

**PEMANFAATAN KARBON AKTIF DARI AMPAS
KOPI DENGAN VARIASI SUHU DAN AKTIVATOR
SEBAGAI ELEKTRODA SUPERKAPASITOR**

TUGAS AKHIR

Untuk memenuhi sebagian persyaratan
mencapai derajat Sarjana S-1

Program Studi Fisika



Diajukan Oleh:
Pratama Ari Putra

18106020012

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA**

2023

HALAMAN PENGESAHAN



KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
Jl. Marsda Adisucipto Telp. (0274) 540971 Fax. (0274) 519739 Yogyakarta 55281

PENGESAHAN TUGAS AKHIR

Nomor : B-1435/Un.02/DST/PP.00.9/06/2023

Tugas Akhir dengan judul : PEMANFAATAN KARBON AKTIF DARI AMPAS KOPI DENGAN VARIASI SUHU DAN AKTIVATOR SEBAGAI ELEKTRODA SUPERKAPASITOR

yang dipersiapkan dan disusun oleh:

Nama : PRATAMA ARI PUTRA
Nomor Induk Mahasiswa : 18106020012
Telah diujikan pada : Selasa, 30 Mei 2023
Nilai ujian Tugas Akhir : A

dinyatakan telah diterima oleh Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

TIM UJIAN TUGAS AKHIR



Ketua Sidang
Dr. Widayanti, S.Si. M.Si.
SIGNED

Valid ID: 64823e77886e5



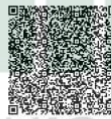
Penguji I
Dr. Thaqibul Fikri Niyartama, S.Si., M.Si.
SIGNED

Valid ID: 6481820a6a390



Penguji II
Frida Agung Rakhmadi, S.Si., M.Sc.
SIGNED

Valid ID: 64818e5ca502



Yogyakarta, 30 Mei 2023
UIN Sunan Kalijaga
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
Dr. Dra. Hj. Khurul Wardati, M.Si.
SIGNED

Valid ID: 6482ac1e3408

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Pratama Ari Putra
NIM : 18106020012
Program Studi : Fisika
Fakultas : Sains dan Teknologi

Menyatakan bahwa skripsi saya yang berjudul "Pemanfaatan Karbon Aktif Dari Ampas Kopi Dengan Variasi Suhu Dan Aktivator Sebagai Elektroda Superkapasitor" merupakan hasil penelitian saya sendiri, tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Yogyakarta, 8 Mei 2023

Penulis



Pratama Ari Putra
NIM. 18106020012

HALAMAN PERSETUJUAN SKRIPSI

SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR

Hal : Peretujuan skripsi

Lamp : -

Kepada

Yth. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

di Yogyakarta

Assalamu'alaikum wr. wb.

Setelah membaca, meneliti, memberikan petunjuk dan mengoreksi serta mengadakan perbaikan seperlunya, maka kami selaku pembimbing berpendapat bahwa skripsi Saudara:

Nama : PRATAMA ARI PUTRA
NIM : 18106020012
Judul Skripsi : PEMANFAATAN KARBON AKTIF DARI AMPAS KOPI DENGAN VARIASI SUHU DAN AKTIVATOR SEBAGAI ELEKTRODA SUPERKAPASITOR


sudah dapat diajukan kembali kepada Program Studi Fisika Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Strata Satu dalam bidang Fisika.

Dengan ini kami berharap agar skripsi/tugas akhir Saudara tersebut di atas dapat segera dimunaqsyahkan. Atas perhatiannya kami ucapkan terima kasih.

Wassalamu'alaikum wr. wb.

Yogyakarta, 8 Mei 2023

Pembimbing


Dr. Widayanti, S.Si. M.Si.
NIP. 19760526 200604 2 005

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

PEMANFAATAN KARBON AKTIF DARI AMPAS KOPI DENGAN VARIASI SUHU DAN AKTIVATOR SEBAGAI ELEKTRODA SUPERKAPASITOR

Pratama Ari Putra
18106020012

INTISARI

Energi listrik telah menjadi kebutuhan pokok masyarakat dunia dan telah membawa pengaruh besar pada hampir seluruh sektor kehidupan. Saat ini superkapasitor ini telah menunjukkan kinerja yang luar biasa sebagai sistem penyimpanan energi ramah lingkungan. Salah satu bahan baku yang dapat dijadikan sebagai karbon aktif adalah ampas kopi. Karbon aktif ampas kopi dapat dijadikan elektroda superkapasitor. Penelitian ini bertujuan untuk membuat karbon aktif dengan bahan dasar ampas kopi, mengetahui pengaruh suhu karbonisasi dan aktivator terhadap kualitas karbon aktif yang dihasilkan, serta membuat dan melakukan pengujian kinerja superkapasitor terhadap nilai kapasitansi dan tegangan. Pembuatan karbon aktif berbahan ampas kopi dikarbonisasi dengan suhu 300°C, 500°C, 700°C dan diaktivasi dengan HCl, KOH, dan ZnCl₂, kemudian dilakukan pengujian kualitas karbon aktif. Karbon aktif yang telah dibuat dijadikan bahan dasar pembuatan elektroda superkapasitor. Selanjutnya kinerja superkapasitor tersebut diuji dengan mengukur besaran kelistrikannya dan mengetahui tingkat presisinya. Hasil pengujian kualitas karbon aktif menunjukkan bahwa kondisi optimum terjadi pada suhu karbonisasi 700°C dan diaktivasi oleh KOH dengan diperoleh kadar abu sebesar 9,359%, kadar air sebesar 2,564%, kadar zat terbang sebesar 5,888%, dan kadar karbon terikat sebesar 84,753%. Hasil tersebut memenuhi standar SNI 06-3730-1995. Sedangkan hasil pengujian superkapasitor menunjukkan kondisi optimum terjadi pada superkapasitor dengan karbon aktif suhu karbonisasi 300°C teraktivasi ZnCl₂ dengan waktu pengisian daya 1 menit diperoleh tegangan sebesar 352,9 mV dan kapasitansi sebesar 465,58 µF. Hasil tersebut menunjukkan superkapasitor dengan nilai tegangan yang kecil menghasilkan kapasitansi yang cukup besar. Superkapasitor yang dibuat menghasilkan tingkat presisi tertinggi pada superkapasitor dengan karbon aktif suhu karbonisasi 300°C teraktivasi HCl dengan waktu pengisian daya 1 menit diperoleh presisi sebesar 99,79%.

