

Skripsi

**PENGARUH SUHU TERHADAP KUALITAS KARBON TEMPURUNG
KEMIRI (*Aleurites moluccana*) TERAKTIVASI H_3PO_4 SEBAGAI BAHAN
ELEKTRODA SUPERKAPASITOR**

ANDI ISMUL MAULANA

H31116008



**DEPARTEMEN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2021**

**PENGARUH SUHU TERHADAP KUALITAS KARBON TEMPURUNG
KEMIRI (*Aleurites moluccana*) TERAKTIVASI H_3PO_4 SEBAGAI BAHAN
ELEKTRODA SUPERKAPASITOR**

Skripsi ini diajukan sebagai salah satu syarat

untuk memperoleh gelar sarjana sains

Oleh :

**ANDI ISMUL MAULANA
H311 16 008**



MAKASSAR

2021

LEMBAR PENGESAHAN (TUGAS AKHIR)

**PENGARUH SUHU TERHADAP KUALITAS KARBON TEMPURUNG
KEMIRI (*Aleurites moluccana*) TERAKTIVASI H_3PO_4 SEBAGAI BAHAN
ELEKTRODA SUPERKAPASITOR**

Disusun dan diajukan oleh:

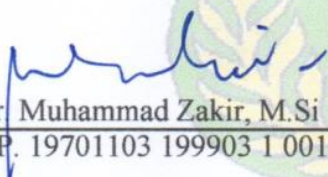
ANDI ISMUL MAULANA

H31116008

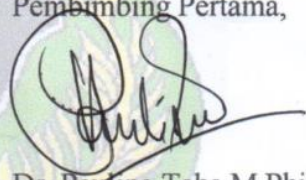
Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Srajana Program Studi Kimia Fakultas
Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin
pada tanggal 2 Juni 2021
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,


Dr. Muhammad Zakir, M.Si
NIP. 19701103 199903 1 001

Pembimbing Pertama,


Dr. Paulina Taba, M.Phil
NIP. 19571115 198810 2 001

Ketua Departemen Kimia,


Dr. Abd. Karim, M.Si
NIP. 19620710 198803 1 002



PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Andi Ismul Maulana
NIM : H311 16 008
Program Studi : Kimia
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul:

PENGARUH SUHU TERHADAP KUALITAS KARBON TEMPURUNG
KEMIRI (*Aleurites moluccana*) TERAKTIVASI H_3PO_4 SEBAGAI BAHAN
ELEKTRODA SUPERKAPASITOR

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

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

Makassar, 2 Juni 2021
Yang menyatakan,



Andi Ismul Maulana

PRAKATA

Syukur Alhamdulillah penulis panjatkan kehadiran Allah SWT karena atas segala rahmat dan hidayah-Nya sehingga skripsi ini dapat terselesaikan. Shalawat dan salam semoga senantiasa tercurah kepada Nabi Muhammad SAW yang telah memberikan jalan terang bagi ummatnya.

Skripsi yang berjudul “**Pengaruh Suhu terhadap Kualitas Karbon Tempurung Kemiri (*Aleurites Moluccana*) Teraktivasi H₃PO₄ sebagai Bahan Elektroda Superkapasitor**” disusun sebagai salah satu syarat yang diajukan untuk menyelesaikan studi pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Departemen Kimia Universitas Hasanuddin.

Penulis juga berterima kasih sedalam-dalamnya kepada Orang Tua, **Andi Abdul Kadir** dan **Maseati, S.Pd** yang selalu memanjatkan doa, juga memberikan dukungan dan pengorbanan kepada penulis demi menggapai impian dan cita-citanya. Terima kasih juga kepada adik penulis **Andi Mulk Rahim Akbar** dan **Andi Nur Aulia Mulyani** serta kepada semua keluarga yang namanya tak sempat disebut satu per satu. Terima kasih sudah terlibat, memberikan dukungan dan kasih sayang sehingga penulis bisa menyelesaikan studinya.

