

**KINERJA KARBON AKTIF SABUT KELAPA SEBAGAI ELEKTRODA
KAPASITOR LAPIS RANGKAP LISTRIK**

SKRIPSI SARJANA KIMIA

OLEH :

NATASHA DWI PUTRI

BP : 1610413005



JURUSAN KIMIA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS ANDALAS

PADANG

2021

**KINERJA KARBON AKTIF SABUT KELAPA SEBAGAI ELEKTRODA
KAPASITOR LAPIS RANGKAP LISTRIK**

OLEH :

NATASHA DWI PUTRI

BP : 1610413005



Skripsi ditulis untuk memperoleh gelar Sarjana Sains pada Jurusan Kimia
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Andalas

JURUSAN KIMIA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS ANDALAS

PADANG

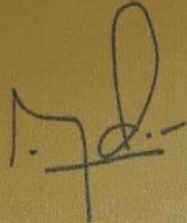
2021

HALAMAN PENGESAHAN

"Kinerja Karbon Aktif Sabut Kelapa sebagai Elektroda Kapasitor Lapis Rangkap Listrik" merupakan skripsi sarjana kimia yang diajukan oleh Natasha Dwi Putri (1610413005) sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains (Strata 1) pada Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Andalas.

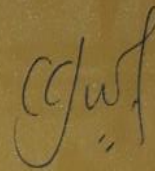
Disetujui Oleh:

Pembimbing I



Prof. Dr. Hermansyah Aziz
NIP. 195301261979031002

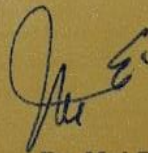
Pembimbing II



Olly Norita Tetra, M.Si
NIP. 197312052005012001

Mengetahui,

Ketua Jurusan Kimia



Dr. Mai Efdi
NIP. 197205301999031003

HALAMAN PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa Skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar keserjanaan di suatu Perguruan Tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka

Padang, Februari 2021



Natasha Dwi Putri

INTISARI

“Kinerja Karbon Aktif Sabut Kelapa sebagai Elektroda Kapasitor Lapis Rangkap Listrik”

Oleh:

Natasha Dwi Putri (NBP : 1610413005)

Prof. Dr. Hermansyah Aziz*, Olly Norita Tetra, M.Si*

***Pembimbing**

Kinerja karbon aktif sabut kelapa sebagai elektroda kapasitor lapis rangkap listrik telah dipelajari. Kapasitor lapis rangkap listrik dirakit seperti *sandwich* dan dipisahkan dengan separator PVA (Polivinil Akhohol) yang mengandung larutan elektrolit H_3PO_4 di antara kedua elektroda. Proses karbonisasi dilakukan secara satu tahap menggunakan aktivator KOH dengan perbandingan 1:2 (berat sabut kelapa : KOH) pada suhu $400^\circ C$ selama 2 jam. Karbon aktif yang dihasilkan dikarakterisasi menggunakan *Scanning Electron Microscopy – Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX), *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FT-IR), dan *Surface Area Analyzer* (SAA). Hasil karakterisasi SEM-EDX menunjukkan terbentuknya pori pada karbon aktif dengan persentase karbon sebesar 67,70% dan berdasarkan karakterisasi SAA didapatkan luas permukaan spesifik sebesar $1,2561 \text{ m}^2/\text{g}$, volume pori $0,004235 \text{ cm}^3/\text{g}$, serta diameter pori 20,1256 nm. Kapasitor lapis rangkap listrik menghasilkan nilai kapasitansi dan konduktivitas maksimum masing – masing sebesar 18,83 mF dan $4,65 \times 10^{-4} \Omega^{-1} \text{ cm}^{-1}$ dengan ukuran plat elektroda $3 \times 9 \text{ cm}^2$, frekuensi 100 Hz, tebal rangkaian 1,27 mm, konsentrasi larutan elektrolit H_3PO_4 0,25 N dan waktu pengisian selama 30 menit.

Kata kunci: Karbon Aktif Sabut Kelapa, Kapasitor Lapis Rangkap Listrik, Kapasitansi, Aktivator KOH

ABSTRACT

“Performance of Coconut Husk Activated Carbon as Electric Double Layer Capacitor Electrode Material”

By:

Natasha Dwi Putri (NBP : 1610413005)

Prof. Dr. Hermansyah Aziz*, Olly Norita Tetra, M.Si*

*Advisor

Performance of coconut husk activated carbon as electric double layer capacitor (EDLC) electrode material has been studied. Electric double layer capacitor (EDLC) was assembled like a sandwich and separated by PVA (Polyvinyl Alkohol) separator which containing H_3PO_4 electrolyte between two electrodes. Carbonization process was doing by one-step carbonization and conducted by using coconut husk-to-KOH mass ratios as 1:2. Activated carbon was characterized by Scanning Electron Microscopy – Energy Dispersive X-Ray (SEM-EDX), Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR), and Surface Area Analyzer (SAA). The result of SEM-EDX characterization shows that the pores begin to form with the percentage of Carbon is 67.70% and based on SAA characterization result obtained that specific surface area of coconut husk is $1.2516 \text{ m}^2/\text{g}$, pores volumes is $0.0042356 \text{ cm}^3/\text{g}$ and pores diameter is 20.1256 nm . Electric double layer capacitor obtained the maximum value of capacitancy and conductivity that is 18.83 mF and $4.65 \times 10^{-4} \Omega^{-1} \text{ cm}^{-1}$, respectively with $3 \times 9 \text{ cm}^2$ plat area, frequency is 100 Hz , H_3PO_4 electrolyte concentration is 0.25 N and charging times is 30 minutes.

Keyword: Coconut husk activated carbon, electric double layer capacitor, capacitancy, KOH activating agent

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “**Kinerja Karbon Aktif Sabut Kelapa sebagai Elektroda Kapasitor Lapis Rangkap Listrik**”. Dalam penulisan skripsi ini penulis banyak mendapatkan bimbingan, bantuan serta semangat dari berbagai pihak. Pada kesempatan kali ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih dan penghargaan sebesar – besarnya kepada :

1. Kedua orang tua penulis Jaini, S.H (Mama) dan Erman B. (Papa) yang telah memberikan segalanya agar penulis dapat menyelesaikan studi di bangku perkuliahan, juga kepada Irenne Rizki Ananda (Kakak) dan Dharma Tryeman Saputra (Adek) yang telah memberikan banyak support kepada penulis.
2. Bapak Prof. Dr. Hermansyah Aziz dan Ibu Olly Norita Tetra, M.Si selaku Pembimbing I dan II yang bersedia memberikan bimbingan, arahan dan motivasi kepada penulis selama menjalani tahun akhir perkuliahan.
3. Ibu Olly Norita Tetra, M.Si selaku dosen Pembimbing Akademik yang telah memberikan nasihat dan masukan kepada penulis serta rela mendengar keluh kesah penulis selama masa perkuliahan.
4. Bapak Dr. Syukri selaku Koordinator Pendidikan S1 Jurusan Kimia yang telah memberikan banyak bantuan kepada penulis selama perkuliahan penulis.
5. Ibu Refinel, MS, Bapak Yeni Stiadi, MS, dan Ibu Dr. rer.nat. Syafrizayanti yang telah bersedia menjadi penguji pada ujian sarjana dan memberikan saran – saran dalam penulisan skripsi penulis.
6. Seluruh Dosen dan Staf Jurusan Kimia Universitas Andalas yang telah memberikan banyak bantuan kepada penulis selama masa perkuliahan.
7. Seluruh analis – analis laboratorium Jurusan Kimia Universitas Andalas yang pernah berurusan dengan penulis.
8. Saudara BP. 005 yang banyak memberikan warna selama masa perkuliahan penulis terutama Sobep (Riga Oktry Silpa, Venia Wahyuni, dan Wahyu Nindia Putri) tak lupa Bang Harry Hidayat yang mau mendengarkan curhatan penulis selama ini.
9. Tim sukses (Firman Al-Jufri dan Raesta Sidiq) yang rela direpotkan oleh penulis baik selama masa perkuliahan maupun selama masa mengejar gelar sarjana.

10. Teman “bercerita” (Rini Ramadani, Yuzia Siti Nurhamimah, Muhammad Chairawan, dan Alber Erfan Mohammad) yang rela mendengarkan keluh kesah penulis selama ini.
11. Noer Fadhillah yang telah berbaik hati memberikan tempat tinggal dan bernaung bagi penulis selama masa mengejar gelar sarjana.
12. Saudara sepebimbingan Superkapasitor Squad (Mahfuz Imami, Clalitya Akmal, Helviya Muhardini, Ilman Gilang Perkasa SM, Ronnie Ichsanul Irsal, dan Muhammad Ghufuran) serta Jusmarni yang telah melewati suka dan duka tahun akhir bersama – sama.
13. Rekan – rekan penelitian Kimia Fisika (Barbarian KF) yang sama – sama berjuang dalam penelitian untuk memperoleh gelar sarjana.
14. Rekan – rekan “pak maly orangnya santuy” (yang namanya tidak dapat disebutkan satu persatu) karena telah memberikan tawa dan hiburan dikala pusing melanda akibat tahun akhir.
15. Rekan - rekan KomSekBen (Ronnie Ichsanul Irsal, Iqbal Desriman, Halimah Fahri, Cori Yolanda Elise, dan Mutia Hanifah) dimana kita memiliki kenangan suka dan duka mulai dari awal perkuliahan hingga semuanya menjadi begitu tidak peduli.
16. Keluarga besar OKS16EN (Kimia Angkatan 2016) yang sama – sama berjuang dari awal hingga akhirnya mencapai tujuan masing – masing.
17. Teruntuk “kamu” yang sempat memberikan warna dan menjadi pelengkap buku cerita masa perkuliahan penulis.
18. Seluruh pihak yang telah banyak membantu dan memberikan motivasi kepada penulis walau tidak dapat disebutkan satu persatu.

Akhir kata penulis berharap kepada seluruh pihak yang banyak membantu penulis selama ini kebajikannya dibalas oleh Allah SWT. Penulis menyadari bahwa manusia adalah makhluk yang tidak sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritikan dan saran yang membangun dari semua pihak untuk kesempurnaan skripsi ini, semoga skripsi ini bermanfaat untuk pengembangan dalam ilmu pengetahuan.

Padang, Februari 2021

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	iii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
INTISARI	v
ABSTRACT	vi
UCAPAN TERIMA KASIH	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG	xiv
BAB I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Manfaat Penelitian	2
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 Kapasitor Lapis Rangkap Listrik	3
2.2 Karbon Aktif	5
2.3 Sabut Kelapa	7
2.4 <i>Scanning Electron Microscopy - Energy Dispersive X-Ray (SEM-EDX)</i>	8
2.5 <i>Fourier Transform Infrared (FT-IR)</i>	8
2.6 <i>Surface Area Analyzer (SAA)</i>	9
2.7 LCR - Meter	9
2.8 Pengaruh Larutan Elektrolit terhadap Kapasitansi Spesifik Kapasitor Lapis Rangkap listrik	10
BAB III. METODE PENELITIAN	12
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	12
3.2 Alat dan Bahan	12
3.2.1 Alat	12
3.2.2 Bahan	12
3.3 Prosedur Kerja	12
3.3.1 Pembuatan Larutan Elektrolit H_3PO_4	12
3.3.2 Pembuatan Separator	12
3.3.3 Preparasi Karbon Aktif Sabut Kelapa	13
3.3.4 Karakterisasi Karbon Aktif Sabut Kelapa	13
3.3.5 Pembuatan Plat Elektroda Kapasitor Lapis Rangkap Listrik	13
3.3.6 Pengukuran Sifat - Sifat Listrik dari Rangkaian Kapasitor Lapis Rangkap Listrik	14
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	15
4.1 Karakterisasi Karbon Aktif sebagai Elektroda Kapasitor Lapis Rangkap Listrik	15
4.1.1 <i>Scanning Electron Microscopy (SEM)</i>	15
4.1.2 <i>Energy Dispersive X-Ray (EDX)</i>	16
4.1.3 <i>Fourier Transform Infrared (FT-IR)</i>	17
4.1.4 <i>Surface Area Analyzer (SAA)</i>	18
4.2 Pengukuran Sifat - Sifat Listrik	19

4.2.1 Pengaruh Variasi Massa Karbon Aktif terhadap Nilai Kapasitansi dari Elektroda Kapasitor Lapis Rangkap Listrik	19
4.2.2 Pengaruh Variasi Frekuensi terhadap Nilai Kapasitansi dari Elektroda Kapasitor Lapis Rangkap Listrik.....	20
4.2.3 Pengaruh Variasi Ukuran Plat Elektroda terhadap Nilai Kapasitansi dari Elektroda Kapasitor Lapis Rangkap Listrik	21
4.2.4 Pengaruh Variasi Konsentrasi Larutan Elektrolit H ₃ PO ₄ terhadap Nilai Kapasitansi dari Elektroda Kapasitor Lapis Rangkap Listrik.....	22
4.2.5 Pengaruh Variasi Konsentrasi Larutan Elektrolit H ₃ PO ₄ terhadap Nilai Konduktivitas dari Elektroda Kapasitor Lapis Rangkap Listrik.....	23
4.2.6 Pengaruh Variasi Waktu Pengisian terhadap Nilai Kapasitansi dari Elektroda Kapasitor Lapis Rangkap Listrik	23
4.2.7 Pengaruh Variasi Waktu Pengisian terhadap Sifat Listrik Kapasitor Lapis Rangkap Listrik	24
4.2.7.1 Pengaruh Waktu Pengisian terhadap Arus Listrik	24
4.2.7.2 Pengaruh Waktu Pengisian terhadap Tegangan Listrik.....	25
4.2.8 Hubungan Kapasitansi, Muatan, dan Jumlah Elektron Kapasitor Lapis Rangkap Listrik.....	26
BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN	27
5.1 Kesimpulan.....	27
5.2 Saran.....	27
DAFTAR PUSTAKA	28
LAMPIRAN	32



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Proses pengisian – pengosongan pada kapasitor lapis rangkap listrik	4
Gambar 2.2	Skema lapis rangkap listrik pada kapasitor lapis rangkap listrik	5
Gambar 2.3	Struktur permukaan karbon aktif yang mengandung oksigen	6
Gambar 2.4	Tipe – tipe isotherm berdasarkan IUPAC	9
Gambar 3.1	Rangkaian kapasitor lapis rangkap listrik metode plat	13
Gambar 4.1	Hasil karakterisasi SEM karbon aktif sabut kelapa dengan suhu karbonisasi 400°C selama 2 jam dan ukuran partikel 45 µm pada perbesaran 10.000x	15
Gambar 4.2	Spektrum FT-IR karbon aktif sabut kelapa dengan suhu karbonisasi 400°C selama 2 jam dan ukuran partikel 45 µm	17
Gambar 4.3	Kurva isotherm BET karbon aktif yang dikarbonisasi pada suhu 400°C selama 2 jam dengan ukuran partikel 45 µm	18
Gambar 4.4	Hubungan rata – rata diameter pori dan volume pori berdasarkan metode BJH	19
Gambar 4.5	Pengaruh variasi massa karbon terhadap nilai kapasitansi dari elektroda kapasitor lapis rangkap listrik	20
Gambar 4.6	Pengaruh variasi frekuensi terhadap nilai kapasitansi dari kapasitor lapis rangkap listrik	20
Gambar 4.7	Pengaruh variasi luas penampang elektroda terhadap nilai kapasitansi dari elektroda kapasitor lapis rangkap listrik	21
Gambar 4.8	Pengaruh variasi konsentrasi larutan elektrolit H ₃ PO ₄ terhadap nilai kapasitansi dari elektroda kapasitor lapis rangkap listrik	22
Gambar 4.9	Pengaruh variasi konsentrasi larutan elektrolit H ₃ PO ₄ terhadap nilai konduktivitas dari elektroda kapasitor lapis rangkap listrik	23
Gambar 4.10	Pengaruh variasi waktu pengisian terhadap nilai kapasitansi dari elektroda kapasitor lapis rangkap listrik	24
Gambar 4.11	Pengaruh waktu pengisian terhadap arus listrik dari kapasitor lapis rangkap listrik	25
Gambar 4.12	Pengaruh waktu pengisian terhadap tegangan listrik dari kapasitor lapis rangkap listrik	25

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Persyaratan karbon aktif menurut Standar Nasional Indonesia (SNI. 06-3730-1995)	6
Tabel 2.2	Komposisi senyawa yang terdapat dalam sabut kelapa	7
Tabel 2.3	Perbandingan karakteristik antara karbon aktif sabut kelapa dengan karbon aktif komersial berdasarkan beberapa parameter fisika dan kimia	8
Tabel 4.1	Komposisi unsur dalam karbon aktif sabut kelapa yang diaktivasi menggunakan KOH pada suhu karbonisasi 400°C selama 2 jam berdasarkan EDX	17
Tabel 4.2	Hubungan kapasitansi, muatan, dan jumlah elektron kapasitor lapis rangkap listrik	26



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Skema Kerja	32
Lampiran 2	Perhitungan Pembuatan Larutan Elektrolit H_3PO_4	34
Lampiran 3	Perhitungan Nilai Konduktivitas	35
Lampiran 4	Perhitungan Nilai Muatan Dan Jumlah Elektron	36
Lampiran 5	Tabel Pengukuran Sifat Listrik terhadap Nilai Kapasitansi pada Variasi Massa Karbon	37
Lampiran 6	Tabel Pengukuran Sifat Listrik terhadap Nilai Kapasitansi pada Variasi Frekuensi	39
Lampiran 7	Tabel Pengukuran Sifat Listrik terhadap Nilai Kapasitansi pada Variasi Ukuran Plat Elektroda	40
Lampiran 8	Tabel Pengukuran Sifat Listrik terhadap Nilai Kapasitansi pada Variasi Konsentrasi Larutan Elektrolit H_3PO_4	42
Lampiran 9	Tabel Pengukuran Sifat Listrik terhadap Nilai Kapasitansi pada Variasi Waktu Pengisian	44
Lampiran 10	Tabel Pengaruh Lama Waktu Pengisian Terhadap Arus dan Tegangan Listrik	46



DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG

Singkatan	Nama	Pemakaian pertama pada halaman
B3	Bahan beracun dan berbahaya	1
KOH	Kalium Hidroksida	1
EDLC	Electric Double Layer Capacitor	4
SEM-EDX	Scanning Electron Microscopy – Energy Dispersive X-Ray	8
FT-IR	Fourier Transform Infrared	8
SAA	Surface Area Analyzer	9
IUPAC	International of Pure and Applied Chemistry	9
Csp	Kapasitansi spesifik	10
HCl	Asam Klorida	11
H ₃ PO ₄	Asam Pospat	11
PVA	Polivinil Alkohol	11
N ₂	Nitrogen	15
BET	Brunauer Emmet Teller	17
BJH	Barret Joyner Halenda	17

Lambang	Nama	Pemakaian pertama pada halaman
M	Meter	1
G	Gram	1
F	Farad	1
nm	Nanometer	7
C	Kapasitansi	10
Q	Jumlah muatan	10
V	Tegangan	10
E	Konstanta dielektrik	10
A	Luas permukaan	10
D	Ketebalan dielektrik	10
Σ	Konduktivitas	10
L	Tebal rangkaian	10
R	Hambatan	10
cm	Centimeter	10
e ⁻	Jumlah elektron	10
NA	Bilangan avogadro	10
N	Normalitas	11
mL	Mililiter	11
μ m	Mikrometer	11
L	Induktansi	12
mF	Milifarad	19

BAB I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kapasitor lapis rangkap listrik merupakan perangkat penyimpan energi yang dapat diisi dan mirip seperti baterai, namun tidak seperti baterai yang berbahaya bagi lingkungan karena menghasilkan limbah B3 (bahan beracun dan berbahaya), kapasitor lapis rangkap listrik dianggap lebih ramah lingkungan karena menggunakan elektroda karbon yang berasal dari biomassa alam¹. Material karbon secara luas digunakan sebagai elektroda kapasitor lapis rangkap listrik karena stabilitas kimianya bagus dan harganya yang relatif murah². Selain itu karbon juga banyak dipilih sebagai bahan elektroda kapasitor lapis rangkap listrik karena bahannya yang mudah didapatkan, proses sintesanya mudah untuk dilakukan dan besarnya luas permukaan dan ukuran pori bisa diatur³. Pada penelitian sebelumnya sumber karbon aktif yang digunakan adalah biji oak⁴, kulit salak⁵ dan daun teh⁶ yang dijadikan sebagai bahan elektroda kapasitor lapis rangkap listrik.