KATA KUNCI : karbon aktif, suhu karbonisasi, aktivator, superkapasitor

**UTILIZATION OF ACTIVATED CARBON FROM COFFEE GROUNDS
WITH VARIATION OF TEMPERATURE AND ACTIVATOR AS
SUPERCAPACITOR ELECTRODE**

Pratama Ari Putra
18106020012

ABSTRACT

Electrical energy has become a basic need of the world community and has brought great influence on almost all sectors of life. Currently this supercapacitor has shown outstanding performance as an environmentally friendly energy storage system. One of the raw materials that can be used as activated carbon is coffee grounds. Coffee grounds activated carbon can be used as a supercapacitor electrode. This research aims to make activated carbon with the basic ingredients of coffee grounds, determine the effect of carbonization temperature and activator on the quality of activated carbon produced, and make and test the performance of supercapacitors on capacitance and voltage values. Preparation of activated carbon made from coffee grounds carbonized with temperatures of 300°C, 500°C, 700°C and activated with HCl, KOH, and ZnCl₂, then testing the quality of activated carbon. Activated carbon that has been made as the basic material for making supercapacitor electrodes. Furthermore, the performance of the supercapacitor was tested by measuring the amount of electricity and knowing the level of precision. The results of testing the quality of activated carbon showed that the optimum conditions occurred at a carbonization temperature of 700°C and activated by KOH with obtained ash content of 9,359%, moisture content of 2,564%, volatile matter content of 5,888%, and bound carbon content of 84,753%. These results meet the SNI 06-3730-1995 standard. While the results of supercapacitor testing show optimum conditions occur in supercapacitors with activated carbon with a carbonization temperature 300°C activated by ZnCl₂ with a charging time of 1 minute obtained a voltage of 352,9 mV and capacitance of 465.58 μF. These results show that supercapacitors with small voltage values produce a large enough capacitance. The supercapacitor made produces the highest level of precision in supercapacitors with activated carbon with a carbonization temperature of 300°C activated by HCl with a charging time of 1 minute obtained a precision of 99,79%.

KEYWORDS: *activated carbon, carbonization temperature, activator, supercapacitor*

MOTTO

“Prinsip hidup seperti bersepeda, untuk tetap berjalan kau harus terus bergerak”

“Yakinkan dengan iman, usahakan dengan ilmu, dan sampaikan dengan amal”

YAKIN USAHA SAMPAI



STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

HALAMAN PERSEMBAHAN

Dengan segala kerendahan hati,

Kupersembahkan karyaku ini untuk orang yang aku sayangi

Bapak, Ibu, dan Adik tercinta

Bapak Suyoto, Ibu Tatik, dan Ikhsan atas segala pengorbanan doa, *support*, dan kasih sayang yang tak terbalaskan

Dosen Fisika

Dosen yang selalu membimbing dan mengajar dengan keikhlasan

Almamater tercinta Fisika UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

Menjadi tempat dalam berteman dan menuntut ilmu



STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

KATA PENGANTAR

Segala puji serta syukur dipanatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa karena atas rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi yang diajukan sebagai salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana S-1 prodi Fisika di UIN Sunan Kalijaga dengan judul “Pemanfaatan Karbon Aktif Dari Ampas Kopi dengan Variasi Suhu dan Aktivator sebagai Elektroda Superkapasitor”. Sholawat dan salam semoga tetap tercurahkan kepada suri tauladan umat manusia yakni Nabi Muhammad SAW, yang semoga mendapatkan syafaa’atnya di yaumul akhir nanti.

Penulis menyadari bahwa dalam melaksanakan penelitian dan melakukan penyusunan skripsi tidak lepas dari bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak terkait. Oleh sebab itu, penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada:

1. Ibu Anis Yuniati, S.Si., M.Si., Ph.D. selaku Ketua Program Studi Fisika UIN Sunan Kalijaga sekaligus Dosen Pembimbing Akademik.
2. Ibu Dr. Widayanti, S.Si., M.Si. selaku Dosen Pembimbing yang telah memberi semangat dan sabar dalam membantu penulis menyelesaikan Tugas Akhir.
3. Ibu Dr. Thaqibul Fikri Niyartama, S.Si., M.Si. selaku penguji.
4. Bapak Frida Agung Rakhmadi, S.Si., M.Sc. selaku penguji.
5. Seluruh dosen program studi fisika UIN Sunan Kalijaga yang telah mengajar penulis.
6. Ayah, Ibu, Adik, Kakak dan seluruh keluarga besar yang telah memberikan kasih sayang, dorongan dan doa yang tulus kepada penulis.

7. Wahyu dan Faqih yang telah membantu penulis dalam hal apapun dari awal proses perkuliahan.
8. Teman-teman fisika material Azizah, Nisa, Rahma dan lain-lain yang selalu menyemangati penulis.
9. Terkhusus teman-teman Fisika angkatan 2018 yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.
10. Seluruh pihak yang telah terlibat, membantu, menyemangati penulis namun tidak dapat disebutkan satu persatu.

Semoga Allah SWT membalas segala kebaikan semua pihak yang dengan senang hati mendukung serta membantu, amiiin. Penulis menyadari masih banyak kekurangan, jauh dari kata sempurna dalam penulisan Tugas Akhir ini. Oleh sebab itu kritik dan saran penulis harapkan demi perbaikan selanjutnya.

Akhir kata penulis berharap semoga Tugas Akhir ini dapat berguna dan bermanfaat bagi semua pihak serta dapat menjadi sumber referensi untuk kajian riset selanjutnya.

Yogyakarta, 20 Mei 2023

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN	iii
HALAMAN PERSETUJUAN SKRIPSI	iv
INTISARI	v
ABSTRACT	vi
MOTTO	vii
HALAMAN PERSEMBAHAN	viii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	7
1.3 Tujuan Penelitian.....	8
1.4 Batasan Penelitian	8
1.5 Manfaat Penelitian.....	8
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	10
2.1 Studi Pustaka	10
2.2 Landasan Teori	16
2.2.1 Biomassa	16
2.2.2 Ampas Kopi	17
2.2.3 Karbon Aktif	20
2.2.4 Metode Pembuatan Karbon Aktif	22
2.2.5 Kualitas Karbon Aktif	26
2.2.6 Aktivator	28
2.2.7 Elektroda	33

2.2.8	Superkapasitor.....	34
2.2.9	Prinsip Kerja Superkapasitor	38
2.2.10	Kelistrikan.....	40
2.2.11	Korelasi	42
2.2.12	Presisi	44
2.2.13	Wawasan Keislaman Tentang Pemanfaatan Limbah.....	46
BAB III METODE PENELITIAN		48
3.1	Waktu dan Tempat Penelitian	48
3.2	Alat dan Bahan Penelitian	48
3.2.1	Alat-alat Penelitian.....	48
3.2.2	Bahan-bahan Penelitian.....	50
3.3	Prosedur Penelitian.....	51
3.3.1	Pembuatan Karbon Aktif.....	53
3.3.2	Pengujian Kualitas Karbon Aktif.....	55
3.3.3	Pembuatan Superkapasitor	61
3.3.4	Pengujian Kinerja Superkapasitor.....	63
3.3.5	Analisis Hasil	67
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		69
4.1	Hasil Penelitian.....	69
4.1.1	Hasil Pembuatan Karbon.....	69
4.1.2	Hasil Aktivasi Karbon.....	69
4.1.3	Hasil Pengujian Kualitas Karbon Aktif.....	71
4.1.4	Hasil Pembuatan Superkapasitor	73
4.1.5	Hasil Pengujian Kinerja Superkapasitor	74
4.2	Pembahasan	76
4.2.1	Pembuatan Karbon Aktif.....	76
4.2.2	Pengujian Kualitas Karbon Aktif.....	78
4.2.3	Pembuatan dan Pengujian Kinerja Superkapasitor	87
4.2.4	Integrasi-interkoneksi.....	90
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		92
5.1	Kesimpulan.....	92