Penulis banyak menemui kendala dalam pelaksanaan maupun dalam penulisan. Skripsi ini tidak akan terselesaikan tanpa adanya bantuan serta kemurahan hati dari berbagai pihak, oleh karena itu penulis berterima kasih kepada bapak **Dr. Muhammad Zakir, M.Si** sebagai pembimbing utama dan ibu **Dr. Paulina Taba, M.Phill** sebagai pembimbing pertama yang telah membimbing mulai dari awal hingga selesainya penyusunan skripsi ini. Dengan segala kerendahan hati, penulis juga ingin menyampaikan terima kasih serta penghargaan yang setulus-tulusnya kepada:

1. Ketua Departemen Kimia FMIPA Unhas bapak **Dr. Abd. Karim, M.Si** dan Sekretaris Departemen Kimia FMIPA Unhas ibu **Dr. St. Fauziah, M.Si** beserta dosen dan staf Departemen Kimia **Ibu Sarina, Ibu Berlian (Almh), Kak Rahma, Kak Balqis** dan **Pak Haerul** yang telah membantu penulis dalam perjalanan selama menempuh pendidikan di Departemen Kimia FMIPA Unhas.
1. Tim penguji ujian sarjana kimia **Dr. Seniwati, M.Si** (Ketua), **Dr. Djabal Nur Basir, M.Si** (Sekretaris), **Dr. Muhammad Zakir, M.Si** (anggota) dan **Dr. Paulina Taba, M.Phill** (anggota) atas saran dan kritikan yang diberikan.
2. Bapak **Dr. Muhammad Zakir, M.Si** yang telah memberikan nasehat, motivasi, semangat dan perhatiannya sebagai penasehat akademik selama perkuliahan.
3. Seluruh **Dosen Departemen Kimia** yang telah membagi ilmunya kepada penulis serta staf departemen kimia atas pelayanan administrasi akademik selama mengikuti perkuliahan.
4. Ibu **Dr. Paulina Taba, M.Phil** selaku Kepala Laboratorium Kimia Fisika yang telah memberikan izin pemakaian Laboratorium sebagai tempat penelitian dan **Pak Sugeng** yang selalu melayani peminjaman alat kimia serta **Ibu Tini, Pak Iqbal** dan **Kak Tanto** yang telah membantu dalam analisis FTIR, pengukuran CV, dan dalam analisis XRD.
5. Seluruh staf pegawai Fakultas MIPA Unhas maupun Departemen Kimia FMIPA Unhas, yang memberikan bantuan dan kerjasamanya.
6. Seluruh Kepala Laboratorium di departemen Kimia FMIPA Unhas, serta Kepala Laboratorium Kimia Dasar, Biologi Dasar, dan Fisika dasar

7. Partner penelitian **Fitrilya** atas bantuan dan kerja samanya dalam proses penelitian dan penyelesaian skripsi penelitian ini.
8. Teman-teman seperjuangan penelitian dan Asisten di Laboratorium Kimia Fisika **Fitrilya, Haswina Febrianti, Annisya Aprilia Achmad, Andi Alifa Ainun Aulia**, dan **Hendrick Serang** atas kebersamaan dan bantuannya.
9. Terima kasih kepada **Kak Zakir, Kak Andi Nurul Mujahidah M. dan Kak Andi Novi Setia Budianti, Kak Faridhatun Solehah** yang selalu membantu dari awal penelitian hingga selesai.
10. Saudara Pejantan Kromofor (**Pado, Aril, Aci, Rully, Midin, Reky, Imam, Fadhil, Awal, Fajar, Dion, Khoyim, Maman dan Wandi**). Terima kasih atas kebersamaan masa-masa ramsis dan pondok harmoni selalu menjadi tempat teduh untuk memperkuat solidaritas.
11. Teman-teman **MIPA 2016**, salam *Seperti Seharusnya*.
12. Teman-teman **KROMOFOR 2016**, salam *Totalitas Hingga Akhir*.
13. Teman-teman **DIVERGENT**, salam *United We Stand, Devided We Fall*.
14. Kakak-kakak dan adik-adik Keluarga Mahasiswa Fakultas MIPA Unhas, salam *Use Your Mind be The Best*.
15. Kakak-kakak dan adik-adik Keluarga Mahasiswa Kimia FMIPA Unhas. HMK adalah rumah, *Tempat Kita Dibina, Tempat Kita Ditempa*.
16. Bapak/ibu pembimbing PKL Laboratorium Forensik Polri Cab. Makassar: **Pak Gede, Ibu Hasura, Pak Budi, Pak Usman, Kak Diah** dan **semua personil Bidang Laboratorium Forensik Polda Sulses** terima kasih atas ilmu dan pengalaman selama kami magang.
17. Semua pihak yang telah terlibat secara langsung maupun tidak langsung, yang tidak sempat disebutkan satu per satu.