Sabut kelapa merupakan salah satu biomassa yang dapat digunakan sebagai sumber karbon aktif. Hal ini disebabkan karena sabut kelapa memiliki kandungan lignin dan selulosa yang cukup besar. Kandungan lignin yang tinggi dapat memberikan keuntungan karena hampir 60% kandungan lignin adalah karbon^{7,8}. Karbon aktif dari sabut kelapa yang digunakan sebagai bahan elektroda kapasitor lapis rangkap listrik memberikan nilai kapasitansi spesifik yang besar⁹. Penelitian mengenai pemanfaatan sabut kelapa sebagai bahan elektroda kapasitor lapis rangkap listrik belum banyak dilaporkan, selama ini pemanfaatan karbon aktif sabut kelapa umumnya digunakan sebagai adsorben logam - logam berat pada udara dan air¹.

KOH merupakan salah satu senyawa yang banyak digunakan untuk mengaktivasi karbon aktif. KOH mampu mendegradasi lignin, selulosa dan hemiselulosa dan memberikan karbon dengan struktur yang lebih bagus. Karbon yang diaktivasi menggunakan KOH memberikan luas permukaan yang besar yaitu $1749 \text{ m}^2/\text{g}$ ¹⁰, $1185 \text{ m}^2/\text{g}$ ¹¹, dan $2199 \text{ m}^2/\text{g}^2$ serta memberikan nilai kapasitansi spesifik yang besar sebagai elektroda kapasitor lapis rangkap listrik yaitu 258 F/g ¹⁰, 303 F/g ¹¹, dan 341 F/g^2 .

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui produk hasil pembuatan karbon aktif dari sabut kelapa dengan metode aktivasi fisika, kimia dan kimia fisika dan untuk mengetahui kemampuannya sebagai bahan elektroda kapasitor lapis rangkap listrik. Sabut kelapa yang diaktivasi dengan cara karbonisasi satu tahap memberikan karbon aktif dengan luas permukaan, luas pori dan volume pori yang besar¹². Oleh

karena itu sabut kelapa yang diaktivasi menggunakan KOH dan dikarbonisasi satu tahap dipilih dalam penelitian ini karena sabut kelapa mudah didapatkan dan juga untuk mengembangkan pemanfaatan limbah sabut kelapa. Dasar pemilihan bahan baku adalah banyaknya kandungan karbon di dalam bahan tersebut¹.

1.2 Rumusan Masalah

1. Apakah karbon aktif sabut kelapa dengan metode karbonisasi satu tahap dapat digunakan sebagai bahan elektroda kapasitor lapis rangkap listrik?
2. Bagaimanakah pengaruh metode karbonisasi satu tahap karbon aktif sabut kelapa terhadap kinerja kapasitor lapis rangkap listrik?

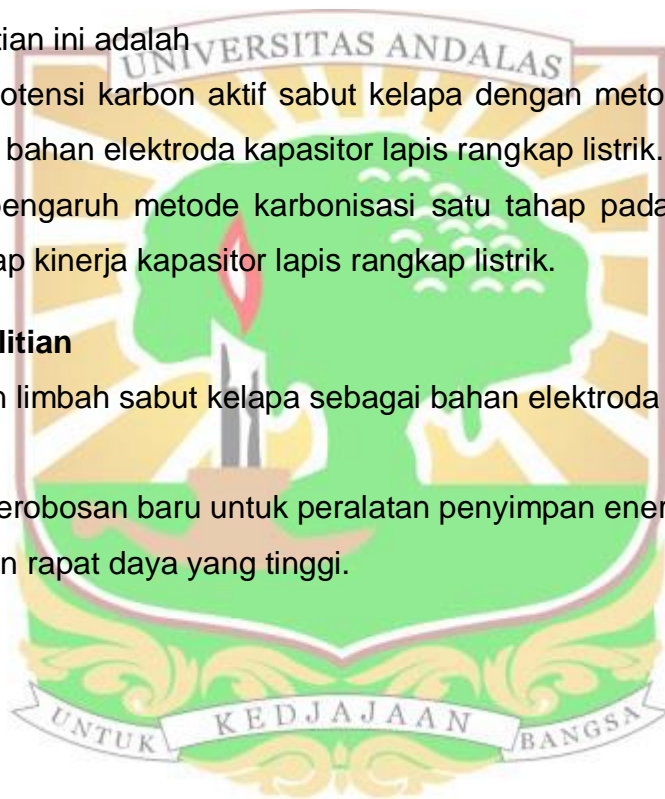
1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah

1. Mempelajari potensi karbon aktif sabut kelapa dengan metode karbonisasi satu tahap sebagai bahan elektroda kapasitor lapis rangkap listrik.
2. Mempelajari pengaruh metode karbonisasi satu tahap pada karbon aktif sabut kelapa terhadap kinerja kapasitor lapis rangkap listrik.

1.4 Manfaat Penelitian

1. Memanfaatkan limbah sabut kelapa sebagai bahan elektroda kapasitor lapis rangkap listrik.
2. Menciptakan terobosan baru untuk peralatan penyimpan energi dengan kapasitansi dan rapat daya yang tinggi.



BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kapasitor Lapis Rangkap Listrik

Kapasitor lapis rangkap listrik adalah perangkat penyimpanan energi mirip dengan baterai. Tetapi tidak seperti baterai yang menggunakan reaksi kimia untuk menyimpan energi, kapasitor lapis rangkap listrik umumnya menyimpan energi melalui pemisahan muatan listrik secara fisika. Kapasitor lapis rangkap listrik didasarkan pada teknologi karbon (*nanotube*). Teknologi karbon yang digunakan pada kapasitor ini menciptakan area yang sangat besar dengan jarak pemisahan yang sangat kecil³.

Kapasitor lapis rangkap listrik memiliki rapat daya yang besar, kapasitas penyimpan muatan yang sangat besar, proses pengisian - pengosongan muatan yang cepat dan tahan lama jika dibandingkan dengan kapasitor biasa. Keunggulan-keunggulan tersebut menyebabkan kapasitor lapis rangkap listrik telah digunakan secara luas dalam berbagai bidang seperti bidang teknologi, mesin listrik dan peralatan mesin luar angkasa. Kemampuan rapat daya yang besar pada kapasitor lapis rangkap listrik disebabkan oleh luas permukaan yang besar dari material elektroda^{13,14}.

Kapasitor lapis rangkap listrik menempati wilayah antara kapasitor konvensional dan baterai¹⁵. Kapasitor lapis rangkap listrik dapat memberikan setidaknya 1000 kali lebih banyak energi daripada kapasitor dielektrik dan 10 kali lebih banyak dari daya baterai. Selain itu kapasitor lapis rangkap listrik memiliki siklus hidup yang lama yaitu lebih dari 500.000 siklus¹⁶.

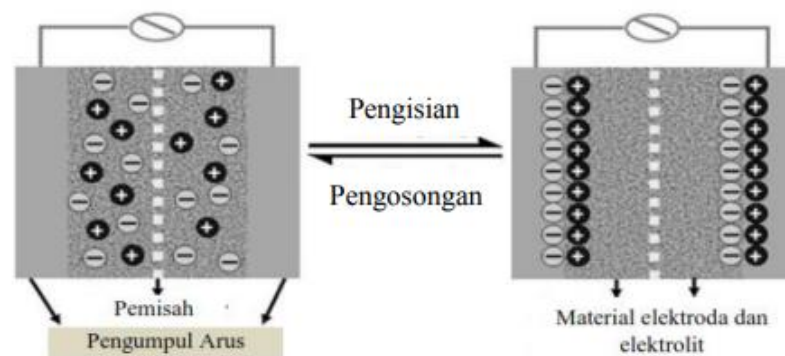
Konstruksi kapasitor lapis rangkap listrik mirip dengan kapasitor konvensional. Kapasitor lapis rangkap listrik memiliki dua elektroda yang tercelup pada larutan elektrolit dan dipisahkan oleh material dielektrik (penyekat). Penyekat itu dapat berupa membran yang memiliki bentuk yang kompak, tahan lama dan bebas dari kebocoran. Membran ini harus bersifat semi permeabel sehingga memungkinkan pergerakan ion elektrolit antara kedua elektroda. Elektroda dibuat dengan luas permukaan yang besar dan dengan pori yang memiliki diameter dalam skala nanometer. Luas permukaan bahan elektroda yang digunakan pada kapasitor lapis rangkap listrik lebih besar dibandingkan baterai yaitu sekitar 500-2000 m²/g^{16,17}.

Salah satu faktor yang mempengaruhi tingkat keefektifan kapasitor lapis rangkap listrik adalah penggunaan bahan elektroda. Bahan yang dapat digunakan sebagai elektroda untuk kapasitor lapis rangkap listrik salah satunya adalah material

organik. Material organik dengan kandungan karbon yang tinggi adalah bahan yang baik untuk menghasilkan elektroda kapasitor lapis rangkap listrik¹⁸. Tiga kategori utama bahan elektroda kapasitor lapis rangkap listrik yaitu karbon, polimer dan oksida logam¹⁹. Karbon aktif adalah salah satu jenis material organik yang secara luas telah digunakan sebagai bahan elektroda untuk kapasitor lapis rangkap listrik karena memiliki luas permukaan spesifik yang tinggi, ketahanan kimia, konduktivitas listrik yang baik dan harganya yang terjangkau⁹. Pemakaian karbon sebagai bahan elektroda kapasitor telah banyak dilakukan untuk meningkatkan kinerja kapasitor lapis rangkap listrik seperti ampas kopi²⁰, batang kapas²¹, jambang²², kentang busuk²³, kayu putih²⁴, dan tempurung kelapa²⁵. Terdapat dua jenis kapasitor yakni kapasitor lapis rangkap listrik (EDLC) dengan menggunakan elektroda karbon dan *pseudocapacitors* yang menggunakan *metaloxide*²⁶.

Seperti kapasitor konvensional, kapasitor lapis rangkap listrik menyimpan muatan antara elektroda dan elektrolit. Kapasitor lapis rangkap listrik memanfaatkan muatan elektrokimia lapisan ganda untuk menyimpan energi. Dengan menerapkan tegangan, muatan dikumpulkan pada permukaan elektroda. Karena tidak terjadi transfer muatan antara elektroda dan elektrolit, maka tidak ada proses kimia dan komposisi muatan yang berhubungan dengan proses *non-Faradaic*. Dengan alasan inilah penyimpanan muatan kapasitor lapis rangkap listrik dapat berubah dengan cepat, yang mana dapat menjangkau waktu hidup secara stabil dengan sangat tinggi¹⁵.

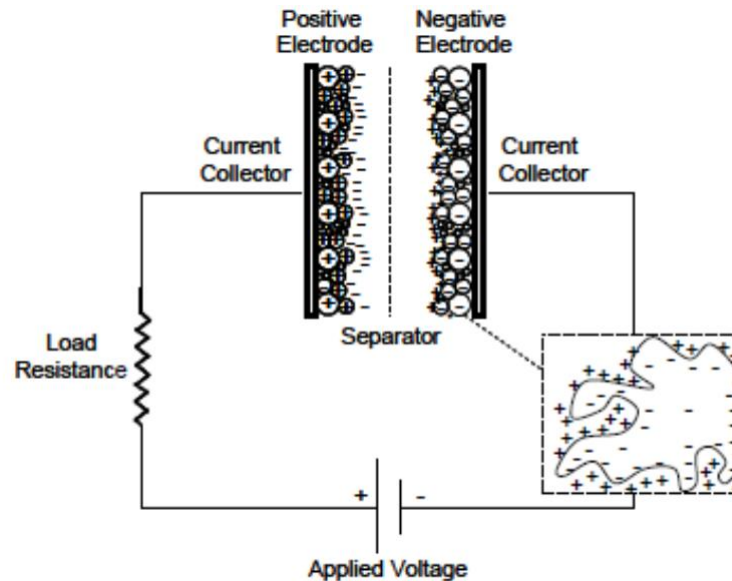
Pada proses pengisian (gambar 2.1), elektron bergerak dari elektroda negatif ke elektroda positif dan dalam elektrolit, kation bergerak menuju elektroda negatif sementara anion bergerak menuju elektroda positif. Selama pengosongan proses sebaliknya terjadi²⁷.



Gambar 2.1 Proses pengisian-pengosongan pada kapasitor lapis rangkap listrik

Kapasitansi kapasitor lapis rangkap listrik ditentukan oleh luas permukaan suatu elektroda. Elektroda adalah salah satu komponen yang paling penting untuk

penyimpanan muatan dan memiliki peran penting dalam menentukan energi serta kepadatan kapasitor lapis rangkap listrik. Elektroda kapasitor lapis rangkap listrik berbasis karbon pada dasarnya memiliki luas permukaan, pori, konduktivitas ionik dan stabilitas tegangan yang tinggi²⁸.



Gambar 2.2 Skema lapis rangkap listrik pada kapasitor lapis rangkap listrik

2.2 Karbon Aktif

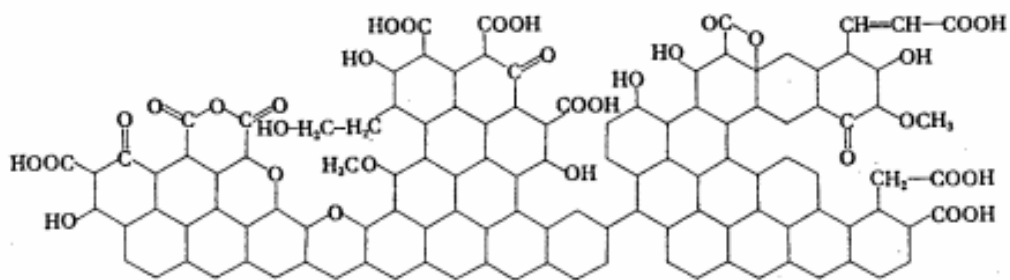
Karbon merupakan unsur dengan simbol C dan nomor atom 6 serta memiliki berat atom sebesar 12,0107 g/mol. Karbon aktif mempunyai luas permukaan yang besar, dan mengandung pori dengan ukuran diameter mikropori (kurang dari 2 nanometer) sampai ukuran makropori. Mikropori tidak mudah dibasahi elektrolit dan permukaan yang terlindungi dalam mikropori tidak dimanfaatkan untuk menyimpan muatan. Selanjutnya jika dalam situasi dimana mikropori dibasahi elektrolit, gerakan ion dalam pori akan semakin lambat, sehingga meningkatkan stabilitasnya²⁹.

Karbon aktif merupakan senyawa amorf yang dihasilkan dari bahan-bahan yang mengandung karbon atau arang yang diperlakukan secara khusus. Karbon aktif dapat menyerap gas dan senyawa-senyawa kimia tertentu tergantung pada besar atau volume pori-pori dan luas permukaannya³⁰.

Proses pembuatan karbon aktif umumnya terdiri dari dua tahap, tahapan yang pertama yaitu proses karbonisasi. Pada proses karbonisasi sampel biomassa dipanaskan pada suhu yang sangat tinggi dengan aliran gas inert dengan menyesuaikan bahan dasar serta metode yang digunakan³¹. Selama proses karbonisasi sebagian besar unsur – unsur non karbon seperti oksigen, nitrogen, dan hidrogen akan terlepas dari karbon sebagai gas yang menguap akibat proses pirolisis³². Karbonisasi dibagi menjadi dua jenis, yaitu karbonisasi satu tahap yang

mana sampel biomassa diaktivasi secara kimia terlebih dahulu kemudian dikarbonisasi, dan karbonisasi dua tahap yang mana pada karbonisasi dua tahap sampel biomassa dibentuk menjadi karbon terlebih dahulu kemudian dilakukan proses aktivasi kimia dan akhirnya dikarbonisasi kembali^{20,1}. Tahap kedua yaitu aktivasi, aktivasi terbagi menjadi dua yaitu aktivasi fisika dan aktivasi kimia. Aktivasi fisika menggunakan suhu tinggi dan aliran gas CO₂ atau nitrogen sedangkan aktivasi kimia menggunakan *activating agent* dan tidak dilakukan pada suhu tinggi.

