat elektroda-elektroda yang mengubah sinyal yang dihasilkan dari reaksi kimia menjadi sinyal listrik yang selanjutnya dapat diukur secara elektronik. Sensor elektrokimia untuk laboratorium biasanya memiliki konfigurasi 2 atau 3 elektroda yang bersentuhan langsung dengan sampel yang akan diukur [20].

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 pembantu/pengimbang. Fungsi potensiostat adalah mengalirkan tegangan tertentu pada elektroda kerja terhadap elektroda referensi dengan cara mengalirkan arus melalui elektroda pengimbang [21].

II.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 2.2 [21].



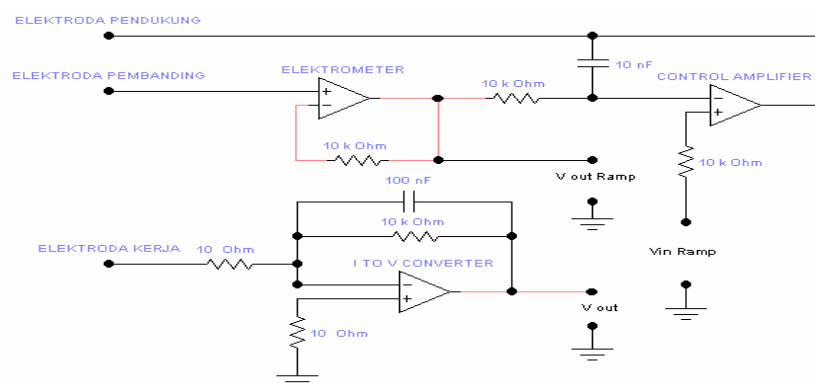
Gambar 2.2 Prinsip kerja potensiostat pada tiga elektroda [21].

Reference electrode adalah elektroda yang memiliki tegangan potensial yang stabil dan tetap. Bahan yang banyak dipakai untuk *reference electrode* adalah Ag/Ag Cl. *Working electrode* adalah elektroda dimana reaksi kimia berlangsung. *Working electrode* biasanya terbuat dari logam mulia (inert metals) seperti emas (Au), perak (Ag), platina (Pt) atau inert carbon seperti pasta karbon, *glassy carbon* atau *pyrolytic carbon*. *Auxiliary electrode* atau lebih dikenal dengan *counter electrode* merupakan elektroda yang berfungsi untuk memastikan bahwa arus tidak mengalir ke *reference electrode* sehingga tidak mengganggu potensial pada *reference electrode*. Bahan yang digunakan untuk *counter electrode* adalah platina (Pt), grafit atau *glassy carbon* [20].

Prinsip kerja potensiostat adalah memberikan tegangan konstan pada elektroda acuan (*reference electrode*) dan mengukur arus yang mengalir pada elektroda kerja (*working electrode*). Elektroda pendukung (*auxiliary electrode*) 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 [21]. Untuk merealisasikan kerja sebuah potensiostat, kita membutuhkan sebuah *op-amp* (*Operational Amplifier*) yang dihubungkan pada ketiga elektroda seperti terlihat pada Gambar 2.3 [22].

Rangkaian potensiostat ini terdiri tiga bagian yaitu: *control amplifier*, *electrometer* dan *current-to-voltage converter*. Masing-masing bagian menggunakan *op-amp* (*Operational Amplifier*). *Control amplifier* dan *Electrometer* merupakan rangkaian *voltage follower*. *Control amplifier* didalam rangkaian potensiostat ini berfungsi untuk memastikan perbedaan tegangan antara elektroda kerja terhadap elektroda pembanding sesuai dengan nilai scan tegangan yang telah diberikan. Sedangkan *electrometer* merupakan rangkaian *voltage follower* yang memiliki impedansi yang sangat tinggi, sehingga potensial elektroda pembanding cukup konstan karena tidak ada arus yang melewati elektroda pembanding. Rangkaian *current-to-voltage converter* berfungsi mengkonversi sinyal arus yang timbul melalui elektroda kerja menjadi tegangan. Besarnya tegangan proporsional terhadap arus tergantung pada tegangan jatuh resistor (*IR drop*). Kapasitor pada rangkaian *current-to-voltage converter* berguna untuk menghilangkan noise frekuensi tinggi dari hasil pengukuran [22].