5.2	Saran.....	93
	DAFTAR PUSTAKA.....	94
	LAMPIRAN.....	101
	CURRICULUM VITAE.....	131



DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Sifat fisika KOH.....	30
Tabel 2. 2 Sifat fisika ZnCl ₂	32
Tabel 2. 3 Interpretasi koefisien korelasi nilai r	43
Tabel 3. 1 Alat-alat penelitian	48
Tabel 3. 2 Bahan-bahan penelitian	50
Tabel 3. 3 Format data pengujian kualitas karbon aktif	59
Tabel 3. 4 Format pengolahan data pengujian kualitas karbon aktif.....	59
Tabel 3. 5 Format data perhitungan koefisien korelasi	60
Tabel 3. 6 Format data koefisien korelasi pengujian kualitas karbon aktif.....	60
Tabel 3. 7 Format hasil pengujian superkapasitor karbon aktif teraktivasi variasi aktivator.....	65
Tabel 3. 8 Format hasil pengolahan data pengujian superkapasitor karbon aktif teraktivasi variasi aktivator	65
Tabel 4. 1 Data pengujian kualitas karbon aktif.....	71
Tabel 4. 2 Nilai koefisien korelasi pengujian kualitas karbon aktif.....	73
Tabel 4. 3 Hasil pengujian superkapasitor karbon aktif teraktivasi aktivator HCl	74
Tabel 4. 4 Hasil pengujian superkapasitor karbon aktif teraktivasi aktivator KOH	75
Tabel 4. 5 Hasil pengujian superkapasitor karbon aktif teraktivasi aktivator ZnCl ₂	75
Tabel 4. 6 Presisi kapasitansi superkapasitor teraktivasi aktivator HCl.....	75
Tabel 4. 7 Presisi kapasitansi superkapasitor teraktivasi aktivator KOH.....	76
Tabel 4. 8 Presisi kapasitansi superkapasitor teraktivasi aktivator ZnCl ₂	76

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Ampas kopi.....	20
Gambar 2. 2 Rangkaian superkapasitor secara umum.....	38
Gambar 2. 3 Mekanisme penyimpanan muatan pada superkapasitor	40
Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian	52
Gambar 3. 2 Diagram alir pembuatan karbon	54
Gambar 3. 3 Diagram alir aktivasi karbon	55
Gambar 3. 4 Diagram alir uji kadar abu	56
Gambar 3. 5 Diagram alir uji kadar air.....	57
Gambar 3. 6 Diagram alir uji kadar zat terbang	58
Gambar 3. 7 Skema desain dalam superkapasitor	62
Gambar 3. 8 Skema desain luar superkapasitor.....	62
Gambar 3. 9 Diagram alir pembuatan superkapasitor	63
Gambar 3. 10 Diagram alir pengujian superkapasitor.....	66
Gambar 4. 1 Karbon ampas kopi belum diaktivasi	69
Gambar 4. 2 Karbon aktif dengan suhu karbonisasi 300°C dan teraktivasi HCl, KOH dan ZnCl ₂	70
Gambar 4. 3 Karbon aktif dengan suhu karbonisasi 500°C dan teraktivasi HCl, KOH dan ZnCl ₂	70
Gambar 4. 4 Karbon aktif dengan suhu karbonisasi 700°C dan teraktivasi HCl, KOH dan ZnCl ₂	70
Gambar 4. 5 Grafik pengaruh suhu karbonisasi dan aktivator terhadap kadar abu	71
Gambar 4. 6 Grafik pengaruh suhu karbonisasi dan aktivator terhadap kadar air	72
Gambar 4. 7 Grafik pengaruh suhu karbonisasi dan aktivator terhadap kadar zat terbang.....	72
Gambar 4. 8 Grafik pengaruh suhu karbonisasi dan aktivator terhadap kadar karbon terikat	73
Gambar 4. 9 Superkapasitor yang telah dibuat.....	74

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Proses pembuatan karbon aktif.....	101
Lampiran 2. Proses pengujian karbon aktif.....	104
Lampiran 3. Proses pembuatan superkapasitor	105
Lampiran 4. Proses pengujian superkapasitor.....	106
Lampiran 5. Data pengamatan.....	107
Lampiran 6. Perhitungan dan pengolahan data	109



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi listrik telah menjadi kebutuhan pokok masyarakat dunia dan telah membawa pengaruh besar pada hampir seluruh sektor kehidupan. Di Indonesia teknologi yang sedang digunakan secara meluas pada beberapa bidang di industri adalah sebuah teknologi yang dinamakan superkapasitor. Superkapasitor termasuk salah satu teknologi yang digunakan untuk menyimpan energi atau muatan listrik. Muatan listrik perlu disimpan dalam superkapasitor apabila terjadi beban berlebih atau terjadi korsleting. Superkapasitor menginterupsi arus dari sumber listrik sehingga tidak terjadi lompatan listrik.

Saat ini superkapasitor ini telah menunjukkan kinerja yang luar biasa sebagai sistem penyimpanan energi ramah lingkungan karena proses pengisian yang lebih cepat, kepadatan daya tinggi, stabilitas jangka panjang, berbiaya rendah, dan proses produksi relatif lebih mudah (Miller dkk,2018). Superkapasitor adalah strategi energi yang menarik untuk mengurangi pencemaran lingkungan dari eksploitasi bahan bakar fosil. Superkapasitor termasuk salah satu alat yang digunakan untuk menyimpan energi, dan juga telah banyak digunakan pada bidang elektronik maupun transportasi (Wijaya dan Dahlan, 2016). Superkapasitor memiliki kelebihan dibandingkan dengan baterai ataupun kapasitor yang konvensional ini adalah daya tahan yang lebih

lama, waktu pengisian yang singkat dan yang paling penting adalah aman. Karena memiliki waktu pengisian yang singkat dalam pengisian ulang menyebabkan superkapasitor ini lebih memiliki potensi dibandingkan dengan baterai (Muhiddin, 2019). Superkapasitor menyimpan energi listrik secara langsung sebagai muatan. Mekanisme penyimpanan energi pada superkapasitor menggunakan lapisan ganda yang terdapat pada pori elektroda.