Umumnya karbon aktif mengandung beberapa oksigen yang berikatan secara kimia dan sejumlah kecil hidrogen yang dikombinasikan dengan atom karbon pada permukaan atau melalui oksigen³³.



Gambar 2.3 Struktur gugus fungsi yang mengandung oksigen pada permukaan karbon aktif³³.

Tabel 2.1 Persyaratan karbon aktif menurut standar nasional Indonesia (SNI. 06-3730-1995)

No.	Uraian	Satuan	Persyaratan	
			Butiran	Serbuk
1.	Bagian yang hilang pada pemanasan 950°C	%	Max 15	Max 25
2.	Kadar air	%	Max 4,5	Max 15
3.	Kadar abu	%	Max 2,5	Max 10
4.	Bagian yang tidak menjadi arang	%	Tidak ada	Tidak ada
5.	Daya serap terhadap I ₂	mg/g	Min 750	Min 750
6.	Karbon aktif murni	%	Min 80	Min 65

Secara umum, ukuran pori karbon aktif dapat diklasifikasikan menjadi tiga jenis, yaitu

1. Mikropori, yaitu pori-pori dengan ukuran kecil dari 2 nm
2. Mesopori, yaitu pori-pori dengan ukuran 2-50 nm
3. Makropori, yaitu pori-pori dengan ukuran besar dari 50 nm³⁴.

2.3 Sabut Kelapa

Kelapa (*Cocos nucifera*) merupakan salah satu anggota tanaman palma yang paling dikenal dan banyak tersebar di daerah tropis. Pohon kelapa merupakan jenis tanaman berumah satu dengan batang tanaman tumbuh lurus ke atas dan tidak bercabang. Tinggi pohon kelapa dapat mencapai 10 - 14 meter lebih, daunnya berpelelah dengan panjang 3 - 4 meter dengan sirip-sirip lidi yang menopang tiap helaian³⁵.

Indonesia merupakan salah satu negara penghasil kelapa yang utama di dunia. Salah satu bagian dari kelapa adalah sabut kelapa. Sabut kelapa adalah salah satu biomassa yang mudah didapatkan dan merupakan hasil limbah pertanian. Sabut kelapa merupakan komponen yang paling berat dari buah kelapa yaitu sekitar 35% berat buah kelapa. Sabut kelapa terdiri dari serat (*fiber*) dan gabus (*pitch*) yang menghubungkan antara satu serat dengan serat lainnya, kandungan serat dalam sabut kelapa sebesar 75% dan gabus 25%³⁶. Sabut kelapa mengandung senyawa lignin dan selulosa yang tinggi, serta senyawa – senyawa lainnya sebagai penyusun komponen sabut kelapa³⁷.

Tabel 2.3 Komposisi senyawa yang terdapat dalam sabut kelapa³⁸

Komposisi Senyawa	Kadar (%)
Lignin	45,84
Selulosa	43,44
Hemiselulosa	0,25
Pektin	3,00
Abu	2,22

Pemilihan sabut kelapa dikarenakan sabut kelapa merupakan limbah dari kelapa yang apabila dikarbonkan akan memiliki nilai jual yang tinggi. Salah satu pemanfaatan sabut kelapa adalah sebagai karbon aktif. Sabut kelapa dapat digunakan sebagai karbon aktif karena memiliki kandungan lignin dan selulosa yang tinggi. Kandungan lignin yang tinggi dapat memberikan keuntungan karena hampir 60% penyusun lignin adalah karbon^{1,37}.

Tabel 2.3 Perbandingan karakteristik antara karbon aktif sabut kelapa dengan karbon aktif komersial berdasarkan beberapa parameter fisika dan kimia¹².

Parameter	Karbon aktif sabut kelapa	Karbon aktif komersial
Luas permukaan (m ² /g)	826	626
Volume mikropori (mL/g)	0,25	0,23
Diameter pori rata-rata (Å)	24	15
Kandungan abu (%)	14	22
Kerapatan massa (g/mL)	0,31	0,52
pH	4,3	5,6

2.4 *Scanning Electron Microscopy – Energy Dispersive X-Ray (SEM-EDX)*

Scanning Electron Microscopy – Energy Dispersive X-Ray adalah rangkaian alat yang digunakan untuk melihat morfologi permukaan dari suatu padatan dan unsur-unsur yang terkandung dalam padatan tersebut³⁹.

Komponen utama SEM adalah tiga pasang lensa elektromagnetik yang berfungsi memfokuskan berkas elektron menjadi sebuah titik kecil, kemudian dua pasang *scan coil* dengan frekuensi variabel pada bagian permukaan sampel⁴⁰. Pada SEM, berkas elektron ditembakkan pada permukaan sampel sedangkan imejnya diperoleh berdasarkan hasil deteksi elektron yang dihamburkan atau berdasarkan elektron sekunder. Elektron sekunder berasal dari permukaan sampel dan memiliki energi yang rendah. Sedangkan elektron yang dihamburkan berasal dari bagian yang lebih dalam dan memberikan informasi tentang komposisi sampel karena elektron yang lebih berat menghamburkan dengan lebih kuat dan memberikan warna yang lebih terang pada imej yang ditampilkan⁴¹. Pembentukan elektron-elektron sekunder diikuti dengan proses munculnya X-Ray yang karakteristik untuk setiap elemen, sehingga dapat digunakan untuk menentukan kandungan unsur yang terdapat dalam sampel^{40,42}.

2.5 *Fourier Transform Infrared (FT-IR)*

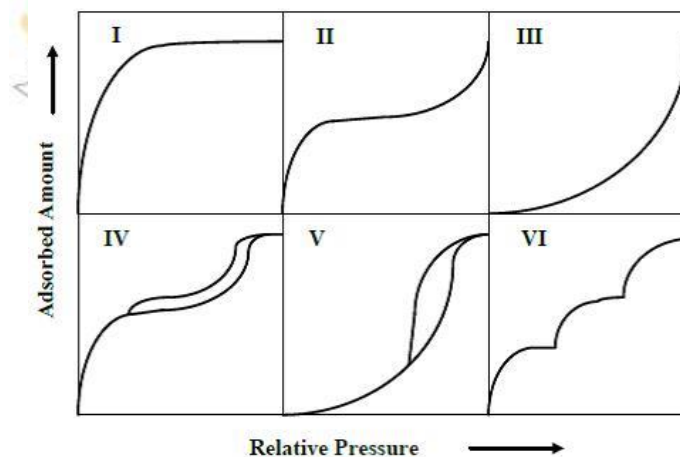
FT-IR merupakan salah satu instrumen yang banyak digunakan untuk mengetahui spektrum vibrasi molekul yang nantinya dapat digunakan untuk menentukan struktur senyawa kimia⁴³. Vibrasi molekul hanya dapat terjadi bila suatu molekul tersusun dari dua atom atau lebih. Untuk dapat menyerap radiasi infra merah, vibrasi suatu molekul harus menghasilkan perubahan momen dwikutub.

Terdapat dua jenis vibrasi molekul yaitu *stretching* dan *bending*. Vibrasi *stretching* adalah pergerakan atom yang teratur sepanjang sumbu ikatan antara dua atom sehingga jarak antara atom dapat bertambah atau berkurang. Vibrasi *stretching* ada dua jenis yaitu simetris dan asimetris. Vibrasi *bending* adalah pergerakan atom yang menyebabkan perubahan sudut ikatan antara dua ikatan atau pergerakan dari sekelompok atom terhadap atom lainnya. Vibrasi *bending* terdiri atas *scissoring*, *wagging*, *twisting*, dan *rocking*⁴¹.

2.6 Surface Area Analyzer (SAA)

SAA merupakan salah satu peralatan yang penting dalam karakterisasi material. Alat ini berfungsi untuk menentukan luas permukaan, ukuran pori dan serapan gas pada suatu bahan. Prinsip kerja alat ini adalah dengan menggunakan mekanisme serapan gas, biasanya digunakan gas inert seperti nitrogen, argon dan helium⁴⁴. Terdapat dua tahap dalam proses analisis SAA, tahap pertama yaitu penyerapan gas inert pada permukaan sampel padat dan tahap kedua yaitu proses pengeluaran gas inert pada permukaan sampel padat⁴⁵.

Terdapat enam tipe isotherm menurut klasifikasi IUPAC (gambar 2.4). Tipe I dengan diameter pori kecil dari 2 nm yang berhubungan dengan penyerapan mikropori. Tipe II, III, dan VI berhubungan dengan material nonpori atau material dengan ukuran pori yang besar. Tipe IV dengan diameter pori 2-50 nm berhubungan dengan penyerapan mesopori dan tipe V merupakan penyerapan pada mikropori dan mesopori dengan interaksi antara adsorben dan adsorbat berlangsung relatif cepat⁴⁶.



Gambar 2.4 tipe – tipe serapan *isotherm* berdasarkan IUPAC

2.7 LCR-Meter

LCR meter merupakan suatu instrumen yang digunakan untuk mengukur nilai kapasitansi (C), hambatan (R) dan induktansi (L) dengan frekuensi yang telah

diketahui. LCR meter diketahui mempunyai linieritas yang bagus untuk *range* pengukuran yang sempit. Induktansi merupakan sifat dari rangkaian listrik yang menyebabkan tegangan yang dihasilkan sebanding dengan laju perubahan arus dalam suatu rangkaian. Kapasitansi adalah kemampuan suatu material menahan muatan listrik, itu adalah jumlah energi listrik yang disimpan^{47,48}.

Nilai kapasitansi dapat ditentukan menggunakan persamaan 2.1

$$C = \frac{Q}{V} = \epsilon \frac{A}{d} \quad (2.1)$$

C adalah nilai kapasitansi dalam Farad (F), Q adalah muatan elektron dalam Coulomb (C), V adalah tegangan dalam Volt (V), ϵ adalah konstanta dielektrik, A adalah luas permukaan dan d adalah ketebalan dielektrik⁴⁹.

Konduktivitas listrik merupakan kemampuan suatu material untuk mengalirkan arus listrik. Nilai konduktivitas dapat ditentukan menggunakan persamaa 2.2

$$\sigma = \frac{I}{R.A} \quad (2.2)$$

σ adalah konduktivitas ($\Omega^{-1} \text{cm}^{-1}$), I tebal rangkaian (cm), R adalah hambatan (Ω) dan A adalah luas permukaan elektroda (cm^2)⁴⁹.

Nilai kapasitansi berbanding lurus dengan jumlah muatan dan jumlah elektron, sehingga dapat disimpulkan bahwa

$$Q = C \times F \quad (2.3)$$

Q adalah jumlah muatan dalam Coulomb (C), C adalah nilai kapasitansi dalam Farad (F) dan F adalah Faraday (96500 C)

$$e^- = C \times NA \quad (2.4)$$

e^- adalah jumlah muatan, C adalah kapasitansi dalam Farad (F) dan NA adalah bilangan avogadro ($6,022 \times 10^{23} e^-$)

2.8 Pengaruh Larutan Elektrolit Terhadap Kapasitansi Spesifik Kapasitor Lapis Rangkap Listrik

Kapasitansi spesifik (C_{sp}) didefinisikan sebagai kemampuan sel kapasitor lapis rangkap listrik menyimpan muatan terhadap rasio massa elektroda karbon yang dinyatakan dalam satuan F/g. Kapasitansi spesifik sangat berpengaruh dalam menentukan kinerja kapasitor lapis rangkap listrik. Respon pemberian tegangan oleh sebuah sel kapasitor lapis rangkap listrik adalah nilai rapat arus, dimana nilai arus ditentukan oleh pergerakan ion-ion dalam di dalam sebuah pori elektroda dalam membuat lapisan pasangan muatan⁵⁰.

Pergerakan ion dipengaruhi oleh ukuran, konduktivitas dan mobilitas ion dari suatu elektrolit. Semakin tinggi konduktivitas dan mobilitas ion serta semakin kecil ukuran ion maka pergerakan ion pada permukaan elektroda/elektrolit semakin cepat sehingga meningkatkan kapasitansi spesifik kapasitor lapis rangkap listrik⁵¹.



BAB III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan mulai bulan Juli sampai November 2020. Bertempat di Laboratorium Elektro/fotokimia Jurusan Kimia FMIPA Universitas Andalas (preparasi sampel dan pengukuran sifat listrik LCR-meter), Laboratorium Pangan Non Ruminansia Fakultas Peternakan Universitas Andalas (Karbonisasi), Laboratorium Kimia FMIPA Universitas Negeri Padang (karakterisasi FTIR), laboratorium Penelitian Teknologi Bersih LIPI (SEM-EDX), dan Laboratorium Pusat Penelitian Kimia LIPI (SAA)

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu stirrer (IKA'C-MAGHS4), Furnace (Nabertherm), oven (Nabertherm), kabel buaya, neraca analitis (Mettler PM4000), jangka sorong digital (Krisbow 06000780678) dan peralatan gelas laboratorium lainnya. Peralatan instrumen yang digunakan adalah charger (Handphone Nokia 5V), LCR-Meter (SANWA LCR700), Multimeter (SANWA CD800a), SEM- EDX (Jeol JSM-6510LA), FTIR (Shimadzu8400) dan SAA (Surface Area Analyzer) (Autosorb⁻¹).

3.2.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu sabut kelapa (diambil dari pedagang kelapa di kota Padang), kalium hidroksida (KOH) (Merck), asam klorida (HCl) (Merck), asam pospat (H_3PO_4) (Merck), polyvinyl alcohol (PVA), plat tembaga, kaca, aluminium voil, akuades dan lem kertas.

3.3 Prosedur kerja

3.3.1 Pembuatan Larutan Elektrolit H_3PO_4

Larutan induk H_3PO_4 5N dibuat dengan mengambil 11,36 mL larutan H_3PO_4 85% dan diencerkan dalam labu 100 mL sampai tanda batas. Larutan induk H_3PO_4 5 N diencerkan menjadi konsentrasi 0,1 N, 0,2 N, 0,25 N, 0,3 N, 0,4 N, dan 0,5 N dalam labu ukur 100 mL

3.3.2 Pembuatan Separator

1 gram PVA ($(CH_2CHOH)_n$) dilarutkan dalam 20 mL larutan H_3PO_4 dengan konsentrasi 0,1 N. Campuran tersebut distirrer dan dipanaskan pada suhu $50^\circ C$ diatas *hot plate* sampai homogen. Setelah homogen, campuran dituangkan kedalam *petridish* dan dibiarkan kering secara alami. Langkah yang sama dilakukan untuk konsentrasi larutan H_3PO_4 0,2 N, 0,25 N, 0,3 N, 0,4 N, dan 0,5 N.

3.3.3 Preparasi Karbon Aktif Sabut Kelapa

Sabut kelapa dipotong kecil-kecil, dibersihkan, dan dicuci dengan akuades kemudian dikeringkan pada suhu $\pm 105^{\circ}\text{C}$ sampai berat konstan. Sabut kelapa yang telah kering dihaluskan menggunakan gerinder sampai didapatkan bubuk sabut kelapa. Bubuk sabut kelapa direndam dalam KOH 1 N dengan perbandingan 5 g bubuk sabut kelapa dalam 80 mL KOH 1 N dan diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 4 jam kemudian disaring, dicuci dengan akuades dan dikeringkan. 1 g bubuk sabut kelapa yang telah diperlakukan dengan KOH 1 N kemudian ditambahkan 2 g KOH dan 5 mL akuades, diaduk selama 15 menit, kemudian disaring dan dikeringkan pada suhu $\pm 100^{\circ}\text{C}$ ²⁰. Bubuk sabut kelapa yang telah diperlakukan dua kali kemudian dikarbonisasi pada suhu 400°C selama 2 jam. Karbon yang didapatkan dihaluskan sampai ukuran $45\ \mu\text{m}$. Karbon kemudian dicuci menggunakan HCl 1 N sampai pH netral dan dilanjutkan dengan pencucian menggunakan akuades kemudian dikeringkan menggunakan oven pada suhu $\pm 110^{\circ}\text{C}$ sampai didapatkan berat konstan. Karbon aktif ini digunakan sebagai elektroda kapasitor lapis rangkap listrik.

3.3.4 Karakterisasi Karbon Aktif Sabut Kelapa

Karbon aktif dari sabut kelapa dikarakterisasi dengan menggunakan *Scanning Elektron Microscopy – Energy Dispersive X-Ray (SEM-EDX)*, *Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)* dan *Surface Area Analyzer (SAA)*.

3.3.5 Pembuatan Plat Elektroda Kapasitor Lapis Rangkap Listrik

Plat tembaga disiapkan masing-masing dua plat untuk ukuran $3 \times 3\ \text{cm}^2$, $3 \times 5\ \text{cm}^2$, $3 \times 7\ \text{cm}^2$ dan $3 \times 9\ \text{cm}^2$.



Gambar 3.1 Rangkaian Kapasitor Lapis Rangkap Listrik Metode Plat

Plat tembaga dibersihkan agar tidak ada pengotor yang menempel. Karbon aktif dengan berat tertentu kemudian direkatkan pada plat tembaga menggunakan lem kertas dan dibuat rangkaian kapasitor lapis rangkap listrik seperti gambar 3.1 dengan separator PVA yang mengandung larutan elektrolit diantara kedua elektroda. Kemudian rangkaian dijepit menggunakan kaca dan penjepit kertas agar tidak lepas kemudian dihubungkan dengan arus listrik. Dilakukan pengukuran sifat LCR-meter

untuk variasi massa, variasi frekuensi, variasi luas plat, variasi konsentrasi larutan elektrolit H_3PO_4 dan variasi waktu pengisian.

3.3.6 Pengukuran Sifat-Sifat Listrik dari Rangkaian Kapasitor Lapis Rangkap Listrik

Pengukuran sifat-sifat listrik dilakukan dengan menggunakan LCR-meter untuk mendapatkan nilai kapasitansi (C), induktansi (L), dan resistansi (R). Multimeter untuk mendapatkan nilai arus (I) dan tegangan (V). Pengukuran dilakukan untuk variasi massa (0,1; 0,2; 0,3; 0,4; dan 0,5 g), variasi frekuensi (100, 120 dan 100 Hz) variasi ukuran plat (3×3 ; 3×5 ; 3×7 ; dan $3 \times 9 \text{ cm}^2$), variasi konsentrasi larutan elektrolit H_3PO_4 (0,1; 0,2; 0,25; 0,3; 0,4; dan 0,5 N) dan variasi waktu pengisian (5; 10; 15; 30; 45; dan 60 menit).