Atas segala kebaikan yang telah diberikan oleh berbagai pihak, penulis mengucapkan banyak terima kasih. Semoga Tuhan membalasnya.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini tidak luput dari kekurangan. Oleh karena itu kritik dan saran yang membangun sangat diperlukan untuk kedepannya. Akhirnya, penulis berharap skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pihak-pihak yang berkepentingan.

Makassar, Februari 2021

Penulis

ABSTRAK

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui suhu optimum dalam pembuatan karbon aktif dari tempurung kemiri (*Aleurites moluccana*) yang teraktivasi H_3PO_4 sehingga dapat diaplikasikan dalam sistem penyimpanan energi superkapasitor. Pembuatan karbon aktif dari tempurung kemiri ini melewati proses karbonisasi pada berbagai suhu ($600^\circ C$, $650^\circ C$, $700^\circ C$, $750^\circ C$, $800^\circ C$ dan $900^\circ C$) selama 180 menit. Aktivasi dilakukan dengan menggunakan H_3PO_4 10 % dan dilanjutkan dengan metode pirolisis pada suhu $800^\circ C$, $850^\circ C$ dan $900^\circ C$. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kualitas sebagian besar karbon aktif yang dihasilkan telah memenuhi Standar Nasional Indonesia (SNI) 06-3730-1995. Analisis dengan Fourier Transform Infra-Red (FTIR), Scanning Electron Microscope (SEM), *Surface Area Analyzer* (SAA) dan X-Ray Diffraction (XRD) dilakukan guna mengetahui gugus fungsi, morfologi permukaan material karbon serta struktur dan ukuran kristal. Efek dari aktivator H_3PO_4 dapat meningkatkan nilai kapasitansi spesifik dengan nilai tertinggi pada scanrate 10 mV/s dalam kedua larutan elektrolit. Nilai kapasitansi spesifik dari material TK, KTK 700 dan KATK 850 dalam larutan elektrolit Li_2SO_4 1 M secara berturut-turut adalah 0,0108, 4,6900 dan 140,0000 mF/g sedangkan nilai kapasitansi spesifik dari material TK, KTK 700 dan KATK 850 dalam larutan elektrolit Na_2SO_4 1 M secara berturut-turut adalah 0,0114, 5,9000 dan 90,1000 mF/g.

Kata kunci: tempurung kemiri, aktivator H_3PO_4 , karbon aktif, superkapasitor.

ABSTRAC

This study aims to determine optimum temperature for making activated carbon from with the candlenut shell (*Aleurites moluccana*) activated by H_3PO_4 so that it can be applied in the supercapacitor energy storage system . The manufacture of activated carbon from the candlenut shell goes through the carbonization and activation processes of carbon with various temperature variables. Carbonization for 180 minutes with temperature variation of temperatures of 600°C, 650°C, 700°C, 750°C, 800°C and 900°C and activated by H_3PO_4 10% and the pyrolysis method at temperatures of 800°C, 850°C and 900°C. The results showed that the quality of most of the activated charcoal has met the Indonesian National Standard (SNI) 06-3730-1995. Analyzes with Fourier Transform Infra-Red (FTIR), Scanning Electron Microscope (SEM), *Surface Area Analyzer* (SAA) and X-Ray Diffraction (XRD) were carried out to determine functional groups, surface morphology of carbon materials and crystal structure and size. The effect of H_3PO_4 activator can increase the specific capacitance value with the highest value in the Li_2SO_4 dan Na_2SO_4 electrolyte solution at scanrate of 10 mV/s. In Li_2SO_4 1 M electrolyte solution the specific capacitance values of TK, KTK 700 and KATK 850 are 0,0108, 4,6900 dan 140,0000 mF/g. In Na_2SO_4 1 M electrolytes the specific capacitance values of TK, KTK 700 and KATK 850 are 0,0114, 5,9000 and 90,1000 mF/g.

Keywords : hazelnut shells, H_3PO_4 activator, activated carbon, supercapasitor.