Superkapasitor terdiri dari elektroda dan selembur lapisan elektrolit yang tipis yang berfungsi sebagai dielektrik dan pemisah muatan. Elektroda superkapasitor biasanya terbuat dari karbon *aerogel*, logam oksida, nanokomposit, dan polimer konduktif. Namun bahan tersebut cukup langka dan mahal. Superkapasitor yang banyak dikembangkan saat ini berasal dari bahan biomassa, salah satunya karbon aktif. Beberapa material elektroda berbahan dasar biomassa yang juga merupakan limbah telah dilaporkan seperti kulit pisang kepok (Reza dkk, 2022), tempurung kemiri (Muhiddin, 2019), dan ampas biji kopi (Novitra, 2021).

Bahan karbon banyak digunakan sebagai elektroda untuk superkapasitor karena prekursor karbon berbiaya rendah dan melimpah di alam, selain itu karbon aktif juga memiliki luas permukaan yang besar, porositas tinggi dan konduktivitas listrik yang baik. Karbon aktif juga dapat menyimpan muatan melalui adsorpsi fisik dan desorpsi ion elektrolit pada permukaan elektroda (Sania dkk, 2022). Elektroda karbon mudah

terpolarisasi, stabil dalam larutan yang berbeda (asam, basa dan aprotik) dan stabil dalam rentang temperatur tertentu (Tetra dkk, 2018).

Karbon aktif adalah material yang paling banyak digunakan sebagai elektroda superkapasitor karena tersedia secara luas, harga yang murah dan metode preparasi yang lebih mudah dibandingkan dengan karbon lainnya (Natalia dan Taer, 2019). Material karbon mempunyai luas permukaan spesifik yang besar sehingga struktur porinya juga bisa dimanfaatkan terutama memudahkan dalam pembentukan lapisan rangkap listrik pada permukaan elektroda.

Minuman kopi merupakan salah satu minuman yang paling banyak diminati orang, termasuk Indonesia. Konsumsi kopi di Indonesia cenderung meningkat. Hal tersebut terlihat dari data konsumsi kopi di Indonesia dalam kurun waktu lima tahun (2016-2021). Konsumsi kopi di Indonesia pada tahun 2016 sebesar 279.000 ton, tahun 2017 sebesar 285.000 ton, tahun 2018 sebesar 288.000 ton dan di tahun 2019 sebesar 288.360 ton (*International Coffee Organization, 2020*) sedangkan konsumsi kopi di tahun 2020 sebesar 300.000 ton (*International Coffee Organization, 2021*). Tingginya konsumsi minuman kopi berbanding lurus dengan jumlah ampas kopi yang dihasilkan. Hasil riset mahasiswa Universitas Indonesia menyatakan bahwa, rata-rata setiap *coffee shop* menyumbang sekitar 10 kg ampas kopi setiap harinya. Jika diakumulasikan setiap tahunnya satu *coffee shop* dapat menyumbang ampas kopi kurang lebih sekitar 3.650 kg atau 3,65 ton (Sarasati, 2018).

Meningkatnya konsumsi kopi di Indonesia mengakibatkan bertambahnya limbah buangan ampas kopi. Ampas kopi merupakan limbah padat biomassa yang dihasilkan dari proses akhir penyeduhan kopi. Limbah tersebut dapat dimanfaatkan oleh para peneliti dengan memanfaatkan limbah organik hasil seduhan kopi dan sebagai substitusi bahan bakar fosil, ampas kopi dapat dimanfaatkan sebagai penyimpan muatan listrik dalam bentuk karbon. Diperlukan solusi pemanfaatan limbah ampas kopi sebagai energi terbarukan untuk mengatasi masalah sampah organik dalam kehidupan masyarakat.

Salah satu manfaat dari ampas kopi adalah dapat digunakan sebagai bahan dari pembuatan karbon aktif. Oleh sebab itu, sesuai dengan perintah Allah SWT yaitu segala sesuatu yang diciptakan Allah SWT di dunia ini memiliki manfaat untuk menunjang kehidupan manusia, sebagai media pengingat dan pembelajaran bagi manusia. Seperti firman Allah SWT yang berbunyi:

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

إِنَّ فِي خَلْقِ السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضِ وَاخْتِلَافِ اللَّيْلِ وَالنَّهَارِ لَآيَاتٍ لِّأُولِي الْأَلْبَابِ
الَّذِينَ يَذْكُرُونَ اللَّهَ قِيَامًا وَقُعُودًا وَعَلَىٰ جُنُوبِهِمْ وَيَتَفَكَّرُونَ فِي خَلْقِ
السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضِ رَبَّنَا مَا خَلَقْتَ هَذَا بَاطِلًا سُبْحَانَكَ فَقِنَا عَذَابَ النَّارِ ﴿١٩١﴾

Artinya: “*Sesungguhnya dalam penciptaan langit dan bumi, dan pergantian malam dan siang terdapat tanda-tanda (kebesaran Allah) bagi orang yang berakal, (yaitu) orang-orang yang mengingat Allah sambil berdiri, duduk atau dalam keadaan berbaring, dan mereka memikirkan tentang penciptaan langit dan bumi (seraya berkata), Ya Tuhan kami, tidaklah Engkau menciptakan semua ini sia-sia; Mahasuci Engkau, lindungilah kami dari azab neraka*”. (QS. Ali’Imran/3: 190-191)

Berdasarkan tafsir ilmi, dijelaskan bahwa ilmu pengetahuan dan teknologi adalah implementasi dari tugas manusia sebagai khalifah untuk memakmurkan bumi. Karenanya bagi seorang muslim, yang paham akan ilmu pengetahuan dan teknologi diwajibkan untuk mengelola. Paradigma seorang muslim terhadap ayat-ayat Allah, qauliyah dan kauniyah, adalah mutlak benar dan tidak mungkin bertentangan karena keduanya berasal dari Allah. Ilmu pengetahuan yang telah terbukti secara empirik selalu saja selaras dengan Al-Qur'an. Namun ilmu pengetahuan yang masih dalam bentuk teori kadang tampak bertentangan dengan apa yang tertulis di dalam Al-Qur'an. Dalam kondisi ini, para peneliti tidak seharusnya berhenti pada level observasi, melainkan berusaha mencapai level orang yang berakal (Anggraini, 2022).

Dengan adanya tafsir tersebut, maka untuk mengembangkan ilmu pengetahuan dan teknologi agar tidak berupa teori saja peneliti melakukan penelitian ini dengan memanfaatkan bahan alam berupa ampas kopi. Menurut Caetano dkk (2012) disebutkan bahwa kandungan ampas kopi meliputi total karbon sebesar 47,8% sampai 58,9%, total nitrogen sebesar 1,9% sampai 2,3%, abu sebesar 0,43% sampai 1,6%, dan selulosa 8,6%.

Menurut Purnomo (2010), kandungan karbon, selulosa, hemiselulosa dan lignin yang terdapat pada ampas kopi dengan jumlah yang besar menjadikan ampas kopi ini bisa dijadikan sebagai karbon aktif dengan persentase kandungan karbon yang tinggi. Kandungan karbon yang tinggi pada ampas kopi dapat digunakan sebagai pengganti batu bara dalam

pembuatan karbon aktif, ketersediaan batu bara setiap tahunnya semakin menipis (Fernianti, 2013). Karbon aktif dapat dihasilkan dari semua bahan yang mengandung karbon, baik karbon organik maupun anorganik dengan syarat bahan tersebut mempunyai struktur berpori. Pembuatan karbon aktif dilakukan dengan metode aktivasi kimia dan aktivasi fisika.