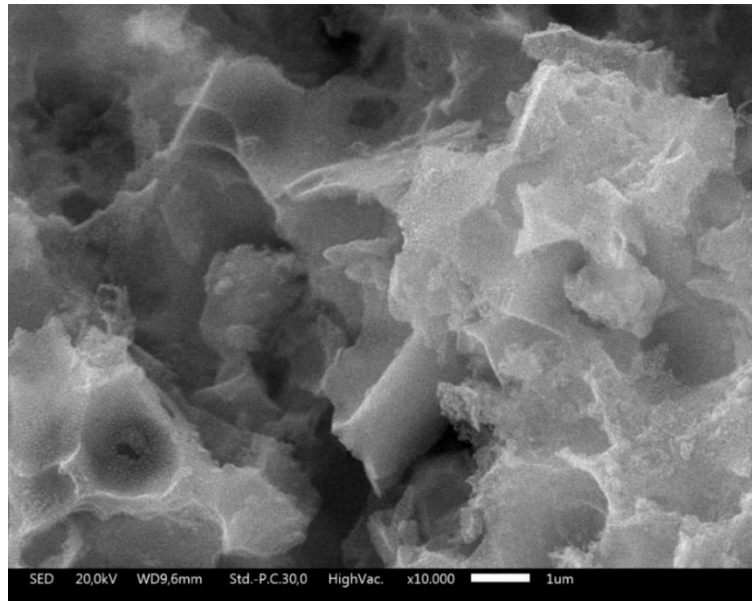


BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Karakterisasi Karbon Aktif Sabut Kelapa Sebagai Bahan Elektroda

4.1.1 Scanning Electron Microscopy (SEM)

Scanning Electron Microscopy (SEM) dilakukan untuk mengamati dan melihat terbentuk atau tidaknya pori pada permukaan karbon aktif. Hasil dari karakterisasi SEM karbon sabut kelapa yang diaktifasi menggunakan KOH dan dikarbonisasi pada suhu 400°C selama 2 jam dapat dilihat pada gambar 4.1



Gambar 4.1 Hasil karakterisasi SEM karbon aktif sabut kelapa dengan suhu karbonisasi 400°C selama 2 jam dan ukuran partikel 45μm pada perbesaran 10.000x

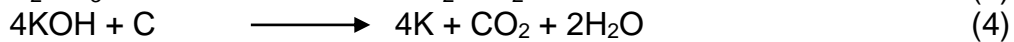
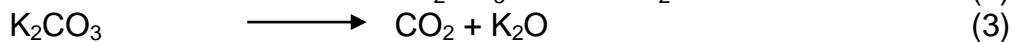
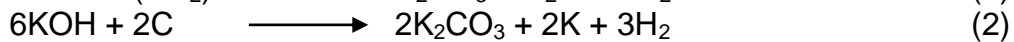
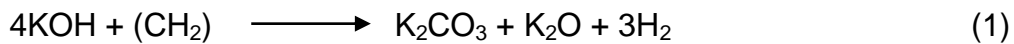
Pada gambar 4.1 dapat dilihat mulai terbentuk pori pada permukaan karbon aktif sabut kelapa. Dimana cekungan – cekungan yang tidak dalam menandakan proses karbonisasi yang terjadi belum sempurna. Pori - pori yang terbentuk berfungsi untuk menyimpan muatan pada saat proses *charge*. Semakin besar kemampuan karbon aktif dalam menyimpan muatan maka nilai kapaitansi yang dihasilkan juga akan semakin besar. Sabut kelapa memiliki serat yang tinggi sehingga dibutuhkan konsentrasi KOH yang lebih besar dan suhu karbonisasi yang lebih tinggi untuk mendapatkan karbon aktif yang lebih baik.

Hasil karakterisasi SEM karbon sabut kelapa yang diaktifasi menggunakan KOH memperlihatkan pori – pori yang terbentuk memiliki kedalaman yang lebih besar dan diameter pori yang lebih kecil⁹. Terbentuknya pori yang lebih bagus dikarenakan karbonisasi dilakukan pada suhu yang lebih tinggi dalam atmosfer N₂

yang mana dalam penelitian ini tidak dilakukan sehingga pori yang terbentuk tidak dalam dan memiliki diameter yang lebih besar.

Karbon aktif sabut kelapa memiliki struktur mesopori yang lebih dominan, hal ini didukung oleh hasil data analisa BET. Aktivator KOH selain membentuk pori, juga memperbesar luas permukaan dan volume pori serta mengaktifkan gugus fungsi.

Aktivasi dengan KOH melibatkan reaksi sebagai berikut²⁰



Reaksi di atas mengeluarkan air karena KOH merupakan *dehydrating agent* atau bersifat mendehidrasi. Pada proses aktivasi ini sabut kelapa akan bereaksi dengan KOH akan membentuk pori karena KOH merupakan basa kuat sehingga pembentukan pori-pori ini akan memperbesar luas permukaan, ukuran pori dan volume karbon aktif sehingga proses meningkatkan kinerja karbon aktif sebagai bahan elektroda kapasitor lapis rangkap listrik^{37,52}.

4.1.2 Energy Dispersive X-Ray (EDX)

Karakterisasi EDX dilakukan untuk menganalisa unsur-unsur yang terkandung di dalam karbon aktif sabut kelapa. Hasil karakterisasi EDX terhadap karbon aktif sabut kelapa terdapat dalam tabel 4.1

Berdasarkan tabel 4.1 terlihat karbon aktif sabut kelapa mengandung unsur karbon (C), oksigen (O), silikon (Si), kalium (K), dan aluminium (Al). Komposisi unsur C dengan % massa paling tinggi menandakan aktivator KOH mendegradasi ikatan – ikatan karbohidrat pada sabut kelapa dengan baik. Unsur O berasal dari gugus fungsi dan air yang dihasilkan dari reaksi antara aktivator dengan sabut kelapa. Untuk unsur kalium berasal dari sisa aktivator yang masih terdapat dalam karbon aktif, sedangkan untuk unsur silikon dan aluminium kemungkinan berasal dari mineral-mineral yang terkandung dalam pada bahan dasar yang digunakan.

Menurut standar nasional Indonesia (SNI) 06-3730-1995 tentang karbon aktif, karbon aktif yang baik memiliki kadar karbon minimal 65%, dan dalam penelitian ini kadar karbon yang didapatkan sebesar 67,70% yang menandakan bahwa karbon aktif sabut kelapa memenuhi syarat sebagai karbon aktif⁵³. Semakin banyak unsur karbon yang terkandung maka semakin banyak muatan yang akan tersimpan,

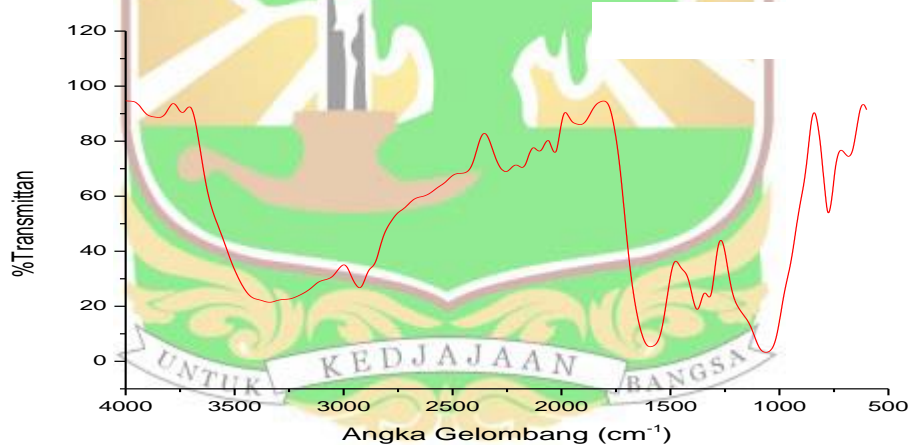
karena yang berperan menyimpan muatan dalam kapasitor lapis rangkap listrik adalah karbon⁵⁴.

Tabel 4.1 Komposisi unsur dalam karbon aktif sabut kelapa yang diaktivasi menggunakan KOH pada suhu karbonisasi 400°C selama 2 jam berdasarkan EDX

Unsur	Massa (%)
C	67,70
O	26,00
Si	3,34
K	2,55
Al	0,03
Total	100

4.1.3 Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR)

FT-IR dilakukan untuk menentukan gugus fungsi yang terdapat pada permukaan karbon aktif sabut kelapa, hasil spektrum FT-IR dapat dilihat pada gambar 4.2



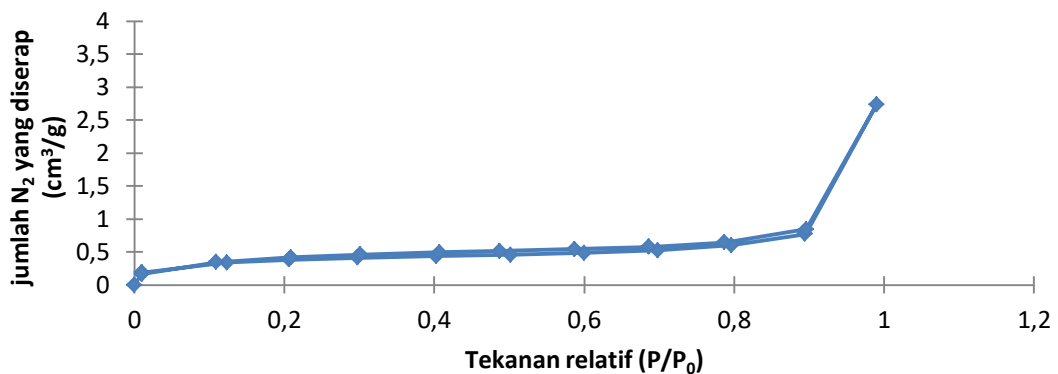
Gambar 4.2 Spektrum FT-IR karbon aktif sabut kelapa dengan suhu karbonisasi 400°C selama 2 jam dan ukuran partikel 45µm

Permukaan karbon aktif mengandung beberapa gugus fungsi dan tidak akan pernah terlepas dari oksigen kecuali dipanaskan diatas suhu 950°C dalam keadaan vakum³⁴. Spektrum FT-IR karbon aktif sabut kelapa pada angka gelombang 3339,97 cm^{-1} menunjukkan adanya *stretching* OH hidroksil. Pada angka gelombang 2926,67 cm^{-1} menunjukkan adanya *stretching* metilena ($>\text{CH}_2$). Pada angka gelombang 1992,95 cm^{-1} menunjukkan adanya *stretching* C=C pada cincin aromatik. Angka gelombang 1322,08 cm^{-1} menunjukkan adanya *bending* OH dan angka gelombang

1062,21 cm^{-1} menunjukkan adanya *stretching* C-O alkil yang tersubsitusi eter⁵⁵. Gugus fungsi pada karbon aktif menunjukkan masih terdapat kandungan senyawa lain dalam karbon aktif karena bahan dasar karbon yang digunakan berasal dari alam.

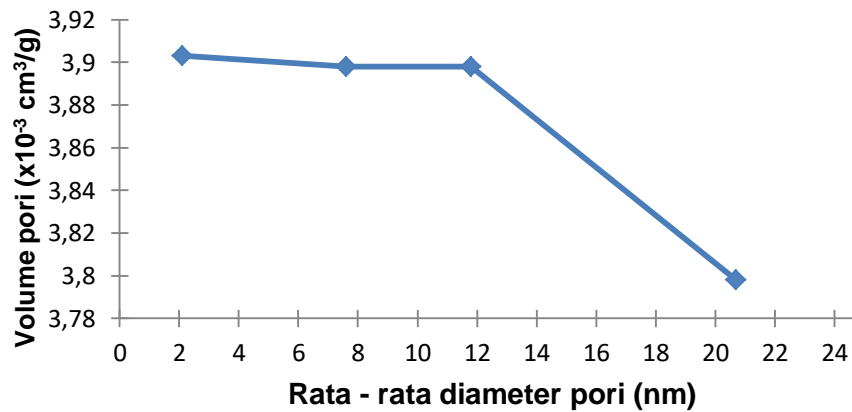
4.1.4 Surface Area Analyzer (SAA)

Analisa SAA dilakukan untuk menentukan luas permukaan, ukuran pori, volume pori dan adsorpsi serta desorpsi dari karbon aktif. Analisa ini menggunakan alat *Surface Area Analyzer* dengan metode *Brunauer Emmet Teller-Barret Joyner Halenda* (BET-BJH). Analisa dengan metode BET dilakukan untuk menentukan luas permukaan spesifik dari karbon aktif sabut kelapa dan jenis kurva isothermnya. Metode BJH dilakukan untuk mengetahui volume pori dan ukuran pori dari karbon aktif sabut kelapa. Berdasarkan hasil analisa BET didapatkan luas permukaan spesifik dari karbon aktif sabut kelapa sebesar 1,2516 m^2/g , volume pori sebesar 0,004235 cm^3/g dan rata – rata diameter pori sebesar 20,1256 nm. Kurva isotherm BET dari karbon aktif sabut kelapa dapat dilihat pada gambar 4.3



Gambar 4.3 Kurva isotherm BET karbon aktif sabut kelapa yang dikarbonisasi pada suhu 400°C selama 2 jam dengan ukuran partikel 45 μm

Berdasarkan gambar 4.3 terlihat bahwa kurva isotherm BET menunjukkan bahwa karbon aktif yang terbentuk memiliki struktur mesopori dan ditunjukkan oleh loop histerisis pada tekanan relatif ($<0,1P/P_0 < 0,9$). Pada tekanan relatif rendah, hanya terjadi sedikit penyerapan sampai pada tekanan relatif $P/P_0 = 1$ terjadi penyerapan yang tinggi yang membuktikan bahwa karbon aktif yang terbentuk merupakan tipe IV⁴⁶ dan didukung oleh data SEM yang memperlihatkan diameter pori yang besar.



Gambar 4.4 Hubungan antara rata – rata diameter pori dengan volume pori berdasarkan metode BJH

Gambar 4.4 menunjukkan semakin besar diameter pori maka volume pori yang terbentuk juga semakin kecil. Karbon aktif dengan diameter yang kecil (mikropori) memberikan kinerja yang baik sebagai elektroda kapasitor lapis rangkap listrik⁵⁶, tetapi kombinasi struktur mesopori dan mikropori akan memberikan kinerja yang lebih baik dibandingkan struktur mikropori saja. Berdasarkan gambar terlihat diameter pori berada di rentang 2 – 21 nm yang menandakan karbon aktif yang terbentuk memiliki struktur mesopori dan didukung juga oleh hasil karakterisasi SEM dan kurva BET.

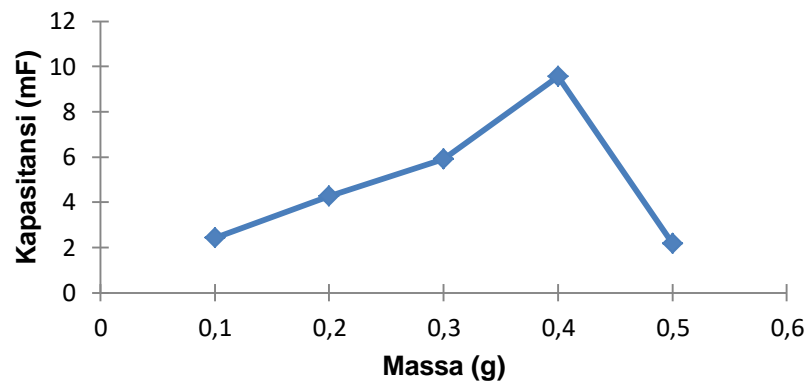
4.2 Pengukuran Sifat-Sifat Listrik

4.2.1 Pengaruh Variasi Massa Karbon Aktif terhadap Nilai Kapasitansi dari Elektroda Kapasitor Lapis Rangkap Listrik

Massa karbon merupakan salah satu parameter yang menentukan banyaknya muatan yang tersimpan di dalam karbon aktif dan akan membentuk lapis rangkap listrik, oleh karena itu dilakukan pengukuran nilai kapasitansi terhadap karbon aktif sabut kelapa yang digunakan sebagai elektroda kapasitor lapis rangkap listrik. Pengukuran dilakukan dengan variasi massa 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; dan 0,5 g, konsentrasi larutan elektrolit H_3PO_4 0,3 N, ukuran plat elektroda $3 \times 3 \text{ cm}^2$, waktu pengisian 15 menit dan frekuensi 100 Hz.

Pada gambar 4.5 terlihat bahwa nilai kapasitansi meningkat dengan bertambahnya massa karbon aktif yang digunakan sampai pada massa 0,4 g dan menurun pada massa 0,5 g. Naiknya nilai kapasitansi terjadi karena semakin banyak karbon aktif yang digunakan maka semakin tebal plat elektrodayang terbentuk dan semakin banyak muatan yang tersimpan untuk membentuk lapis rangkap listrik.

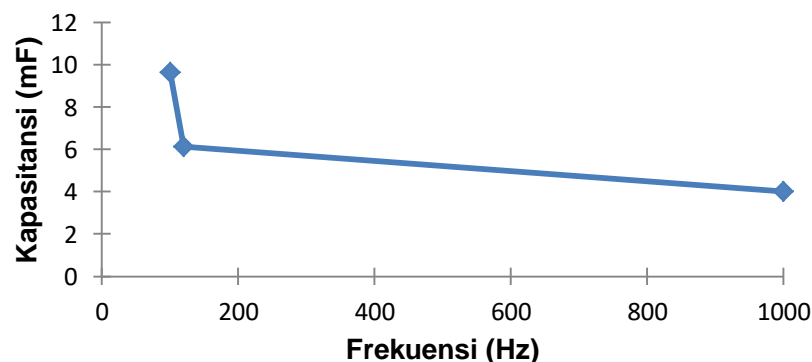
Sedangkan menurunnya nilai kapasitansi pada massa 0,5 diakibatkan karena apabila plat terlalu tebal akan menyebabkan jarak tempuh muatan akan semakin jauh, sehingga tidak banyak muatan yang tersimpan dan nilai kapasitansi menurun⁵⁷. Nilai kapasitansi maksimum didapatkan pada massa 0,4 g sebesar 9,63 mF (data pada lampiran 5). Rangkaian *sandwich* yang menggunakan massa 0,4 g memiliki ketebalan sebesar 1,27 mm sehingga massa dan ketebalan tersebut dianggap sebagai massa dan ketebalan optimum yang nantinya akan digunakan untuk pengukuran variasi – variasi selanjutnya.