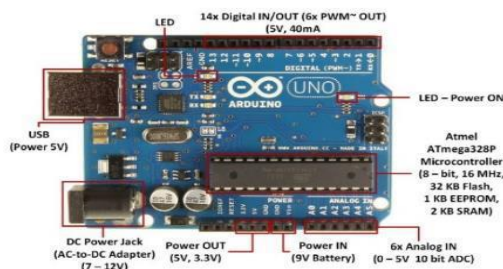


Gambar 2.3 Rangkaian potensiostat [22].

II.3 Arduino UNO

Arduino UNO adalah papan mikrokontroler yang berbasis ATmega328 [23]. Modul terbaru dari arduino UNO adalah modul arduino UNO R3 (arduino

UNO revisi 3) yang menggunakan mikrokontroler ATmega328P 8 bit yang ditempatkan pada papan sirkuit yang dilengkapi dengan pin *input/output* (I/O), konektor (USB, power) dan komponen lain yang diperlukan untuk pengoperasian mikrokontroler [24]. Bagian-bagian penting lainnya, arduino UNO memiliki 6 pin *input* analog untuk pengukuran sinyal dan pin I/O digital sebanyak 14 pin diantaranya ada 6 pin *output* sinyal PWM, sebuah kristal kuarsa 16 MHz, dan satu tombol *reset* [23, 24].



Gambar 2.4 Modul arduino UNO [24].

Arduino terdiri dari dua bagian utama, yaitu perangkat lunak (*software*) dan perangkat keras (*hardware*). Perangkat lunaknya berupa sebuah aplikasi yang disebut dengan arduino IDE. Arduino IDE adalah software yang digunakan untuk membuat, menulis, memodifikasi, dan mengunggah kode program arduino. Sedangkan perangkat kerasnya berupa sebuah board [25]. Program dalam mikrokontroler arduino UNO akan melakukan proses perhitungan terhadap data-data arus dan tegangan, yang telah dibaca melalui internal *analog to digital converter* (ADC) dari mikrokontroler arduino UNO [26].

Atmega 328 adalah chip mikrokontroler 8-bit berbasis AVR-RISC buatan Atmel yang memiliki 32 KB memori ISP flash dengan kemampuan baca-tulis (*read/write*), 1 KB EEPROM, 2 KB SRAM dan karena kapasitas memori *flash* sebesar 32 KB inilah kemudian chip ini diberi nama ATmega328p. Kelengkapan fitur yang terdapat dalam modul arduino UNO membuat modul ini mudah untuk digunakan, hanya dengan menghubungkan modul arduino UNO dengan PC/laptop menggunakan kabel USB atau menggunakan adapter DC – DC, maka modul siap digunakan. Modul arduino UNO merupakan sebuah platform komputasi fisik yang bersifat *open source*. Dalam penggunaannya, modul arduino UNO disandingkan

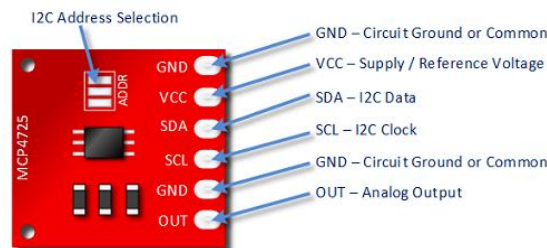
dengan sebuah bahasa pemrograman C yang dituliskan menggunakan IDE (*Integrated Development Environment*) [27].

II.4 MCP4725

Arduino UNO tidak memiliki *output* analog oleh karena itu untuk menghasilkan sinyal gelombang untuk karakteristik frekuensi, arduino UNO harus menggunakan papan tambahan yang akan berfungsi sebagai konverter digital-analog. Perangkat tambahan tersebut adalah MCP4725 [24]. Modul DAC MCP4725 yang dapat mengubah sinyal PWM (*pulse width modulation*) yang dimiliki arduino ke sinyal analog, sehingga dapat digunakan 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 2.2 [16]:

$$\frac{5 \text{ volt}}{4095} = 0.00122 \text{ volt} \quad (2.2)$$

diperoleh tegangan potensial minimal dari MCP4725 adalah 0.00122 volt atau 1,22 milivolt.