Beberapa penelitian sebelumnya telah memanfaatkan ampas kopi sebagai karbon aktif. Karbon aktif dari ampas kopi ini digunakan sebagai adsorben zat warna rhodamin B (Yustinah, 2022) dengan kadar air 3,9%, kadar abu 4,5%. Ampas kopi tersebut juga telah berhasil diaplikasikan untuk bahan dasar bio-baterai (Pawarangan dan Jefriyanto., 2021) dengan menghasilkan tegangan maksimum 1,11 V dan daya 0,38 mW dan penyerapan limbah cair amonia (Aman dkk, 2018). Keberhasilan penelitian-penelitian di atas dengan memanfaatkan karbon aktif dari ampas kopi, ini membuka peluang dilakukannya pemanfaatan ampas kopi sebagai karbon aktif dalam pembuatan elektroda superkapasitor.

Dalam pembuatan bahan karbon aktif, faktor suhu karbonisasi berpengaruh terhadap massa, luas permukaan, dan pori-pori karbon aktif. Selain itu, pemilihan jenis aktivator akan berdampak terhadap kualitas karbon aktif. Biasanya aktivasi menggunakan metode aktivasi kimia (KOH, $ZnCl_2$, NaOH, H_3PO_4 dan HNO_3) dan aktivasi fisika (dengan menggunakan uap air, CO_2 dan udara). Perlakuan aktivasi kimia dan fisika dalam menghasilkan karbon aktif bertujuan untuk meningkatkan performa elektrokimia dari elektroda superkapasitor, yang mana dengan aktivasi karbon dapat

memperbesar struktur pori, luas permukaan dan kandungan senyawa kimia dari karbon aktif. Hal-hal tersebut menentukan kualitas karbon aktif yang dihasilkan. Meningkatnya luas permukaan dari karbon yang digunakan akan menyebabkan semakin banyak ion baik kation maupun anion yang mampu terjerap dalam elektroda sehingga meningkat pula kapasitansi dari EDLC tetapi hal ini tidak linear dikarenakan faktor lain berupa struktur pori (Ariyanto dkk, 2012). Hal ini disebabkan karena adanya perbedaan metoda aktivasi, jenis aktivator, jenis elektrolit, proses karbonisasi atau pirolisis yang digunakan (Kurniawati dan Surawan, 2020).

Penelitian ini digunakan variasi suhu karbonisasi 300°C, 500°C, dan 700°C dengan diaktivasi dengan variasi aktivator HCl, ZnCl₂, dan KOH. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan kualitas hasil karbon aktif yang baik. Hal-hal diatas mendorong peneliti untuk mengembangkan elektroda dengan bahan dasar ampas kopi untuk pembuatan superkapasitor yang nantinya dapat membantu dalam pengolahan limbah ampas kopi di Indonesia yang selama ini belum dimanfaatkan secara optimal, maka dilakukanlah penelitian mengenai pemanfaatan karbon aktif dari ampas kopi dengan variasi suhu dan aktivator sebagai elektroda superkapasitor.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana pembuatan karbon aktif dari dengan bahan dasar ampas kopi?
2. Bagaimana pengaruh suhu karbonisasi dan aktivator terhadap kualitas karbon aktif yang dihasilkan?

3. Bagaimana pembuatan dan pengujian kinerja superkapasitor terhadap nilai kapasitansi dan tegangan?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Membuat karbon aktif dari dengan bahan dasar ampas kopi.
2. Mengetahui pengaruh suhu karbonisasi dan aktivator terhadap kualitas karbon aktif yang dihasilkan.
3. Membuat dan melakukan pengujian kinerja superkapasitor terhadap nilai kapasitansi dan tegangan.

1.4 Batasan Penelitian

Penelitian ini dibatasi oleh hal-hal sebagai berikut:

1. Aktivator kimia untuk aktivasi karbon yang digunakan adalah HCl, $ZnCl_2$, dan KOH dengan konsentrasi 1 M.
2. Pengukuran tegangan superkapasitor dengan multimeter.
3. Pengukuran kapasitansi superkapasitor dengan LCR meter.
4. Ampas kopi dihasilkan dari kopi instan.

1.5 Manfaat Penelitian

1. Bagi ilmuwan, penelitian ini memberikan kajian biomassa yang digunakan dalam pembuatan elektroda karbon dari ampas kopi.
2. Bagi industri, penelitian dapat memberikan peluang usaha baru, serta solusi alternatif pengolahan limbah ampas kopi.

3. Bagi masyarakat luas, penelitian ini diharapkan dapat memunculkan teknologi penyimpanan energi yang baik, tahan lama, dan dapat diaplikasikan pada berbagai peralatan sehari-hari.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Pembuatan karbon aktif berbahan ampas kopi telah berhasil dilakukan. Karbon aktif dibuat dengan pemanasan ampas kopi di dalam *furnace* bersuhu 300°C, 500°C, dan 700°C dan aktivasi dalam perendaman larutan HCl, KOH, dan ZnCl₂. Karbon aktif digunakan sebagai bahan dasar pembuatan elektroda superkapasitor.
2. Suhu karbonisasi dan aktivator berpengaruh dalam kualitas karbon aktif yang dihasilkan. Semakin meningkat suhu karbonisasi, maka kadar abu yang dihasilkan semakin meningkat sedangkan kadar air dan kadar zat terbang semakin menurun. Hasil pengujian kualitas karbon aktif menunjukkan bahwa kondisi optimum terjadi pada suhu karbonisasi 700°C dan diaktivasi oleh KOH dengan diperoleh kadar abu sebesar 9,359%, kadar air sebesar 2,564%, kadar zat terbang sebesar 5,888%, dan kadar karbon terikat sebesar 84,753%. Hampir semua sampel karbon aktif memenuhi standar kualitas arang aktif sesuai SNI 06-3730- 1995.
3. Superkapasitor telah berhasil dibuat dengan elektroda berbahan dasar karbon aktif ampas kopi. Berdasarkan hasil pengujian menunjukkan kondisi optimum terjadi pada superkapasitor dengan karbon aktif suhu

karbonisasi 300°C teraktivasi ZnCl_2 dengan waktu pengisian daya 1 menit diperoleh tegangan sebesar 352,9 mV dan kapasitansi sebesar 465,58 μF . Secara keseluruhan superkapasitor menghasilkan nilai tegangan yang kecil namun menghasilkan kapasitansi yang cukup besar. Superkapasitor yang dibuat menghasilkan tingkat presisi tertinggi pada superkapasitor dengan karbon aktif suhu karbonisasi 300°C teraktivasi HCl dengan waktu pengisian daya 1 menit diperoleh presisi sebesar 99,79%. Nilai presisi kapasitansi, semua superkapasitor telah memenuhi Standar Nasional Indonesia (SNI) tidak kurang dari 95% ($\geq 95\%$) dan sebagian besar memenuhi standar Standar Internasional (SI) tidak kurang dari 98% ($\geq 98\%$).