Gambar 4.5 Pengaruh variasi massa karbon terhadap nilai kapasitansi dari kapasitor lapis rangkap listrik

4.2.2 Pengaruh Variasi Frekuensi terhadap Nilai Kapasitansi dari Elektroda Kapasitor Lapis Rangkap Listrik

Pengukuran variasi frekuensi dilakukan untuk melihat pengaruh frekuensi terhadap nilai kapasitansi dari kapasitor lapis rangkap listrik. Pengukuran dilakukan dengan ukuran plat $3 \times 3 \text{ cm}^2$, massa karbon 0,4 g, tebal rangkaian 1,27 mm, konsentrasi larutan elektrolit H_3PO_4 0,3 N, waktu pengisian 15 menit dan variasi frekuensi 100, 120 dan 1000 Hz. Hasil pengukuran variasi frekuensi dapat dilihat pada gambar 4.6



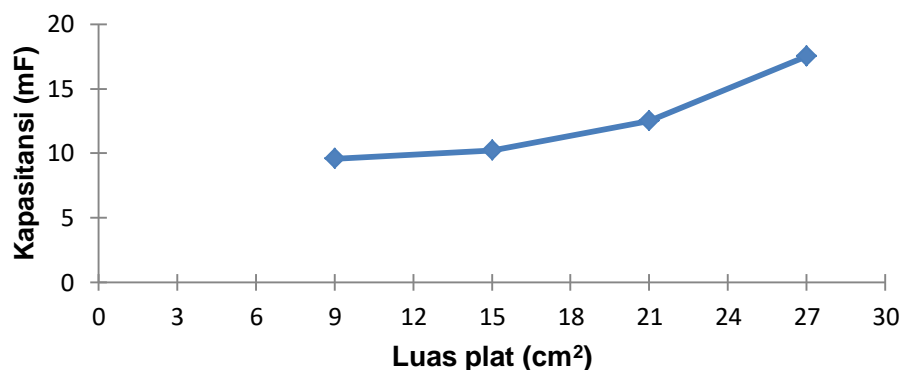
Gambar 4.6 Pengaruh variasi frekuensi terhadap nilai kapasitansi dari elektroda kapasitor lapis rangkap listrik

Gambar 4.6 memperlihatkan nilai kapasitansi semakin menurun dengan semakin tingginya frekuensi yang digunakan (data pada lampiran 6). Hal ini terjadi karena frekuensi yang tinggi semakin besar energi yang ditransmisikan, energi ini akan mengganggu dan menyebabkan muatan yang tersimpan pada elektroda kapasitor lapis rangkap listrik akan dibalikkan sehingga kemampuan untuk menyimpan muatan akan semakin berkurang dan mengakibatkan nilai kapasitansi menurun⁵⁸. Hasil pengukuran yang dilakukan menunjukkan nilai kapasitansi maksimal didapatkan pada frekuensi 100 Hz yaitu sebesar 9,63 mF sehingga frekuensi ini digunakan untuk pengukuran variasi – variasi selanjutnya.

4.2.3 Pengaruh Variasi Ukuran Plat Elektroda terhadap Nilai Kapasitansi dari Elektroda Kapasitor Lapis Rangkap Listrik

Pengukuran variasi luas plat elektroda dilakukan untuk melihat pengaruhnya terhadap sifat – sifat listrik pada kapasitor lapis rangkap listrik. Pengukuran dilakukan dengan variasi ukuran plat 3 x 3 cm², 3 x 5 cm², 3 x 7 cm², dan 3 x 9 cm², konsentrasi larutan elektrolit H₃PO₄ 0,3 N, tebal rangkaian 1,27 mm, waktu pengisian 15 menit dan frekuensi 100 Hz.

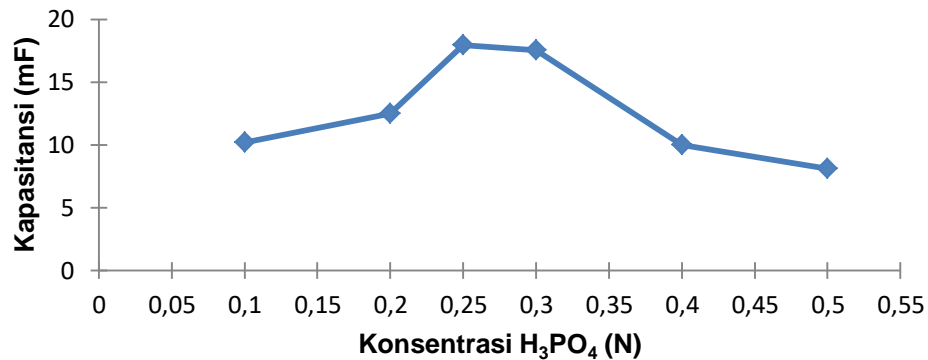
Luas plat elektroda berbanding lurus dengan nilai kapasitansi⁵⁹, hal ini dikarenakan semakin banyak karbon aktif yang terdapat dalam rangkaian menyebabkan semakin banyak muatan yang tersimpan di dalam pori karbon dan semakin banyak lapis rangkap listrik yang terbentuk. Pada gambar 4.7 terlihat semakin besar luas plat elektroda yang digunakan semakin besar nilai kapasitansinya (data pada lampiran 7). Nilai kapasitansi maksimal didapatkan pada plat elektroda dengan ukuran 3x9 cm² yaitu sebesar 17,53 mF sehingga plat elektroda dengan ukuran ini akan digunakan untuk pengukuran variasi selanjutnya.



Gambar 4.7 Pengaruh luas penampang elektroda terhadap nilai kapasitansi dari kapasitor lapis rangkap listrik

4.2.4 Pengaruh Variasi Konsentrasi Larutan Elektrolit H_3PO_4 terhadap Nilai Kapasitansi dari Elektroda Kapasitor Lapis Rangkap Listrik

Konsentrasi larutan elektrolit dapat mempengaruhi kapasitansi dari elektroda kapasitor lapis rangkap listrik. Pengukuran dilakukan dengan plat ukuran $3 \times 9 \text{ cm}^2$, tebal rangkaian 1,27 mm, variasi konsentrasi larutan elektrolit 0,1; 0,2; 0,25; 0,3; 0,4; 0,5 N, waktu pengisian 15 menit, dan frekuensi 100 Hz.

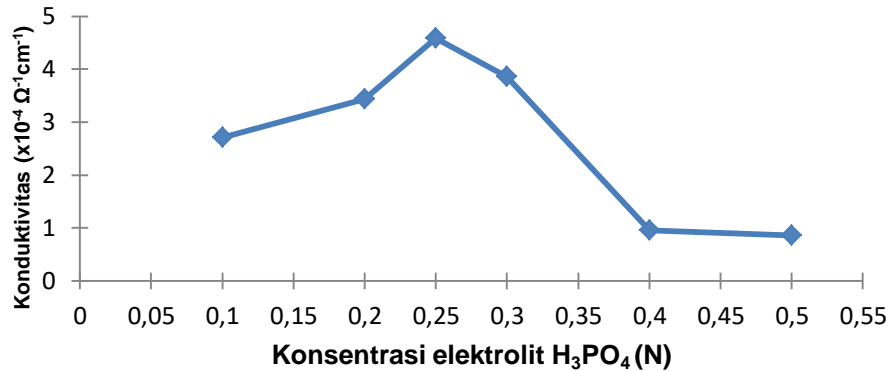


Gambar 4.8 Pengaruh variasi konsentrasi larutan elektrolit H_3PO_4 terhadap nilai kapasitansi kapasitor lapis rangkap listrik

Gambar 4.8 menunjukkan nilai kapasitansi dari elektroda kapasitor lapis rangkap listrik meningkat untuk konsentrasi 0,1; 0,2 dan 0,25 N kemudian turun pada konsentrasi 0,3 N sampai 0,5 N (data pada lampiran 8). Nilai kapasitansi maksimum didapatkan pada konsentrasi larutan elektrolit 0,25 N sebesar 17,73 mF sehingga konsentrasi ini akan digunakan untuk pengukuran variasi selanjutnya. Naiknya nilai kapasitansi pada konsentrasi 0,1 sampai 0,25 N disebabkan karena semakin tinggi konsentrasi maka akan semakin banyak muatan yang terserap ke dalam pori – pori karbon dan membentuk lapis rangkap listrik sedangkan turunnya nilai kapasitansi pada konsentrasi 0,3 sampai 0,5 N disebabkan karena semakin tinggi konsentrasi larutan elektrolit semakin banyak muatan yang bergerak di dalamnya, sehingga saat proses pengisian muatan – muatan ini akan bergerak lambat dan menyebabkan penumpukan pada antar muka elektrolit dan pemisah. Terjadinya penumpukan ini mengakibatkan sulitnya muatan tersebut untuk kembali ke separator dan kemudian akan mengganggu transport muatan ke masing – masing elektroda. Suasana asam dari larutan elektrolit juga dapat menyebabkan kerusakan pada pori karbon aktif sehingga akan semakin sedikit muatan yang tersimpan^{60,61}.

4.2.5 Pengaruh Variasi Konsentrasi Larutan Elektrolit H_3PO_4 Terhadap Nilai Konduktivitas dari Elektroda Kapasitor Lapis Rangkap Listrik

Konsentrasi elektrolit juga dapat mempengaruhi nilai konduktivitas dari elektroda kapasitor lapis rangkap listrik. Besarnya nilai konduktivitas dapat ditentukan menggunakan persamaan 2.2 (nilai R pada lampiran 8) dan hasil terlihat pada gambar 4.9



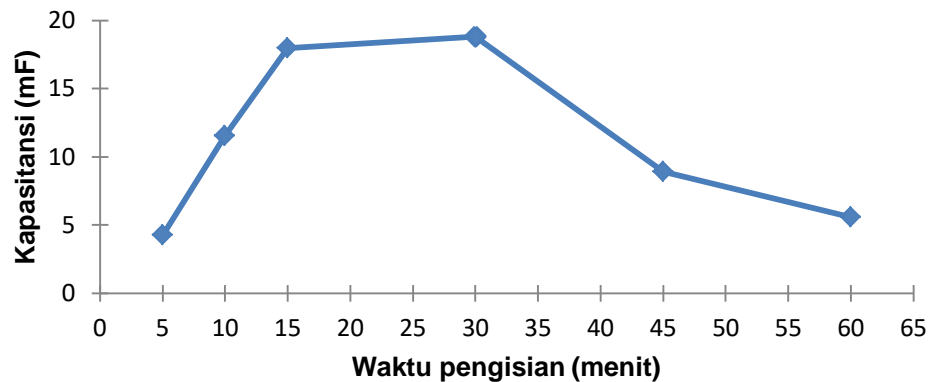
Gambar 4.9 Pengaruh variasi konsentrasi terhadap nilai konduktivitas dari elektroda kapasitor lapis rangkap listrik

Berdasarkan gambar 4.9 terlihat bahwa nilai konduktivitas dari elektroda kapasitor lapis rangkap listrik meningkat dari konsentrasi 0,1 sampai konsentrasi 0,25 N dan turun untuk konsentrasi 0,3 sampai 0,5 N (data pada lampiran 8). Konduktivitas merupakan kemampuan suatu materi untuk menghantarkan arus listrik, semakin tinggi konsentrasi larutan elektrolit maka semakin cepat kemampuan untuk menghantarkan muatan dari separator menuju elektroda dan menyebabkan terjadinya penumpukan muatan yang menuju permukaan elektroda. Penumpukan muatan ini akan menyebabkan proses pengisian dan pengosongan terganggu. Peningkatan konsentrasi larutan elektrolit akan meningkatkan mobilitas ion namun dengan meningkatnya mobilitas ion dapat menyebabkan proses pengisian dan pengosongan kapasitor lapis rangkap listrik⁶¹.

4.2.6 Pengaruh Variasi Waktu Pengisian terhadap Nilai Kapasitansi dari Elektroda Kapasitor Lapis Rangkap Listrik

Waktu pengisian merupakan waktu yang dibutuhkan untuk perpindahan muatan dari separator menuju elektroda dan membentuk lapis rangkap listrik. Lamanya waktu pengisian akan mempengaruhi nilai kapasitansi. Pengisian dilakukan dengan menggunakan *charger handphone* Nokia 5V. Variasi waktu yang diuji yaitu 5, 10, 15, 30, 45 dan 60 menit dengan ukuran plat elektroda $3 \times 9 \text{ cm}^2$, konsentrasi larutan

elektrolit H_3PO_4 0,25 N dan tebal rangkaian 1,27 mm. Hasil yang didapatkan dapat dilihat pada gambar 4.10



Gambar 4.10 Pengaruh variasi waktu pengisian terhadap nilai kapasitansi dari elektroda kapasitor lapis rangkap listrik

Gambar 4.10 menunjukkan bahwa nilai kapasitansi meningkat seiring bertambahnya waktu pengisian, namun terjadi penurunan setelah waktu pengisian 30 menit (data pada lampiran 9). Nilai kapasitansi maksimum didapatkan pada lama waktu pengisian 30 menit sebesar 18,83 mF, menurunnya nilai kapasitansi setelah waktu pengisian 30 menit diakibatkan karena semakin lama waktu yang digunakan untuk proses pengisian akan menyebabkan terjadinya perubahan mekanik pada separator PVA (*swelling*) karena adanya kenaikan suhu. Perubahan mekanik pada separator menyebabkan muatan tidak dapat bergerak menuju elektroda dan terjadi penumpukan sehingga akan menurunkan nilai kapasitansi dari kapasitor lapis rangkap listrik⁶⁰.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Tumimomor (2018) karbon aktif sabut kelapa yang diaktivasi menggunakan KOH dan digunakan sebagai elektroda kapasitor lapis rangkap listrik memiliki nilai kapasitansi spesifik yang cukup besar yaitu 53,70 F/g⁹. Pada penelitian kali ini nilai kapasitansi yang didapatkan relatif kecil, perbedaan nilai kapasitansi yang cukup jauh ini dapat disebabkan oleh perbedaan aliran gas dan suhu yang digunakan pada saat proses karbonisasi.

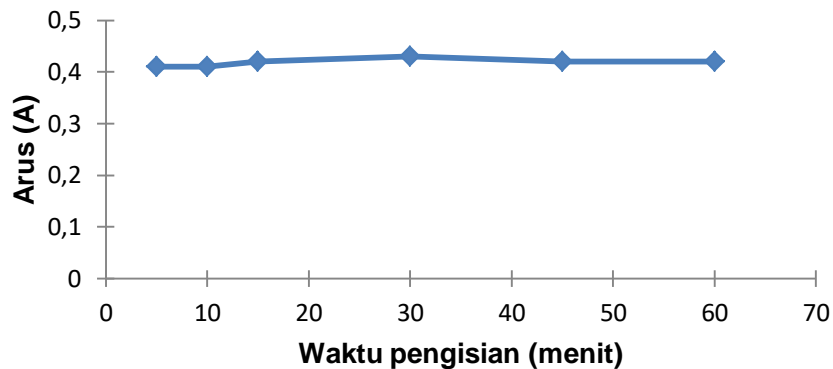
4.2.7 Pengaruh Variasi Waktu Pengisian terhadap Sifat Listrik Kapasitor Lapis Rangkap Listrik

4.2.7.1 Pengaruh Waktu Pengisian terhadap Arus Listrik

Waktu pengisian tidak terlalu memberikan pengaruh terhadap arus yang masuk dan keluar dalam membentuk lapis rangkap listrik selama proses pengisian. Pengukuran pengaruh waktu pengisian terhadap arus listrik dilakukan dengan menggunakan

ukuran plat elektroda $3 \times 9 \text{ cm}^2$, konsentrasi larutan elektrolit H_3PO_4 0,25 N, dan tebal rangkaian 1,27 mm.

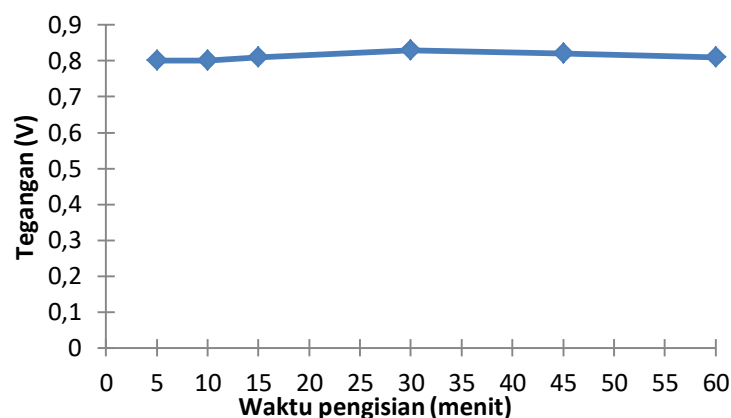
Gambar 4.11 menunjukkan bahwa nilai arus relatif konstan walaupun waktu pengisian ditingkatkan (data pada lampiran 10). Hal ini menandakan bahwa resistansi kapasitor lapis rangkap listrik yang telah dirakit dapat menjaga arus yang keluar konstan. Diketahui juga bahwa kapasitor lapis rangkap listrik tidak mengeluarkan arus sekaligus melainkan mengeluarkan arus secara konstan^{61,62}.



Gambar 4.11 Pengaruh waktu pengisian terhadap arus listrik dari kapasitor lapis rangkap listrik

4.2.7.2 Pengaruh Waktu Pengisian terhadap Tegangan Listrik

Tegangan listrik selama proses pembentukan lapis rangkap listrik diukur menggunakan multimeter dengan ukuran plat elektroda $3 \times 9 \text{ cm}^2$, konsentrasi larutan elektrolit H_3PO_4 0,25 N, tebal rangkaian 1,27 mm dan variasi waktu pengukuran 5, 10, 15, 30, 45 dan 60 menit. Hasil pengukuran tegangan listrik dapat dilihat pada gambar 4.12



Gambar 4.12 Pengaruh waktu pengisian terhadap tegangan listrik dari kapasitor lapis rangkap listrik

Berdasarkan gambar 4.12 menunjukkan bahwa nilai tegangan listrik yang dihasilkan kapasitor lapis tangkap listrik relatif konstan (data pada lampiran 10) walaupun waktu pengisiannya ditingkatkan. Ini menandakan telah terbentuk dipol yang sempurna pada elektroda kapasitor lapis rangkap listrik dalam membentuk lapis rangkap listrik⁶³.