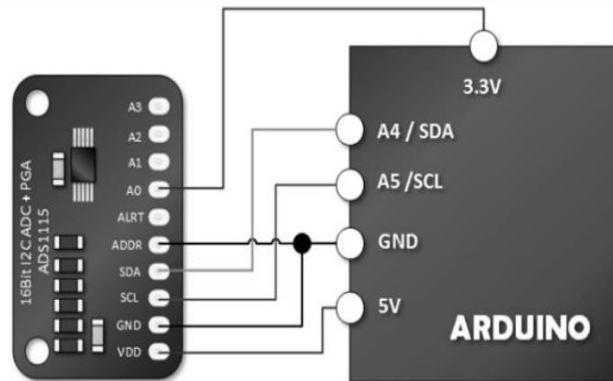


Gambar 2.5 Modul MCP4725

II.5 ADS1115

ADS1115 adalah IC *analog to digital converter* (ADC) yang akurat dengan resolusi 16-bit yang dikemas dalam bentuk MSOP-10 package. Beberapa unjuk-kerja dari IC ADS1115 di-antaranya adalah mempunyai oscillator dan tegangan referensi internal, dapat melakukan transfer data melalui komunikasi serial berbasis I²C (menggunakan pin SCL dan SDA), mempunyai 4 alamat (0x48h, 0x49h, 0x0Ah, dan 0x4Bh) yang dapat dipilih, dapat dioperasikan menggunakan sumber tegangan tunggal dari 2 volt sd 5,5 volt, dan mempunyai kecepatan konversi sampai 860 sps (*samples per second*). ADS1115 dapat diaplikasikan sebagai *portable*

instrumentation, battery-voltage monitoring, dan controls. Konfigurasi secara hardware untuk menghubungkan IC ADS1115 (alamat 0x48h) ke papan arduino menggunakan koneksi serial berbasis I²C ditunjukkan pada Gambar 2.6 [28].



Gambar 2.6 Konfigurasi *hardware* antara ADS1115 (alamat 0x48h) dengan system arduino menggunakan koneksi I²C [28].

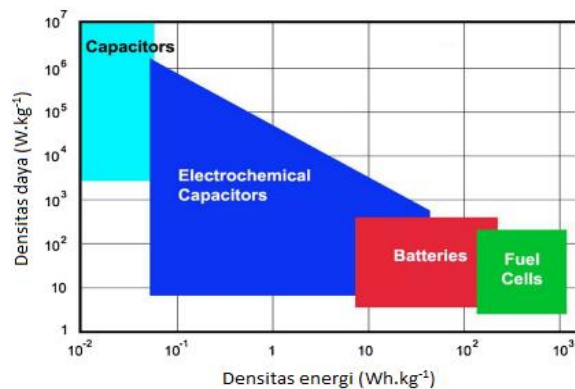
Rentang *input* modul ADS1115 dapat diatur melalui pengaturan program di arduino IDE. Rentang *input* yang dimiliki modul ADS1115 +/- 6.144 volt dengan faktor skala 0.1875 mV, +/- 4.094 volt dengan faktor skala 0.125 mV, +/- 2.048 volt dengan faktor skala 0.0625 mV, +/- 1.024 volt dengan faktor skala 0.03125 mV, +/- 0.512 volt dengan faktor skala 0.015625 mV, dan +/- 0.256 volt dengan faktor skala 0.0078125 mV [29].

Komponen ADS1115 dapat digunakan sebagai voltmeter, ADC dapat mengukur tegangan menggunakan pengukuran diferensial untuk mengukur tegangan negatif jika polaritas terbalik. Agar pemrograman arduino UNO dapat menjalankan suatu program dengan ADC. Arduino UNO dapat berkomunikasi dengan ADC melalui komunikasi I²C (Inter-Integrated Circuit) dengan menghubungkan masing-masing pin SCL dan SDA seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.6. Arduino UNO perlu mengakses alamat 0x48 pada ADS1115 agar komunikasi dapat terjadi [30].