5.2 Saran

1. Untuk lebih meningkatkan kualitas karbon aktif sehingga kadar karbon lebih tinggi, disarankan tidak terlalu lama menyimpan karbon aktif dalam wadah penyimpanan dan dibungkus dengan rapat karena sifatnya yang higroskopis sehingga mudah menyerap uap air di udara.
2. Penelitian selanjutnya disarankan menggunakan pengujian dengan XRD, SEM, dan siklik voltametri agar dapat diketahui gugus fungsi, morfologi karbon aktif, dan kapasitansi spesifik.
3. Untuk lebih meningkatkan kinerja elektroda superkapasitor sehingga nilai kapasitansi yang dihasilkan menjadi lebih besar, disarankan penelitian selanjutnya memperkecil ukuran partikel karbon aktif dan melakukan pencampuran karbon aktif dari ampas kopi dengan karbon aktif lain.

DAFTAR PUSTAKA

- Abimanyu, F., Rosi, M., dan Abrar. 2021. Fabrikasi Elektroda Karbon Aktif Superkapasitor dengan Menggunakan Metode Hotpress. *e-Proceeding of Engineering*, **Vol.8 No.5 Oktober 2021** : 5685-5692.
- Akmal, C. 2020. *Pemanfaatan Karbon Aktif Ampas Kopi sebagai Bahan Elektroda Superkapasitor dengan Aktivator ZnCl₂*. (Tugas Akhir). Jurusan Kimia, FMIPA, Universitas Andalas, Padang.
- Alam, S. I. P. 2018. *Perancangan Graphene Buatan pada Media Super Kapasitor sebagai Saving Energi*. (Tugas Akhir). Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatra Utara, Medan.
- Alif, A., Tetra, O. N., Hermansyah, A., dan Defri, H. 2017. Pengaruh Perlakuan Sokletasi dan Aktivator KOH terhadap Kinerja Karbon Aktif Cangkang Kelapa Sawit sebagai Elektroda Superkapasitor. *Jurnal Zarah*, **Vol.5 No.2** : 38-43.
- Aman, F., Mariana, Mahidin, dan Maulana, F. 2018. Penyerapan Limbah Cair Amonia Menggunakan Arang Aktif Ampas Kopi. *Jurnal Litbang industri*, **Vol.8 No.1** : 47-52.
- Anggraini, Y. L. 2022. *Pembuatan Dan Karakterisasi Karbon Aktif Ampas Kelapa dengan Aktivator Asam Fosfat (H₃PO₄) sebagai Adsorben Timbal (Pb)*. (Tugas Akhir). Jurusan Fisika, Fakultas SAINTEK, Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga, Yogyakarta.
- Ariyanto, T., Prasetyo, I., dan Rochmadi. 2012. Pengaruh Struktur Pori terhadap Kapasitansi Elektroda Superkapasitor Yang Dibuat dari Karbon Nanopori. *Reaktor*, **Vol.14 No.1 April 2012** : 25-32.
- Aziz, H., Tetra, O. N., Admin, A., Syukri, dan Perdana Y. A. 2017. Performance Karbon Aktif dari Limbah Cangkang Kelapa Sawit sebagai Bahan Elektroda Superkapasitor. *Jurnal Zarah*, **Vol.5 No.2** : 1-6.
- Awitdrus, Hanifa, Z., Agustino, Taer, E., dan Farma, R. 2022. Perbandingan Larutan Elektrolit H₂SO₄ dan KOH pada Kinerja Elektrokimia Bahan Elektroda Berbasis Karbon Aktif Sabut Kelapa Muda. *Jurnal Litbang Industri*, **Vol.12 No.1 Juni 2022** : 15-20.
- Badan Standarisasi Nasional. 1995. *Arang Aktif Teknis (SNI) 06-3730-1995*. Jakarta: Standar Nasional Indonesia.
- Biegun, M., Dymerska, A., Chen, X., dan Mijowska, E. Study of the Active Carbon from Used Coffee Grounds as the Active Material for a High-Temperature Stable Supercapacitor with Ionic-Liquid Electrolyte. *Materials*, **Vol.13 September 2020** : 1-14.

- Burke, A. 2000. Ultracapacitors: Why, How, and Where is the Technology. *Journal of Power sources*, **Vol.91 No.1** : 37-50.
- Caetano, N. S., Silva, V. F. dan Mata, T. M. 2012. Valorization of Coffee Grounds for Biodiesel Production. *Chemical Engineering Transactions*, **Vol.26** : 6.
- Chiu, Y., dan Lin, L. Y. 2019. Effect of Activating Agents for Producing Activated Carbon Using a Facile One-Step Synthesis with Waste Coffee Grounds for Symmetric Supercapacitors. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, **Vol.101** : 177-185.
- Dewi, R., Azahari, dan Nofriadi, I. 2020. Aktivasi Karbon dari Kulit Pinang dengan Menggunakan Aktivator Kimia KOH. *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, **Vol.9 No.2 November 2020** : 12-22.
- Erawati, E., dan Fernando, A. 2018. Pengaruh Jenis Aktivator dan Ukuran Karbon Aktif terhadap Pembuatan Adsorbent dari Serbuk Gergaji Kayu Sengon (*Paraserianthes Falcataria*). *Jurnal Integrasi Proses*, **Vol.7 No.2 Desember 2018** : 58-66.
- Esterlita, M. O., dan Netty, H. 2015. Pengaruh Penambahan Aktivator $ZnCl_2$, KOH, dan H_3PO_4 dalam Pembuatan Karbon Aktif dari Pelepah Aren (*Arenga pinnata*). *Jurnal Teknik Kimia USU*, **Vol.4 No.1 Maret 2015** : 47-52.
- Fauzi, A. R. 2019. *Laju Serap dan Karakterisasi Material Adsorbansi Karbon Aktif Kopi dan CNT Kulit Pisang untuk Menyerap Amonia (NH_3) pada Bau Urin*. (Tugas Akhir). Jurusan Fisika, Fakultas SAINTEK, Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga, Yogyakarta.
- Fernianti, D. 2013. Analisis Kemampuan Adsorpsi Karbon Aktif dari Ampas Kopi Bubuk Yang Sudah Diseduh. *Berkala Teknik*, **Vol.3 No.2 September 2013** : 563-572.
- Fitriani, Lisa. 2012. *Studi Reaksi Reduksi CO_2 Dengan Menggunakan Metode Elektrokimia Menggunakan Elektroda Cu*. (Tugas Akhir). Jurusan Kimia, FMIPA, Universitas Indonesia, Depok.
- Frackowiak, E. 2006. Supercapacitors Based on Carbon Materials and Ionic Liquids. *J. Braz. Chem. Soc*, **Vol.17 No.6** : 1074-1082.
- Harahap, M. R. 2016. Sel Elektrokimia: Karakteristik dan Aplikasi. *Jurnal Circuit*, **Vol.2 No.1 Juli 2016** : 177-180.
- Hendaway, Ana. 2003. Influence of HNO_3 , Oxidation on the Structure and Adsorptive Properties of Corncob – Based Activated Carbon. *Carbon*, **Vol.41** : 713-722.
- Hendrawan, Y., Sutan, S. M., dan Kreative, R. 2017. Pengaruh Variasi Suhu Karbonisasi dan Konsentrasi Aktivator terhadap Karakteristik Karbon Aktif

dari Ampas Tebu (Bagasse) Menggunakan Activating Agent NaCl. *Jurnal Keteknik Pertanian Tropis dan Biosistem*, **Vol.5 No.3 September 2017** : 200-207.