4.2.8 Hubungan Kapasitansi, Muatan, dan Jumlah Elektron Kapasitor Lapis Rangkap Listrik

Jumlah muatan dihitung berdasarkan persamaan Faraday sesuai dengan persamaan 2.3 sedangkan jumlah elektron berhubungan dengan bilangan avogadro dan sesuai dengan persamaan 2.4. Contoh perhitungan menentukan jumlah muatan dan jumlah elektron dapat dilihat pada lampiran 4.

Tabel 4.2 Hubungan Kapasitansi, Muatan, dan Jumlah Elektron Kapasitor Lapis Rangkap Listrik

Konsentrasi elektrolit H ₃ PO ₄ (N)	Kapasitansi (mF)	Jumlah muatan (x 10 ³ Coulomb)	Jumlah elektron (x10 ²⁰ e ⁻)
0,1	10,20	984	61,424
0,2	12,49	1.205	75,215
0,25	17,73	1.710	106,770
0,3	17,53	1.692	105,566
0,4	10,01	966	60,280
0,5	8,13	784	48,959

Tabel 4.2 menunjukkan semakin tinggi kapasitansi maka jumlah muatan dan jumlah elektron juga akan semakin meningkat. Jumlah muatan maksimum didapatkan pada konsentrasi larutan elektrolit 0,25 N sebesar 1.710 x 10³ Coulomb dan jumlah elektron maksimum juga didapatkan pada konsentrasi 0,25 N sebesar 106,770 x 10²⁰ e⁻, sesuai dengan persamaan 2.3 dan persamaan 2.4 dimana nilai kapasitansi berbanding lurus dengan jumlah muatan dan jumlah elektron.

Nilai kapasitansi, jumlah muatan dan jumlah elektron meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi larutan elektrolit H₃PO₄, namun pada konsentrasi 0,3 N terjadi penurunan terhadap nilai kapasitansi, jumlah muatan dan jumlah elektron. Hal ini terjadi karena adanya penumpukan elektron disekitar permukaan elektroda akibat banyaknya elektron yang dihasilkan pada konsentrasi larutan elektrolit yang lebih tinggi⁴⁷.

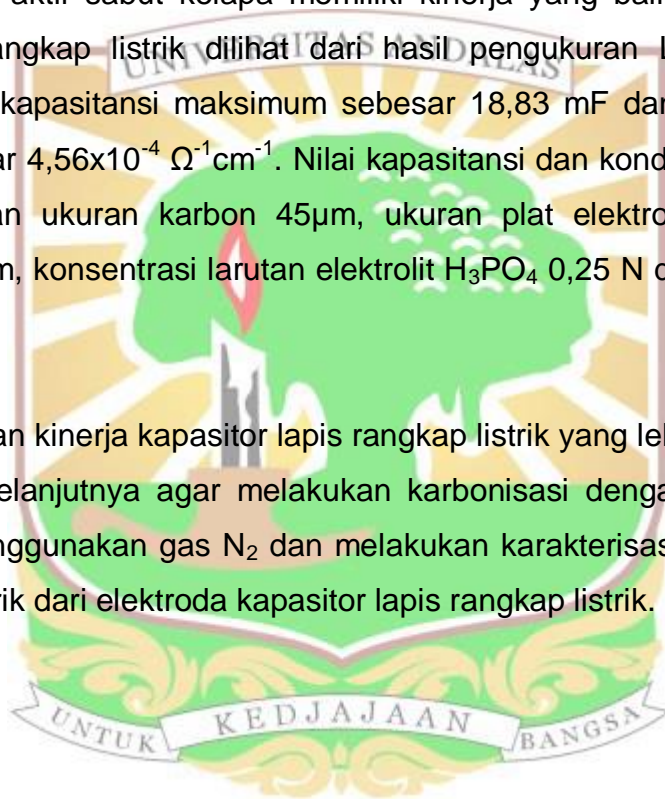
BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa karbon dari sabut kelapa yang diaktivasi menggunakan KOH dan proses karbonisasi langsung dapat digunakan sebagai elektroda kapasitor lapis rangkap listrik. Hasil karakterisasi SEM menunjukkan mulai terbentuknya pori – pori pada karbon aktif, berdasarkan hasil karakterisasi EDX didapatkan persen C sebesar 67,70% dengan struktur mesopori, luas permukaan spesifik $1,2561 \text{ m}^2/\text{g}$, volume pori $0,004235 \text{ cm}^3/\text{g}$ dan diameter pori rata – rata sebesar $20,156 \text{ nm}$ yang didukung dengan data BET dan BJH. Karbon aktif sabut kelapa memiliki kinerja yang baik sebagai elektroda kapasitor lapis rangkap listrik dilihat dari hasil pengukuran LCR - meter yang memberikan nilai kapasitansi maksimum sebesar $18,83 \text{ mF}$ dan nilai konduktivitas maksimum sebesar $4,56 \times 10^{-4} \Omega^{-1} \text{ cm}^{-1}$. Nilai kapasitansi dan konduktivitas maksimum didapatkan dengan ukuran karbon $45 \mu\text{m}$, ukuran plat elektroda $3 \times 9 \text{ cm}^2$, tebal rangkaian $1,27 \text{ mm}$, konsentrasi larutan elektrolit H_3PO_4 $0,25 \text{ N}$ dan waktu pengisian 30 menit.

5.2 Saran

Untuk mendapatkan kinerja kapasitor lapis rangkap listrik yang lebih baik, disarankan pada penelitian selanjutnya agar melakukan karbonisasi dengan suhu yang lebih tinggi dengan menggunakan gas N_2 dan melakukan karakterisasi EIS untuk melihat lebih jauh sifat listrik dari elektroda kapasitor lapis rangkap listrik.



DAFTAR PUSTAKA

1. Sesuk, T.; Tammawat, P.; Somton, K.; Limthongkul, P.; Kobsiriphat, W.: Activated Carbon Derived from Coconut Coir Pith as High Performance Supercapacitor Electrode Material. *Journal of Energy Storage* 2019, 25, 1-9.
2. Zang, J.; Tian, T.; Yang, G.; Jia, S.; Zhou, S.; Xu, H.; Wang, Y.: A Facile Preparation of Pomegranate-like Porous Carbon by Carbonization and Activation of Phenolic Resin Prepared via Hydrothermal Synthesis in KOH Solution for High Performance Supercapacitor Electrodes. *Advanced Powder Technology* 2019. 1-8.
3. Tetra, O.N.; Admin, A.; Hermansyah A.; Emriadi, E.; Ibrahim S.: Superkapasitor Berbahan Dasar Karbon Aktif dan Larutan Ionik sebagai Elektrolit. *Jurnal Zarah* 2018, 6(1), 39-46.
4. Borghei, S.A.; Zare, M.H.; Ahmadi, M.; Sedegi, M.H.; Marjani, A.; Shirazian, S.; Ghadiri, M.: Synthesis of Multi-Application Activated Carbon from Oak Seeds by KOH Activation for Methylene Blue Adsorption and Electrochemical Supercapacitor Electrode. *Arabian Journal of Chemistry* 2021, 14(2), 1.
5. Winata, A.S.; Devianto, H.; Susanti, R.F.: Synthesis of Activated Carbon from Salacca Peel with Hydrothermal Carbonization for Supercapacitor Application. *Materialstoday : Proceedings* 2020, 1.
6. Chao, P.; Xing-bin, Y.; Ru-tao, W.; Jun-wei, L.; Yu-jing, O.; Quin-ji X.: Promising Activated Carbon Derived from Waste Tea-Leaves and Their Application in High Performance Supercapacitor Electrodes. *Electrochemical Acta* 2013. 401-408.
7. Basta, A.H.; Fierro, V.; El-Saied, H.; Celzard, A.: 2-Step Activation of Rice Straw: An Efficient Method for Preparing High-Performance Activated Carbons. *Journal of Power Science* 2009. 3941-3947.
8. Cagnon, B.; Xavier, P.Y.; Guilot, A.; Stoeckli, F.; Chambat, G.: Contributions of Hemicellulose, Cellulose, and Lignin to The Mass and Porous Properties of Chars and Steam Activated Carbon from Various Lignocellulosic Precursors. *Bioresource Technology* 2009. 292-298.
9. Tumimomor, F.R.; Palilingan, S.C.: Pemanfaatan Karbon Aktif dari Sabut Kelapa sebagai Elektroda Superkapasitor. *FULLERENE Journal of Chemistry* 2018, 3(1), 13-18.
10. Yu, D.; Ma, Y.; Chen, M.; Dong, X.: KOH Activation of Wax Gourd-Derived Carbon Materials with High Porosity and Heteroatom Content for Aqueous or All-Solid-State Supercapacitors. *Journal of Colloid Interface Science* 2019, 537, 569-578.
11. Yang, L.; Feng, Y.; Cao, M.; Yao, J.: Two-Step Preparation of Hierarchical Porous Carbon from KOH-Activated Wood Sawdust for Supercapacitor. *Material Chemical Physic* 2019, 238.
12. Chaudhuri, M.; Saminal, S.N.B.: Coconut Coir Activated Carbon: An Adsorbent for Removal of Lead from Aqueous Solution. Universitas Teknologi Petronas Malaysia 2011, 148, 95-104.
13. Rosi, M.; Iskandar, F.; Ekaputra, M.P.; Abdullah M.: Superkapasitor Menggunakan Polimer Hidrogel Elektrolit dan Elektroda Nanopori Karbon. *Prosiding Seminar Nasional Material* 2012. 42-45.
14. Liu, Y.; Hu, Z.; Xu, K.; Zheng, X.; Gao, Q.: Surface Modification and Performance of Activated Carbon Electrode Material. *Acta Physico-Chimica Sinica* 2008, 24(7), 1-6
15. Ellenbogen, J.C.; Halper, M.S.: Supercapacitors: A Brief Overview. *Mitre Corporation* 2006. 1-34.

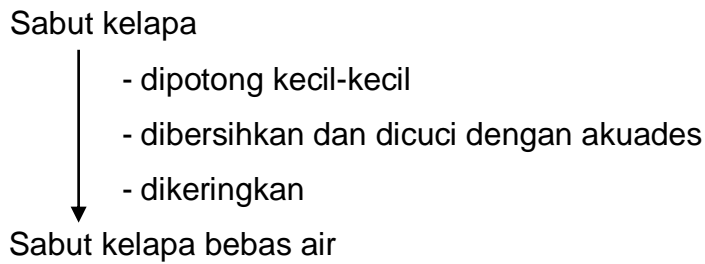
16. Choudhury, N.A.; Sampath, S.; Shukla, A.K.: Hydrogel-Polymer Electrolytes for Electrochemical Capacitor : An Overview. *Energy & Environmental Science* 2009, (1), 55-67.
17. Burke, A.: Ultrasupercapacitors: Why, How, and Where is The Technology. *Journal of Power Science* 2000, 9(1), 37-50.
18. Arief, E.N.; Taer, E.; Farma, R.: Pembuatan dan Karakterisasi Sel Supercapacitor Menggunakan Karbon Aktif Monolit Kayu Karet berdasarkan Variasi Konsentrasi HNO₃. *JOM FMIPA* 2015, 2(1), 50-51.
19. Sullivan, M.G.; Schnyder, B.; Bartsch, M.; Alliata, D.; Barbero, C.; Imhof, R.; Kötz, R.: Electrochemically Modified Glassy Carbon for Capacitor Electrodes Characterization of Thick Anodic Layers by Cyclic Voltammetry, Differential Electrochemical Mass Spectrometry, Spectroscopic Ellipsometry, X-Ray Photoelectron Spectroscopy, FTIR, and AFM. *Journal of The Electrochemical Society* 2000, 147(7), 2636-2643.
20. Chiu, Y.H.; Lin, L.Y.: Effect of Activating Agent for Producing Activated Carbon using A Facile One-Step Synthesis with Waste Coffee Grounds for Symmetric Supercapacitor. *Journal of The Taiwan Institute of Chemical Engineers* 2019, 101, 177-185.
21. Cheng, J.; Hu, S.C.; Sun, G.T.; Kang, K.; Zhu, M.Q.; Geng, Z.C.: comparison of activated carbons prepared by one-step and two-step chemical activation process based on cotton stalk for supercapacitors application. *Journal Pre-proof Energy* 2020, 215.
22. Vinayagam, M.; Babu, R.S.; Sivasamy, A.; Barros, A.L.F.: Biomass-Derived Porous Activated from *Syzygium cumini* Fruit Shells and *Chrysopogon zizanioides* Roots for High-Energy Density Symmetric Supercapacitors. *Biomass and Bioenergy* 2020, 143.
23. Wang, A.; Sun, K.; Xu, R.; Sun, Y.; Jiang, J.: Cleanly Synthesizing Rotten Potato-based Activated Carbon for Supercapacitor by Self-Catalytic Activation. *Journal Pre-proof Journal of Cleaner Production* 2020, 283.
24. Rajasekaran, S.J.; Raghavan, V.: Facile Synthesis of Activated Carbon Derived from *Eucalyptus globulus* Seeds as Efficient Electrode Material for Supercapacitors. *Diamond and Related Materials* 2020, 109.
25. Jain, A.; Tripathi, S.K.: Fabrication and Characterization of Energy Storing Supercapacitor Devices using Coconut Shell based Activated Charcoal Electrode. *Material Science and Engineering* 2014, 183, 54-60.
26. Vikram, S.; Devandra, K.S.; Dhukarya, D.C.: The Effect of Frequency and Temperature on Dielectric Properties of Pure Poly Vinylidene Fluoride (PVDF) Thin Films. *Proceedings of the International Multi Conference of Engineers and Computers Scientist* 2010, 3, 5-8.
27. Antonucci, L.; Antonucci V.: Energy Storage in The Emerging Era of Smart Grids. *InTech* 2011. 3-20.
28. Godse, L.S.: Study of Carbon Materials and Effect of It's Ball Milling On Capacitance of Supercapacitor. *Energy Procedia* 2014, (54), 302-309.
29. Kinoshita, K.: Carbon Electrochemical and Physicochemical Properties. *John Willey & Sons* 1988, 92(9).
30. Darmawan, S.: Sifat Arang Aktif Tempurung Kemiri dan Pemanfaatannya sebagai Penyerap Emisi Formaldehida Papan Serat Berkerapatan Sedang. *Tesis, Institut Pertanian Bogor. Bogor*, 2008.
31. Hassler, J. W.: Activated Carbon. *Chemical Pub. Co* 1963.
32. Tawalbeh, M.; Allawzi, M. A.; Kandah, M. I.: Production of Activated Carbon from Jojoba Seed Residue by Chemical Activation Residue Using a Static Bed Reactor. *Journal Application Science* 2005, 5 (3), 482-487.

33. Sudibandriyo, M.: A Generalized Ono-Kondo Lattice Model For High Pressure on Carbon Absorben. *Oklahoma State University*. Oklahoma. 2003 [Disertasi]
34. Marsh, H.; Reinoso, F.R.: Activated Carbon. *Elsevier Science* 2006.
35. Wardhani, I.Y.; Surjokusumo, S.; Hadi, S.Y.; Nugroho, N.: Distribusi Kandungan Kimia Kayu Kelapa (*Cocos nucifera* L). *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kayu Tropis* 2004, 2(1), 1-7.
36. Carrijo, O.A.; Liz, R.S.; Makishima N.: Fiber of Green Coconut Shell as Agriculture Substratum. *Brazilian Horticulture* 2002, (20), 533-535.
37. Abdullah, A.; Saleh, A.; Novianty, I.: Adsorpsi Karbon Aktif dari Sabut Kelapa (*Cocos nucifera*) terhadap Penurunan Fenol. UIN Makassar 2013, 1(2), 32-44.
38. Anggraini, V. Shear Strength Improvement of Sandy Soil Using Coconut Fiber. *International Journal of Civil Engineering and Technology* 2016, 7(3), 2.
39. Gunawan B, Azhari C: Karakterisasi spektrofotometri IR dan Scanning Electron Microscopy (SEM) Sensor Gas dari bahan Polimer Poly Etylen Glicol (PEG). *Jurnal Sains dan Teknologi*, 2010, 3(2): 1-17.
40. Sujatno, Agus; R. Salam; Bandriyana; A. Dimiyati.; Studi Scanning Electron Microscopy (SEM) untuk Karakterisasi Proses Oksidasi Paduan Zirkonium. *Jurnal Forum Nuklir (JFN)*. Pusat Sains dan Teknologi Bahan Maju. PSTBM-BATAN. 2015.
41. Setabudi, A.; Hardian, R.; Mudzakir, A.: Buku Karakterisasi Material, Prinsip dan Aplikasinya dalam Penelitian Kimia. *UPI Press*, Universitas Pendidikan Indonesia 2012.
42. Setyaningsih, N.E.; Muttaqin, R.; Mar'ah, I.: Optimalisasi Waktu Pelapisan Emas-Palladium pada Bahan Komposit Alam untuk Karakterisasi Morfologi dengan *Scanning Electron Microscopy (SEM) – Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (EDX)*. *Physic Communication* 2017, 1(2), 36-40.
43. Sulistyani, M.; Nuril, H. Optimasi Pengukuran Spektrum Vibrasi Sampel Protein Menggunakan Spektrofotometer Fourier Transform Infrared (FT-IR). *Indonesian Journal of Chemical Science*. 2017, 6(2): 173-180.
44. Siti, Z.; Aris, W.; Nur, H.; Apriza, M.; Yoga, A. P.; Lutfi, N.; Novita, D.; R.: Analisis Luas Permukaan Zeolit Alam Termodifikasi Dengan Metode BET Menggunakan Surface Area Analyzer (SAA). *Pelatihan Instrumen* 2015, FMIPA, Universitas Negeri Semarang: Semarang. 2015.
45. Grandys, P Rika.; D Istria.; P.R Ahmad.; F Amanda, P.; Analisis luas permukaan arang aktif dengan menggunakan metode BET (SAA). *Universitas Negeri Semarang*. Semarang. 2004.
46. Thommes, M.; Kaneko, K.; Neimark, A.V.; Olivier, J.P.; Reinoso, R.F.; Rouquerol, J.; Sing, K.S.W.: Physisorption of Gases, with Special Reference to The Evaluation of Surface Area and Pore Size Distribution (IUPAC Technical Report). *IUPAC Technical Report* 2015, 87(9-10), 1051-1069.
47. Kanaka Raju P.; Purna Chandra Rao M.: Design and development of portable digital LCR meter by auto balancing bridge method. *International Journal of Innovations in Engineering and Technology (IJJET)*. 2016, 7(3), 130-137.
48. Waltrip, B.; Seifert, F.: A Programmable Capacitor for Inductance Measurement. *IEEE Transaction on Instrumental and Measurement* 2017, 99, 1-7.
49. Daud, T.: Pengaruh arus listrik dan waktu proses terhadap ketebalan dan massa lapisan yang terbentuk pada proses elektroplating pelat baja. *Jurnal Ilmiah Sains*. 2011, 11(1): 97 – 101.
50. Taer, E.; Zlukifli, Z.; Syech, R.; Taslim, R.: Sifat Elektrokimia Superkapasitor Menggunakan Metode Charge Discharge Untuk Elektroda Karbon dari Kayu Karet. *Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Pekanbaru* 2015, 1-6.