II.6 Superkapasitor

Kapasitor elektrokimia, disebut juga superkapasitor atau ultrakapasitor, adalah komponen listrik yang mampu menyimpan dan menampung sejumlah energi tertentu [31]. Superkapasitor adalah perangkat penyimpan energi yang dapat

menutupi kekurangan baterai. Tidak seperti baterai, yang menggunakan reaksi kimia untuk menyimpan energi, superkapasitor umumnya menyimpan energi melalui pemisahan muatan listrik secara fisika [32]. Sebagian besar superkapasitor saat ini memiliki kapasitas lebih dari beberapa ribu Farad dan dapat memberikan arus *charge-discharge* dalam kisaran dari sepersepuluh hingga seperseratus Ampere. Keuntungan utama superkapasitor dari sudut pandang aplikasi adalah arus yang sangat tinggi (dibandingkan dengan baterai) yang dapat dioperasikan. Superkapasitor dianggap sebagai teknologi inovatif yang berkembang pesat karena dua sifat luar biasa mereka: (1) stabilitas siklik jangka panjang dan (2) kinerja daya tinggi [33]. Berkat sifat karakteristik ini, superkapasitor mengisi celah kosong di antara perangkat penyimpan energi antara baterai (akumulator) dan kapasitor biasa [31]. Perbandingan perangkat penyimpanan energi yang berbeda ditunjukkan pada Gambar 2.7.



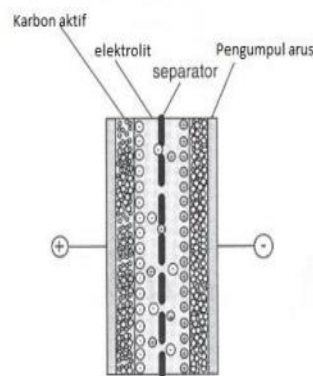
Gambar 2.7 Densitas daya sebagai fungsi densitas energi untuk berbagai perangkat penyimpanan energi [31].

Kapasitor biasa memiliki densitas daya yang tinggi berkisar pada $5000 - 10^7$ W.kg^{-1} akan tetapi memiliki densitas energi yang rendah berkisar pada $0,01 - 0,1$ Wh.kg^{-1} . Disisi lain, baterai memiliki densitas energi yang tinggi berkisar pada $10 - 500$ Wh.kg^{-1} akan tetapi memiliki densitas daya yang rendah berkisar pada $10 - 500$ W.kg^{-1} . Superkapasitor mengisi celah kosong di antara perangkat penyimpan energi antara baterai (akumulator) dan kapasitor biasa (lihat Gambar 2.8). Superkapasitor memiliki densitas energi yang lebih besar dibandingkan kapasitor biasa berkisar pada $0,1 - 50$ Wh.kg^{-1} , dan memiliki densitas daya yang lebih besar dibandingkan baterai berkisar pada $10 - 10^6$ W.kg^{-1} . Ini mendukung

penggunaannya dibandingkan dengan perangkat penyimpan energi lainnya dalam sistem hemat energi [31].

II.6.1 Prinsip Kerja dan Bagian-bagian Superkapasitor

Semua superkapasitor terdiri dari dua elektroda yang direndam dalam larutan konduktif atau polimer konduktif yang disebut elektrolit. Elektroda dipisahkan oleh pemisah/separator berbahan dielektrik yang bukan hanya untuk mencegah agar tidak terjadi tumpang tindih muatan pada kedua elektroda tetapi juga memiliki sifat listrik yang mempengaruhi kinerja superkapasitor. Rangkaian superkapasitor seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.8 [32].



Gambar 2.8 Rangkaian superkapasitor secara umum.

Komponen utama dari rangkaian superkapasitor adalah [32]:

1. Aluminium tipis/aluminium foil yang dilekatkan dengan elektroda, aluminium foil ini juga berfungsi sebagai pengumpul arus/*current collector*.
2. Elektroda merupakan karbon aktif dengan luas permukaan yang tinggi dan bersifat konduktif dan ditambahkan binder atau perekat, sehingga bila muatan listrik dihubungkan pada material, medan listrik yang dihasilkan berfungsi seperti dielektrik yang membentuk lapisan ganda listrik dimana ketebalan lapisan ganda listrik tersebut setipis molekul. Luas permukaan lapisan karbon aktif sangat besar yang dapat menghasilkan listrik pada beberapa ribu meter persegi per gram. Luas permukaan yang besar ini memungkinkan penyerapan sejumlah besar ion. Pengisian / pengosongan terjadi dalam lapisan absorpsi ion yang terbentuk pada elektroda karbon aktif.