- Holleman, A. F., dan Wiberg E. 2001. *Inorganic Chemistry*. Academia Press, Sandiago.
- International Coffee Organization (ICO). 2021. *Trade Statistics Tables Consumption 2017 – 2020*. International Coffee Organization, London.
- Imawati, A., dan Adhitiyawarman. 2015. Kapasitas Adsorpsi Maksimum Ion Pb (II) Oleh Karbon Aktif Ampas Kopi Teraktivasi HCl Dan H₃PO₄. *Jurnal Kimia Khatulistiwa*, **Vol.4 No.2** : 50-61.
- Jauharah, W. D. 2013. *Analisis Kelistrikan yang Dihasilkan Limbah Buah dan Sayuran sebagai Energi Alternatif Bio-Baterai*. (Tugas Akhir). Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Jember.
- Kaiwen, Z.; Yuanyuan, L., dan Ming, Z. 2017. The Porous Carbon Derived from Water Hyacinth with Well-Designed Hierarchical Structure for Supercapaitors. *Journal of Power Sources*, **Vol.366** : 270-277.
- Kementerian Pertanian. 2017. Outlook Kopi 2020. Jakarta: Pusat Data dan Sistem Informasi Pertanian, Sekretariat Jenderal - Kementerian Pertanian.
- Khu, L. V., dan Thu, T. L. T. 2014. Activated Carbon Derived from Rice Husk by Naoh Activation and its Application in Supercapacitor. *Progress in Natural Science Materials International*, **Vol.24** : 191-198.
- Khuluk R, H. 2016. *Pembuatan dan Karakterisasi Karbon Aktif dari Tempurung Kelapa (cocous nucifera l.) sebagai Adsorben Zat Warna Metilen Blue*. (Tugas Akhir). Jurusan Kimia, FMIPA, Universitas Lampung, Lampung.
- Kristianto, H. 2017. Review: Sintesis Karbon Aktif dengan Menggunakan Aktivasi Kimia ZnCl₂. *Jurnal Integrasi Proses*, **Vol.6 No.3 Maret 2017** : 104-111.
- Kurniawati, N., dan Surawan, T. 2020. Superkapasitor dari Karbon Aktif Limbah Daun Teh sebagai Bahan Elektroda. *Jurnal Teknologi*, **Vol.8 No.1, November 2020** : 76-83.
- Lempang, Mody. 2014. Pembuatan dan Kegunaan Arang Aktif. *EBONI*. **Vol.11** : 65- 80.
- Lestari, W.D. 2020. *Pengaruh Konsentrasi KOH terhadap Karakteristik Karbon Bulu Ayam/PVdF sebagai Elektroda Perangkat Penyimpan Energi*. (Tugas Akhir). Jurusan Fisika, Fakultas SAINTEK, UIN Maulana Malik Ibrahim, Malang.

- Mardwianta, B. 2017. Pembangkitan Energi Listrik pada Baterai Udara dengan Bahan Karbon Aktif dan Elektrolit Air Laut. *SENATIK*, **Vol.3 Desember 2017**, P-ISSN: 2337-3881.
- Marsh, H. dan R. R. Francisco. 2006. *Activated Carbon*. Elsevier Science and Technology Books, Ukraina.
- Martin, A., Swarbick, J. dan A. Cammareta. 1993. *Farmasi Fisik 2 Dasar-Dasar Farmasi Fisik dalam Ilmu Farmasetik*. Edisi ketiga. UI Press, Jakarta.
- Miller, E.E., Hua, Y., dan Tezel, F.H. 2018. Materials for Energy Storage: Review of Electrode Materials and Methods of Increasing Capacitance for Supercapacitors. *Journal of Energy Storage*, **Vol.20** : 30-40.
- Morris, A. S, dan Langari, R.. 2012. *Measurement and Instrumentation Theory and Application*. Penerbit Elsevier, Oxford.
- Mossfika, E., Syukri, dan Aziz, H. 2020. Pembuatan Karbon Aktif dari Ampas Teh yang Diaktivasi dengan NaOH sebagai Material Elektroda Supercapacitor. *J. Aceh Phys.Soc.* **Vol.9 No.2 April 2020** : 42-47.
- Muchtaridi, Farhaty, dan Naeli. 2010. Tinjauan Kimia dan Aspek Farmakologi Senyawa Asam Klorogenat pada Biji Kopi: Review. *Farmaka Suplemen*, **Vol.14 No.1** : 214-227.
- Muhidin, N.F. 2019. *Pemanfaatan Tempurung Kemiri (Aleurites Moluccana) Menjadi Karbon Aktif sebagai Kapasitansi Elektroda Kapasitor*. (Tugas Akhir). Jurusan Kimia, Fakultas SAINTEK, Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar.
- Natalia, K., dan Taer, E. 2019. *Pengaruh Suhu Aktivasi terhadap Sifat Fisis dan Elektrokimia Elektroda Supercapacitor dari Limbah Daun Akasia (Acacia Mangium Wild)*. Jurnal Komunikasi Fisika Indonesia, **Vol.16 No.2 Oktober 2019** : 81-86.
- Negara, V., dan Astuti. 2015. Pengaruh Temperatur Sintering Karbon Aktif Berbasis Tempurung Kemiri terhadap Sifat Listrik Anoda Baterai Litium. *Jurnal Fisika Undan*, **Vol.4 No.2** : 178-184.
- Novitra, R. 2021. *Supercapacitor Berbahan Dasar Karbon Aktif dari Ampas Biji Kopi Robusta Dengan Aktivator NaOH*. (Tesis). Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Andalas, Padang.
- Nuradi, R. F. 2022. *Pembuatan Supercapacitor dari Karbon Aktif Kulit Buah Kakao Sebagai Penyimpan Energi*. (Tesis). Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Andalas, Padang.