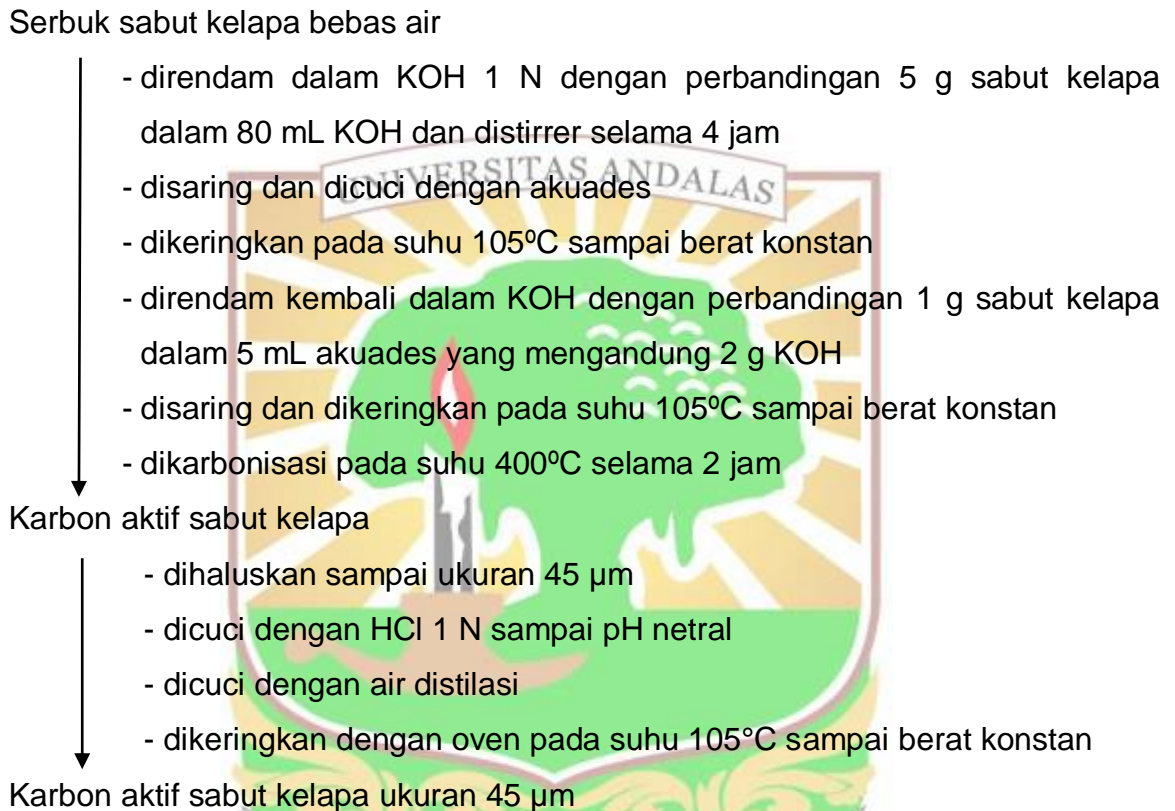
51. Lota, K.; Sierzynska, A.; Acznik I.: Effect of Aqueous Electrolytes on Electrochemical Capacitor Capacitance. *Science Technique* 2013, 67(11), 1138-1145.
52. Erlina.; Umiatin.; Budi, S.: Pengaruh Konsentrasi Larutan KOH Pada Karbon Aktif Tempurung Kelapa Untuk Adsorpsi Logam Cu. *Prosiding Seminar Nasional Fisika (e-journal) SNF*. 2015, 4: 55-60.
53. Sahara, E.; Sulihingtyas, W.D.; Mahardika, I P.A.S.: Pembuatan dan Karakterisasi Arang AKKtof dari Batang Tanaman Gumitir (*Tagetes erecta*) yang Diaktivasi dengan H₃PO₄. *Jurnal Kimia* 2017, 11(1), 1-9.
54. Jamilatun, S.; Setyawan, M.: Pembuatan Arang Aktif dari Tempurung Kelapa dan Aplikasinya untuk Penyerapan Asap Cair. Universitas Ahmad Dahlan Yogyakarta 2014, 12(1), 1-14.
55. Nandiyanto, A.B.D.; Oktiani, R.; Raghadita, R.: How to Read and Interpret FTIR Spectroscopy of Organic Material. *Indonesian Journal of Science and Technology* 2019, 4(1), 97-118.
56. Ghosh, S., Santhosh, R., Jeniffer, S., Raghavan, V., Jacob, G., & Nanaji, K. et al.; Natural biomass derived hard carbon and activated carbons as electrochemical supercapacitor electrodes. *Scientific Reports*. 2019, 9, 16315.
57. Fristina, R.: Pemanfaatan Kertas Karbon Sebagai Bahan Elektroda pada Superkapasitor, *Skripsi*. Fakultas MIPA, Universitas Andalas. 2016.
58. Bambang, A.S.; Widodo, C.S.; Saroja, G.: Studi Pengukuran Kapasitansi dan Konstanta Dielektrik pada Cabe Merah (*Capsicum annum L.*) Giling. *FMIPA Universitas Brawijaya*: Malang.
59. Pradana, H. Y.; Sintesis rGO/Glukosa dengan Variasi Perbandingan Massa dan Proses Eksfoliasi Secara Kimia Untuk Bahan Elektroda Superkapasitor. *Skripsi*. Fakultas MIPA, Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya, 2017.
60. Perdana, Y.A.: *Performance* Karbon Aktif dari Limbah Cangkang Kelapa Sawit sebagai Bahan Elektroda Superkapasitor, *Skripsi*. FMIPA, Universitas Andalas. 2017.
61. Fitriana, V. N., Diantoro, N., Nasikhudin: Sintesis dan Karakterisasi Superkapasitor Berbasis Nanopartikel Berbasis Nanopartikel TiO₂/C. *Skripsi*. FMIPA, Universitas Negeri Malang, 2014.
62. Kaiwen, Z.; Yuanyuan, L.; Ming, Z.: The Porous Carbon Derived From Water Hyacinth With Well-Designed Hierarchical Structure For Supercapacitors. *Journal of Power Sources*. 2017, 366: 270-277.
63. Aliza, R.: Pengaruh Suhu Pembakaran terhadap Performance TiO₂/C Berpendukung Keramik Sebagai Elektroda Superkapasitor. *Skripsi*, FMIPA Universitas Andalas. 2015.

Lampiran 1. Skema Kerja

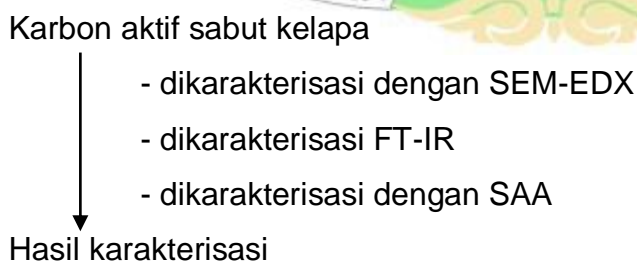
1. Preparasi Sabut Kelapa



2. Aktivasi Karbon Sabut Kelapa



3. Karakterisasi Karbon Aktif Sabut Kelapa



4. Pembuatan Plat Elektroda Kapasitor Lapis Rangkap Listrik

Plat tembaga

- dipotong dengan ukuran (3x3, 3x5, 3x7, 3x9) cm² masing – masing sebanyak 2 buah
- ditimbang berat masing – masing plat
- ditambahkan lem kertas
- ditaburi karbon aktif sabut kelapa dengan massa tertentu
- dikeringkan pada suhu 105°C

Plat elektroda

5. Perakitan Rangkaian Kapasitor Lapis Rangkap Listrik

Plat elektroda yang dilapisi karbon

- diambil masing – masing ukuran
- diselipkan separator PVA di antara dua elektroda
- dijepit dengan kaca dan penjepit kertas

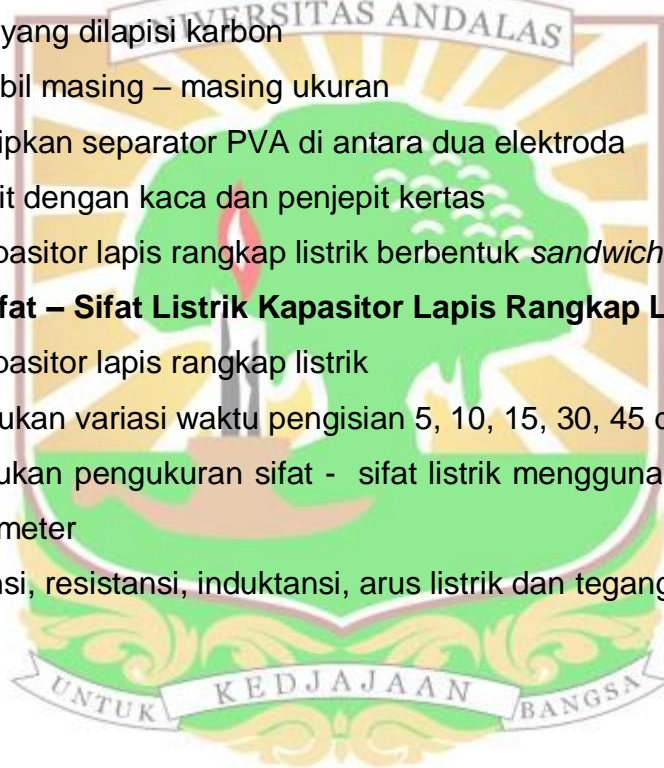
Rangkaian kapasitor lapis rangkap listrik berbentuk *sandwich*

6. Pengukuran Sifat – Sifat Listrik Kapasitor Lapis Rangkap Listrik

Rangkaian kapasitor lapis rangkap listrik

- dilakukan variasi waktu pengisian 5, 10, 15, 30, 45 dan 60 menit
- dilakukan pengukuran sifat - sifat listrik menggunakan LCR meter dan multimeter

Nilai kapasitansi, resistansi, induktansi, arus listrik dan tegangan



Lampiran 2. Perhitungan Pembuatan Larutan Elektrolit H₃PO₄

1. Konsentrasi H₃PO₄ 85%

Diketahui :

$$\% = 85\%$$

$$\rho = 1,71 \text{ g/mL}$$

$$\text{BM} = 97,97 \text{ g/mol}$$

$$\text{Valensi} = 3$$

$$N = \frac{85 \text{ g H}_3\text{PO}_4}{100 \text{ g lar H}_3\text{PO}_4} \times \frac{1,71 \text{ g lar H}_3\text{PO}_4}{1 \text{ mL larutan}} \times \frac{1000 \text{ mL larutan}}{1 \text{ L larutan}} \times \frac{1 \text{ mol H}_3\text{PO}_4}{97,97 \text{ g H}_3\text{PO}_4} \times \frac{3 \text{ mol ekuivalen}}{1 \text{ mol H}_3\text{PO}_4}$$

$$N = \frac{436050 \text{ mol ekuivalen}}{9797 \text{ L larutan}} \quad N = 44,5085 \text{ N}$$

2. Pembuatan Larutan Induk H₃PO₄ 5 N

$$V_1 \times N_1 = V_2 \times N_2$$

$$V_1 \times 44,5085 \text{ N} = 100 \text{ mL} \times 5 \text{ N}$$

$$V_1 = 11,36 \text{ N}$$

3. Pengenceran Larutan Induk H₃PO₄ 5 N

Konsentrasi 0,1 N

$$V_1 \times N_1 = V_2 \times N_2$$

$$V_1 \times 5 \text{ N} = 100 \text{ mL} \times 0,1 \text{ N}$$

$$V_1 = 2 \text{ mL}$$

Konsentrasi (N)	Volume yang diambil dari larutan induk H ₃ PO ₄ 5 N (mL)
0,1	2
0,2	4
0,25	5
0,3	6
0,4	8
0,5	10

Lampiran 3. Perhitungan Nilai Konduktivitas

$$\sigma = \frac{l}{R \times A}$$

Dimana,

σ = konduktivitas ($\Omega^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$) atau (S/cm)

l = tebal elektroda (cm)

R = hambatan (Ω)

A = luas penampang (cm^2)

Contoh Perhitungan Nilai Konduktivitas

Diketahui:

Ukuran partikel = 45 μm

Luas plat = 3 x 9 $\text{cm}^2 = 27 \text{cm}^2$

Massa karbon = 1,2 gram

Tebal elektroda = 0,127 cm

Nilai Resistansi = 12,37 Ω

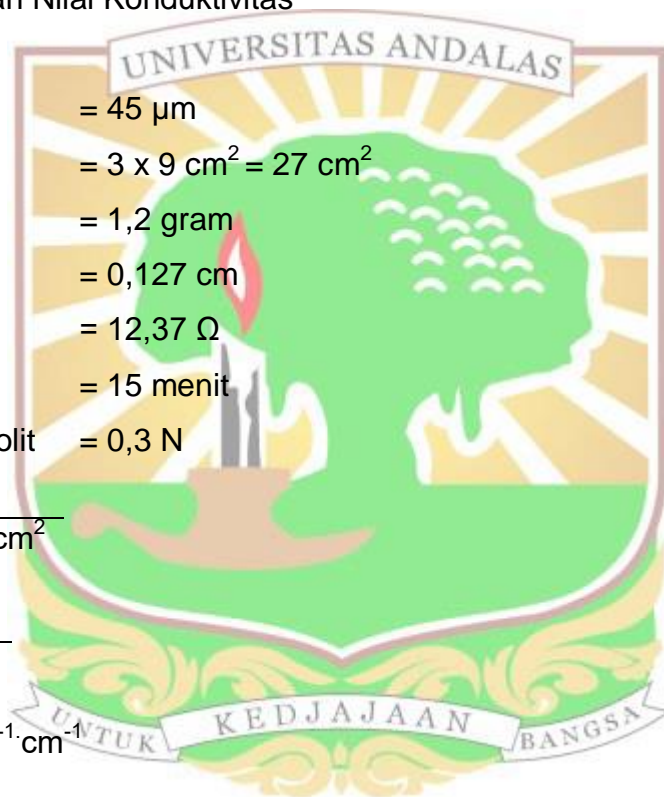
Waktu Pengisian = 15 menit

Konsentrasi elektrolit = 0,3 N

$$\sigma = \frac{0,127 \text{ cm}}{12,37 \Omega \times 27 \text{ cm}^2}$$

$$\sigma = \frac{0,127 \text{ cm}}{333,99 \Omega \text{ cm}^2}$$

$$\sigma = 3,802 \times 10^{-4} \Omega^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$$



Lampiran 4. Contoh Perhitungan Nilai Muatan Dan Jumlah Elektron Dari Elektroda Dengan Variasi Konsentrasi Elektrolit

Perhitungan nilai muatan dan jumlah elektron dari elektroda dengan nilai kapasitansi optimum pada konsentrasi elektrolit 0,25 N.

$$1 \text{ Faraday} = 6,022 \times 10^{23} e^- = 96500 \text{ Coulomb}$$

Diketahui:

Ukuran partikel	= 45 μm
Luas plat	= $3 \times 9 \text{ cm}^2 = 27 \text{ cm}^2$
Massa karbon	= 1,2 gram
Tebal plat	= 0,127 cm
Nilai Resistansi	= 12,37 Ω
Waktu Pengisian	= 15 menit
Konsentrasi elektrolit	= 0,25 N

- | | |
|-----------------|--|
| a) Kapasitansi | = 17,73 mF |
| b) Muatan | = $(17,73 \times 10^{-3}) \text{ F} \times 96500 \text{ Coulomb}$
= $1.710 \times 10^3 \text{ Coulomb}$ |
| c) Jumlah e^- | = $(17,73 \times 10^{-3}) \text{ F} \times 6,022 \times 10^{23} e^-$
= $106,770 \times 10^{20} e^-$ |



Lampiran 5. Tabel Pengukuran Sifat Listrik terhadap Nilai Kapasitansi pada Variasi Massa Karbon

1. Variasi massa karbon 0,1 gram

Waktu pengisian 15 menit

Larutan elektrolit H_3PO_4 0,3 N

LCR METER

Pengukuran ke	Kapasitansi (mF)	Induktansi (μH)	Resistansi (Ω)	Konduktivitas ($\times 10^{-4} \Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$)
1	2,30	942	72,91	0,6705
2	2,29	944	71,87	0,6802
3	2,44	948	71,60	0,6828
Rata-Rata	2,34	944,67	72,13	0,6778

2. Variasi massa karbon 0,2 gram

Waktu pengisian 15 menit

Larutan elektrolit H_3PO_4 0,3 N

LCR METER

Pengukuran ke	Kapasitansi (mF)	Induktansi (μH)	Resistansi (Ω)	Konduktivitas ($\times 10^{-4} \Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$)
1	3,22	387	77,81	1,3137
2	3,46	370	70,84	1,4430
3	4,26	368	70,62	1,4475
Rata-Rata	3,65	375	73,09	1,4014