3. Separator/pemisah, bisa berupa plastik atau kertas yang direndam dengan elektrolit cair. Separator sebagai pemisah antara permukaan elektroda yang meningkatkan nilai kapasitansi.

Bila potensial listrik diterapkan pada kedua elektroda, maka terjadi perbedaan potensial pada antarmuka elektroda-elektrolit. Pada antarmuka elektrostatik ini terdiri dari lapisan ganda antara ion dalam elektrolit dan muatan elektronik pada elektroda. Pada superkapasitor, penyimpanan energi disebabkan oleh pemisahan muatan elektronik dan ion pada antarmuka antara elektroda aktif dan larutan elektrolit [32].

II.6.2 Kapasitansi Spesifik Superkapasitor

Kapasitansi spesifik (C_{sp}) didefinisikan sebagai kemampuan sel superkapasitor menyimpan muatan terhadap rasio massa elektroda karbon yang dinyatakan dengan satuan $F g^{-1}$. Kapasitansi spesifik sangat berpengaruh dalam menentukan kinerja superkapasitor. Salah satu cara pengukuran kapasitansi spesifik dapat dilakukan dengan metode siklik voltametri (CV). Pengukuran dengan metode CV dilakukan dengan menyuplai potensial dalam range potensial tertentu. Respon pemberian tegangan yang dihasilkan oleh sebuah sel superkapasitor adalah berupa nilai rapat arus, dimana nilai arus ditentukan oleh pergerakan ion-ion didalam sebuah pori elektroda dalam membentuk lapisan pasangan muatan. Kenaikan potensial dalam tiap selang waktu tertentu dikenal dengan istilah laju scan atau laju imbasan. Semakin tinggi laju imbasan akan menyebabkan semakin sedikit kesempatan ion untuk masuk dengan sempurna kedalam pori-pori elektroda, sehingga akan semakin rendah respon arus yang dihasilkan. Akhirnya akan mengurangi nilai kapasitansi spesifik yang dihasilkan [34].

Nilai kapasitansi spesifik superkapasitor dihitung dengan menggunakan persamaan 2.3 [34]:

$$C_{sp} = \frac{I_c - I_d}{s \times m} \quad (2.3)$$

Dimana, C_{sp} adalah kapasitansi spesifik ($F g^{-1}$), I_c adalah arus charge (A), I_d adalah arus discharge (A), s adalah laju scan (mV/s) dan m adalah massa rata-rata (g) [34].

BAB III

METODE PENELITIAN

III.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini telah dilakukan mulai dari bulan Agustus 2021 hingga Juni 2022. Tahapan persiapan dan pembuatan alat bertempat di Laboratorium Elektronika dan Instrumentasi Departemen Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin Makassar dan tahapan kalibrasi alat serta pengambilan data bertempat di Laboratorium Material Departemen Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Riau.

III.2 Alat dan Bahan Penelitian

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu:

1. *Tools kit* berfungsi sebagai alat pendukung rangkaian alat *cyclic voltammetry*.
2. Multimeter berfungsi untuk mengukur tegangan, hambatan dan besar arus listrik pada rangkaian sensor.
3. *Personal computer* (PC) berfungsi untuk menjalankan program, menerima data dan menampilkan tegangan keluaran dari alat *cyclic voltammetry*.
4. Arduino UNO dan mikrokontroler Atmega328P berfungsi untuk mengontrol kerja sistem alat *cyclic voltammetry*.
5. Arduino IDE berfungsi sebagai perangkat lunak untuk membuat, menjalankan dan mengolah program mikrokontroler.
6. Operational amplifier tipe IC OP97 berfungsi untuk membuat rangkaian potensiostat.
7. MCP4725 berfungsi sebagai konverter digital ke analog pada arduino UNO.
8. ADS1115 berfungsi sebagai converter analog ke digital pada arduino UNO
9. Catu daya berfungsi sebagai pemberi tegangan kerja pada IC OP97.
10. Elektroda berfungsi sebagai bahan penyusun sel superkapasitor.
11. Karbon aktif dari biomassa yang berfungsi sebagai elektroda.
12. *Membrane* kulit telur itik sebagai separator.
13. H₂SO₄ sebagai larutan elektrolit.