- Nurrahman, A., Permana, E., Gusti, D. R., dan Lestari, I. 2021. Pengaruh Konsentrasi Aktivator terhadap Kualitas Karbon Aktif dari Batubara Lignit. *Jurnal Daur Lingkungan*, **Vol.4 No.2 Agustus 2021** : 44-53.
- Oko, S., Mustafa, M., Kurniawan, A., dan Palulun, E.S.B., 2021. Pengaruh Suhu dan Konsentrasi Aktivator HCl terhadap Karakteristik Karbon Aktif dari Ampas Kopi. *Jurnal Metana*, **Vol.17 No.1 Juni 2021** : 15-21.
- Panggabean, E. 2011. Buku Pintar Kopi. Agro Media Pustaka, Jakarta.
- Pawarangan, I., dan Wilson, J. 2022. Identifikasi Sifat Kelistrikan Bio-baterai Berbahan Dasar Ampas Kopi. *Jurnal Buletin Fisika*, **Vol.23 No.2 Agustus 2022** : 92-96.
- Pohan, R. 2021. *Pembuatan Biobaterai Berbahan Kulit Nenas (Ananas Comosus) dengan Memvariasikan Elektroda*. (Tugas Akhir). Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Islam Negeri Sumatera Utara, Medan.
- Pratama, U. R., Suwandi, dan Qurthobi, A. 2021. Pengaruh Suhu Sintesis terhadap Nilai Kalor Briket Ampas Kopi. *e-Proceeding of Engineering*, **Vol.8 No.2** : 1861-1868.
- Pratiwi, K. 2017. *Modul Teknologi Kopi*. Jurusan Ilmu dan Teknologi Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Udayana.
- Prayogatama, A., Nuryoto, dan Kurniawan, T. 2022. Modifikasi Karbon Aktif dengan Aktivasi Kimia dan Fisika Menjadi Elektroda Supercapacitor. *Jurnal Sains dan Teknologi*, **Vol.11 No.1 Maret 2022** : 47-58.
- Purnomo, S. E. 2010. *Pembuatan arang aktif dari kulit biji kopi dan aplikasinya sebagai Adsorben Warna Nephthilen Blue (Kation) dan Naphthol Yellow (Anion)*. (Tugas Akhir). Jurusan Fisika, Fakultas SAINTEK, Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga, Yogyakarta.
- Quranhadits. 2022. *Al-Qur'an Surat Sad Ayat 27*. Diakses 23 November 2022 dari <https://quranhadits.com/quran/38-sad/sad-ayat-27/>.
- Quranhadits. 2022. *Al-Qur'an Surat Ar-Ra'd Ayat 12*. Diakses 23 November 2022 dari <https://quranhadits.com/quran/13-ar-ra-d/ar-rad-ayat-12/>.
- Riyanto. 2014. *Validasi & Verifikasi Metode Uji: Sesuai Dengan ISO/IEC 17025 Laboratorium Pengujian Dan Kalibrasi*. Deepublish, Yogyakarta.
- Reza, M., Ernawati, L., Puspitasi, M. D., Syilvia, N., Noor, A. H., dan Ali, L. G. 2022. Karakterisasi Karbon Aktif dari Kulit Pisang Kepok sebagai Supercapacitor. *Jurnal Teknik Kimia*, **Vol.16 No.2 April 2022** : 53-60.
- Rossi, M. 2014. Hydrogel-Polymer Electrolytes Based on Polivinil Alcohol and Hydroxyethylcellulose for Supercapacitor Applications. *Int. J. Electrochem. Sci.*, **Vol.9** : 4251-4256.

- Sarasati, Y., Thohari, I., dan Sunarko, B. 2018. Perbedaan Ketebalan Filter Arang Aktif Ampas Kopi dalam Menurunkan Kadar Besi (Fe) pada Air Bersih. *Jurnal Penelitian Kesehatan Suara Forikes*, **Vol.9 No.4 Oktober 2018** : 231-237.
- Siahaan, S., Hutapea, M., dan Hasibuan, R. 2013. Penentuan Kondisi Optimum Suhu dan Waktu Karbonisasi pada Pembuatan Arang dari Sekam Padi. *Jurnal Teknik Kimia USU*, **Vol.2 No.1** : 26-30.
- Siahaan, W. R. 2018. *Pengaruh Aplikasi Kompos Ampas Kopi terhadap Perubahan Sifat Kimia Tanah pada Andisol Ngabab, Kabupaten Malang*. (Tugas Akhir). Jurusan Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya, Malang.
- Spinale, dan James. 1990. Komoditi Kopi dan Peranannya dalam Perekonomian Indonesia. Kanisius, Yogyakarta.
- Surawan, T., dan Kurniawan, Y. 2021. Superkapasitor dari Limbah Kulit Buah Lontar dan Kulit Buah Jengkol. *Seminar Nasional TREnD*, **No.1 Agustus 2021** : 61-67.
- Suwarmini, N. N., Mulyani, S., dan Triani. 2017. Pengaruh Blending Kopi Robusta dan Arabika terhadap Kualitas Seduhan Kopi. *Jurnal Rekayasa Dan Manajemen Agroindustri*, **Vol.5. No.3. September 2017** : 85-92.
- Taer, E., Susanti, Y., Awitdrus, Sugianto, Taslim, R., Setiadi, R.N., Bahri, S., Agustino, Dewi, P., dan Kurniasih, B. 2018. The Effect of CO₂ Activation Temperature on the Physical and Electrochemical Properties of Activated Carbon Monolith from Banana Stem Waste. *AIP Conference Proceedings* 1927; doi: 10.1063/1.5021209.
- Tetra, O. N., Aziz, H., Emriadi, Ibrahim, S., dan Admin A. 2018. Review: Superkapasitor Berbahan Dasar Karbon Aktif dan Larutan Ionik sebagai Elektrolit. *Jurnal Zarah*, **Vol.6 No.1** : 39-46.
- Tumimomor, F. R., dan Palilingan, S. C. 2018. Pemanfaatan Karbon Aktif dari Sabut Kelapa sebagai Elektroda Superkapasitor. *Fullerene Journ. Of Chem.*, **Vol.3 No.1 April 2018** : 13-18.
- Uhum, M. R. 2016. *Pembuatan Arang Aktif dari Limbah Ampas Kelapa Dengan Kadar Aktivator HCl Berbeda*. (Tugas Akhir). Jurusan Keteknikan Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Sumatera Utara, Medan.
- Verayana, Mardjan, P., dan Hendri, I. 2018. Pengaruh Aktivator HCl dan H₃PO₄ terhadap Karakteristik (Morfologi Pori) Arang Aktif Tempurung Kelapa serta Uji Adsorpsi pada Logam Timbal (Pb). *Jurnal Entropi*, **Vol.13 No.1 Februari 2018** : 67-75.

Yustinah, Sayamsudin, A., Kurniaty, I., Rahmawati, M., dan Nisavira. 2022. Pengaruh Massa Adsorben Arang Aktif dari Ampas Kopi untuk Menyerap Zat Warna Rhodamin B. *Seminar Nasional Penelitian LPPM UMJ*, E-ISSN:2745- 6080.