3. Variasi massa karbon 0,3 gram

Waktu pengisian 15 menit

Larutan elektrolit H_3PO_4 0,3 N

LCR METER

Pengukuran ke	Kapasitansi (mF)	Induktansi (μH)	Resistansi (Ω)	Konduktivitas ($\times 10^{-4} \Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$)
1	5,25	341	66,65	1,6834
2	5,40	339	69,00	1,6264
3	5,92	380	67,86	1,6537
Rata-Rata	5,52	353,33	67,84	1,6545

4. Variasi massa karbon 0,4 gram

Waktu pengisian 15 menit

Larutan elektrolit H_3PO_4 0,3 N

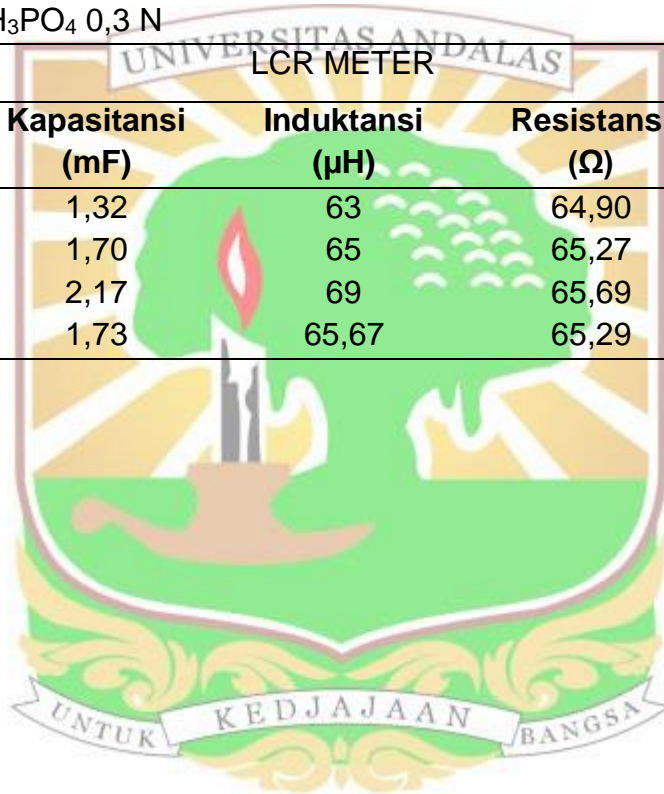
LCR METER				
Pengukuran ke	Kapasitansi (mF)	Induktansi (μH)	Resistansi (Ω)	Konduktivitas ($\times 10^{-4} \Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$)
1	9,04	120	61,12	2,3088
2	10,31	142	59,46	2,3732
3	9,55	128	63,79	2,2121
Rata-Rata	9,63	130	61,46	2,2980

5. Variasi massa karbon 0,5 gram

Waktu pengisian 15 menit

Larutan elektrolit H_3PO_4 0,3 N

LCR METER				
Pengukuran ke	Kapasitansi (mF)	Induktansi (μH)	Resistansi (Ω)	Konduktivitas ($\times 10^{-4} \Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$)
1	1,32	63	64,90	2,2085
2	1,70	65	65,27	2,1960
3	2,17	69	65,69	2,1820
Rata-Rata	1,73	65,67	65,29	2,1955



Lampiran 6. Tabel Pengukuran Sifat Listrik terhadap Nilai Kapasitansi pada Variasi Frekuensi

1. Ukuran plat 3 x 3 cm²
 Tebal rangkaian 0,127 cm
 Waktu pengisian 15 menit
 Larutan elektrolit H₃PO₄ 0,3 N
 Frekuensi 100 Hz

LCR METER

Pengukuran ke	Kapasitansi (mF)	Induktansi (μH)	Resistansi (Ω)	Konduktivitas (x 10 ⁻⁴ Ω ⁻¹ cm ⁻¹)
1	9,04	120	61,12	2,3088
2	10,31	142	59,46	2,3732
3	9,55	128	63,79	2,2121
Rata-Rata	9,63	130	61,46	2,2980

2. Ukuran plat 3 x 3 cm²
 Tebal rangkaian 0,127 cm
 Waktu pengisian 15 menit
 Larutan elektrolit H₃PO₄ 0,3 N
 Frekuensi 120 Hz

LCR METER

Pengukuran ke	Kapasitansi (mF)	Induktansi (μH)	Resistansi (Ω)	Konduktivitas (x 10 ⁻⁴ Ω ⁻¹ cm ⁻¹)
1	7,10	100	73,12	1,1579
2	5,34	98	69,40	1,2199
3	5,93	103	68,89	1,2290
Rata-Rata	6,12	100,3	70,14	1,2072

3. Ukuran plat 3 x 3 cm²
 Tebal rangkaian 0,127 cm
 Waktu pengisian 15 menit
 Larutan elektrolit H₃PO₄ 0,3 N
 Frekuensi 1000 Hz

LCR METER

Pengukuran ke	Kapasitansi (mF)	Induktansi (μH)	Resistansi (Ω)	Konduktivitas (x 10 ⁻⁴ Ω ⁻¹ cm ⁻¹)
1	4,10	112	74,37	1,1540
2	4,26	99	77,15	1,0975
3	3,68	92	69,04	1,2263
Rata-Rata	4,01	101	73,19	1,1568

Lampiran 7. Tabel Pengukuran Sifat Listrik terhadap Nilai Kapasitansi pada Variasi Ukuran Plat Elektroda

1. Ukuran plat 3 x 3 cm²
 Tebal rangkaian 0,127 cm
 Waktu pengisian 15 menit
 Larutan elektrolit H₃PO₄ 0,3 N

LCR METER

Pengukuran ke	Kapasitansi (mF)	Induktansi (μH)	Resistansi (Ω)	Konduktivitas (x 10 ⁻⁴ Ω ⁻¹ cm ⁻¹)
1	9,04	120	61,12	2,3088
2	10,31	142	59,46	2,3732
3	9,55	128	63,79	2,2121
Rata-Rata	9,63	130	61,46	2,2980

2. Ukuran plat 3 x 5 cm²
 Tebal rangkaian 0,127 cm
 Waktu pengisian 15 menit
 Larutan elektrolit H₃PO₄ 0,3 N

LCR METER

Pengukuran ke	Kapasitansi (mF)	Induktansi (μH)	Resistansi (Ω)	Konduktivitas (x 10 ⁻⁴ Ω ⁻¹ cm ⁻¹)
1	9,24	43	36,12	2,3440
2	10,03	61	37,06	2,2846
3	11,34	57	35,63	2,3763
Rata-Rata	10,20	53,67	36,27	3,3350

3. Ukuran plat 3 x 7 cm²
 Tebal rangkaian 0,127 cm
 Waktu pengisian 15 menit
 Larutan elektrolit H₃PO₄ 0,3 N

LCR METER

Pengukuran ke	Kapasitansi (mF)	Induktansi (μH)	Resistansi (Ω)	Konduktivitas (x 10 ⁻⁴ Ω ⁻¹ cm ⁻¹)
1	12,73	39	21,29	2,8405
2	11,11	51	20,16	2,9998
3	13,63	46	20,98	2,8826
Rata-Rata	12,49	45,33	20,81	2,9076

4. Ukuran plat 3 x 9 cm²
 Tebal rangkaian 0,127 cm
 Waktu pengisian 15 menit
 Larutan elektrolit H₃PO₄ 0,3 N

LCR METER

Pengukuran ke	Kapasitansi (mF)	Induktansi (μH)	Resistansi (Ω)	Konduktivitas (x 10 ⁻⁴ Ω ⁻¹ cm ⁻¹)
1	18,90	25	10,79	4,3593
2	17,00	27	11,98	3,9263
3	16,69	28	14,33	3,2824
Rata-Rata	17,53	26,67	12,29	3,8560



Lampiran 8. Tabel Pengukuran Sifat Listrik terhadap Nilai Kapasitansi pada Variasi Konsentrasi Larutan Elektrolit H₃PO₄

1. Larutan elektrolit H₃PO₄ 0,1 N

Tebal rangkaian 0,127 cm

Ukuran plat 3 x 9 cm²

Waktu pengisian 15 menit

LCR METER

Pengukuran ke	Kapasitansi (mF)	Induktansi (μH)	Resistansi (Ω)	Konduktivitas (x 10 ⁻⁴ Ω ⁻¹ cm ⁻¹)
1	14,15	77	18,10	2,5987
2	10,03	61	17,12	2,7475
3	11,34	37	16,98	2,7701
Rata-Rata	11,84	47	13,40	2,7054

2. Larutan elektrolit H₃PO₄ 0,2 N

Tebal rangkaian 0,127 cm

Ukuran plat 3 x 9 cm²

Waktu pengisian 15 menit

LCR METER

Pengukuran ke	Kapasitansi (mF)	Induktansi (μH)	Resistansi (Ω)	Konduktivitas (x 10 ⁻⁴ Ω ⁻¹ cm ⁻¹)
1	14,15	72	14,77	3,1846
2	15,53	75	13,05	3,6043
3	13,52	89	13,35	3,5234
Rata-Rata	14,40	78,67	13,72	3,4374

3. Larutan elektrolit H₃PO₄ 0,25 N

Tebal rangkaian 0,127 cm

Ukuran plat 3 x 9 cm²

Waktu pengisian 15 menit

LCR METER

Pengukuran ke	Kapasitansi (mF)	Induktansi (μH)	Resistansi (Ω)	Konduktivitas (x 10 ⁻⁴ Ω ⁻¹ cm ⁻¹)
1	16,44	30	10,12	4,6479
2	18,42	47	9,97	4,7178
3	18,31	34	10,68	4,4042
Rata-Rata	17,73	37	10,26	4,5899

4. Larutan elektrolit H₃PO₄ 0,3 N

Tebal rangkaian 0,127 cm

Ukuran plat 3 x 9 cm²

Waktu pengisian 15 menit

LCR METER

Pengukuran ke	Kapasitansi (mF)	Induktansi (μH)	Resistansi (Ω)	Konduktivitas (x 10 ⁻⁴ Ω ⁻¹ cm ⁻¹)
1	18,90	25	10,79	4,3593
2	17,00	27	11,98	3,9263
3	16,69	28	14,33	3,2824
Rata-Rata	17,53	26,67	12,29	3,8560

5. Larutan elektrolit H₃PO₄ 0,4 N

Tebal rangkaian 0,127 cm

Ukuran plat 3 x 9 cm²

Waktu pengisian 15 menit

LCR METER

Pengukuran ke	Kapasitansi (mF)	Induktansi (μH)	Resistansi (Ω)	Konduktivitas (x 10 ⁻⁴ Ω ⁻¹ cm ⁻¹)
1	10,93	70	51,17	0,9192
2	9,46	66	46,79	1,0053
3	9,65	79	49,88	0,9430
Rata-Rata	10,01	71,67	49,28	0,9558

6. Larutan elektrolit H₃PO₄ 0,5 N

Tebal rangkaian 0,127 cm

Ukuran plat 3 x 9 cm²

Waktu pengisian 15 menit

LCR METER

Pengukuran ke	Kapasitansi (mF)	Induktansi (μH)	Resistansi (Ω)	Konduktivitas (x 10 ⁻⁴ Ω ⁻¹ cm ⁻¹)
1	9,24	73	53,45	0,8002
2	8,46	69	52,50	0,8960
3	6,69	97	52,29	0,8721
Rata-Rata	8,13	79,67	53,29	0,8561

Lampiran 9. Tabel Pengukuran Sifat Listrik terhadap Nilai Kapasitansi pada Variasi Waktu

1. Waktu pengisian 5 menit
 Tebal rangkaian 0,127 cm
 Ukuran plat 3 x 9 cm²
 Larutan elektrolit H₃PO₄ 0,25 N

LCR METER

Pengukuran ke	Kapasitansi (mF)	Induktansi (μH)	Resistansi (Ω)	Konduktivitas (x 10 ⁻⁴ Ω ⁻¹ cm ⁻¹)
1	4,12	97	55,70	0,8445
2	3,78	90	65,12	0,7223
3	4,82	94	58,57	0,8031
Rata-Rata	4,24	93,67	59,80	0,7899

2. Waktu pengisian 10 menit
 Tebal rangkaian 0,127 cm
 Ukuran plat 3 x 9 cm²
 Larutan elektrolit H₃PO₄ 0,25 N

LCR METER

Pengukuran ke	Kapasitansi (mF)	Induktansi (μH)	Resistansi (Ω)	Konduktivitas (x 10 ⁻⁴ Ω ⁻¹ cm ⁻¹)
1	12,04	86	38,12	1,2340
2	10,72	79	40,69	1,1560
3	11,85	83	44,06	1,0675
Rata-Rata	11,54	82,67	40,96	1,1484

3. Waktu pengisian 15 menit
 Tebal rangkaian 0,127 cm
 Ukuran plat 3 x 9 cm²
 Larutan elektrolit H₃PO₄ 0,25 N

LCR METER

Pengukuran ke	Kapasitansi (mF)	Induktansi (μH)	Resistansi (Ω)	Konduktivitas (x 10 ⁻⁴ Ω ⁻¹ cm ⁻¹)
1	16,44	30	10,12	4,6479
2	18,42	47	9,97	4,7178
3	18,31	34	10,68	4,4042
Rata-Rata	17,73	37	10,26	4,5899

4. Waktu pengisian 30 menit
 Tebal rangkaian 0,127 cm
 Ukuran plat 3 x 9 cm²
 Larutan elektrolit H₃PO₄ 0,25 N

LCR METER

Pengukuran ke	Kapasitansi (mF)	Induktansi (μH)	Resistansi (Ω)	Konduktivitas (x 10 ⁻⁴ Ω ⁻¹ cm ⁻¹)
1	19,37	73	10,06	4,6756
2	18,42	88	9,48	4,9620
3	18,37	95	8,89	5,2910
Rata-Rata	18,83	85,33	9,48	4,9762

5. Waktu pengisian 45 menit
 Tebal rangkaian 0,127 cm
 Ukuran plat 3 x 9 cm²
 Larutan elektrolit H₃PO₄ 0,25 N

LCR METER

Pengukuran ke	Kapasitansi (mF)	Induktansi (μH)	Resistansi (Ω)	Konduktivitas (x 10 ⁻⁴ Ω ⁻¹ cm ⁻¹)
1	8,70	101	50,12	0,9385
2	8,04	92	59,62	0,7890
3	9,99	89	48,76	0,9647
Rata-Rata	8,91	94	52,83	0,8974

6. Waktu pengisian 60 menit
 Tebal rangkaian 0,127 cm
 Ukuran plat 3 x 9 cm²
 Larutan elektrolit H₃PO₄ 0,25 N

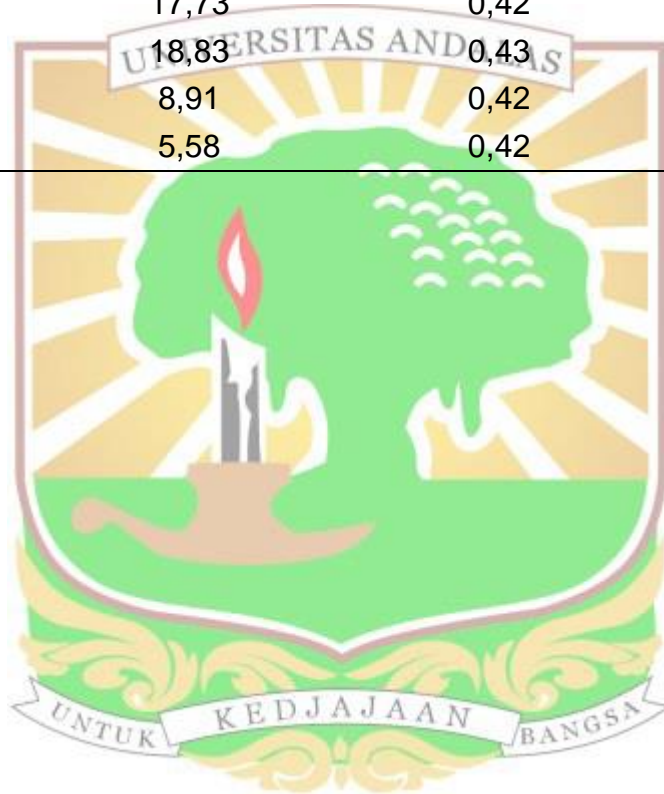
LCR METER

Pengukuran ke	Kapasitansi (mF)	Induktansi (μH)	Resistansi (Ω)	Konduktivitas (x 10 ⁻⁴ Ω ⁻¹ cm ⁻¹)
1	5,94	140	55,12	0,8534
2	5,88	166	57,75	0,8437
3	4,93	153	50,42	0,9329
Rata-Rata	5,58	153	54,43	0,8767

Lampiran 10. Tabel Pengaruh Lama Waktu Pengisian terhadap Arus dan Tegangan Listrik

Konsentrasi elektrolit	= 0,25N
Ukuran plat	= 3 x 9 cm ²
Massa karbon	= 1,2 gram
Tebal plat	= 0,127 cm
Ukuran partikel	= 45 μm

Waktu Pengisian (menit)	Kapasitansi (mF)	Arus (A)	Tegangan (V)
5	4,24	0,41	0,80
10	11,54	0,41	0,80
15	17,73	0,42	0,81
30	18,83	0,43	0,83
45	8,91	0,42	0,82
60	5,58	0,42	0,81



BIODATA PENULIS

Nama Lengkap : Natasha Dwi Putri
 Tempat, Tanggal Lahir : Padang, 16 September 1998
 Jenis Kelamin : Perempuan
 No. HP : 081270765967
 Asal SMA : SMAN 2 Padang
 Orang Tua
 Nama Ayah : Erman B.
 Pekerjaan : Pedagang
 Nama Ibu : Jaini, S.H
 Pekerjaan : Ibu Rumah Tangga
 Anak Ke : 2 (Dua)
 Alamat Rumah : Jaruai, Bungus Barat, Bungus Teluk Kabung
 Email : putrinatashadwi@gmail.com
 Visi Hidup : Duh enaknyanya jadi orang kaya