DAFTAR ISI

PRAKATA.....	iii
ABSTRAK.....	ix
ABSTRAC.....	x
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL.....	xv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvi
DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN.....	xvii
BAB I.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	5
1.3 Maksud dan Tujuan Penelitian.....	5
1.3.1 Maksud Penelitian.....	5
1.3.2 Tujuan Penelitian.....	5
1.4 Manfaat Penelitian.....	6
BAB II.....	7
2.1 Superkapasitor.....	7
2.2 Karbon Aktif.....	11
2.3 Kemiri sebagai Sumber Karbon Aktif.....	19
2.4 Pengaruh Suhu terhadap Karbon Aktif.....	22
2.5 Pengaruh Elektrolit terhadap Nilai Kapasitansi Spesifik Karbon.....	24
BAB III.....	26
3.1 Bahan Penelitian.....	26
3.2 Alat Penelitian.....	26
3.3 Waktu dan Tempat Penelitian.....	26
3.4 Prosedur Penelitian.....	27
3.4.1 Pembuatan Larutan Pereaksi.....	27
3.4.2 Pembuatan Karbon Aktif Tempurung Kemiri.....	29
3.4.3 Pembuatan Elektroda Karbon.....	30
3.4.4 Karakterisasi Material.....	31

BAB IV	37
4.1 Analisis Proksimat.....	37
4.1.1 Analisis Proksimat Karbon Tempurung Kemiri	37
4.1.2 Analisis Proksimat Material Karbon Aktif Tempurung Kemiri	39
4.2 Karakterisasi Material Karbon Aktif Tempurung Kemiri.....	41
4.2.1 Analisis Kristalinitas dengan XRD	41
4.2.2 Analisis Gugus Fungsi dengan FTIR.....	41
4.2.3 Analisis Morfologi Karbon dengan SEM	45
4.2.4 Analisis Luas Permukaan, Volume & Diameter Pori dengan BET	49
4.2.5 Analisis Kapasitansi Spesifik.....	54
BAB V	56
5.1 Kesimpulan.....	56
5.2 Saran.....	56
DAFTAR PUSTAKA	56
LAMPIRAN.....	65

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Plot Ragone dari perangkat penyimpanan energi elektrokimia	8
2. Skema superkapasitor	10
3. Grafik tipe-tipe adsorpsi berdasarkan IUPAC	12
4. Struktur kimia permukaan karbon aktif	14
5. Mekanisme reaksi pengaktifan karbon dengan larutan H ₃ PO ₄	16
6. Reaksi pengikatan air oleh Fosfor (V) Oksida.....	17
7. Hasil foto SEM karbon aktif perbesaran 5000x dengan suhu aktivasi (a) 600 °C (b) 700 °C dan (c) 800 °C	17
8. Tempurung kemiri (<i>Aleurites moluccana (L.) Willd.</i>	19
9. Diagram persentase hasil analisis proksimat	39
10. Pola Difraksi XRD KTK suhu karbonisasi dengan suhu 600°C, 650°C, 700°C, 800°C dan 900°C	41
11. Pola Difraksi XRD KTK (suhu karbonisasi 700°C) dan KATK (Setelah Aktivasi dengan Suhu 850°C dan 900°C)	42
12. Grafik karakterisasi FTIR TK, KTK (suhu karbonisasi 700°C) dan KATK (Setelah Aktivasi dengan Suhu 850°C dan 900°C)	45
13. Grafik analisis gugus fungsi dengan metode titrasi Boehm.....	46
14. Hasil SEM TK, KTK 700°C, KATK 850°C dan 900°C.....	48
15. Hubungan tekanan relatif terhadap volume N ₂ yang terserap pada TK, KTK 700°C, KATK 850°C dan 900°	51
16. Grafik hubungan radius pori terhadap volume N ₂ yang teradsorpsi pada TK.....	52

17. Grafik hubungan radius pori terhadap volume N ₂ yang teradsorpsi pada KTK 700°C.....	52
18. Grafik hubungan radius pori terhadap volume N ₂ yang teradsorpsi pada KATK 850°C	53
19. Grafik hubungan radius pori terhadap volume N ₂ yang teradsorpsi pada KATK 900°	53

DAFTAR TABEL

Tabel	halaman
1. Persyaratan karbon aktif menurut Standar Nasional Indonesia (SNI) No.06-3730-1995	16
2. Komponen kimia tempurung kemiri.....	19
3. Pengaruh modifikasi permukaan karbon aktif sebagai bahan elektroda superkapasitor.	23
4. Hasil analisis proksimat karbon tempurung kemiri dengan variasi suhu karbonisasi	35
5. Hasil perhitungan derajat kristalinitas karbon aktif tempurung kemiri	42
6. Luas permukaan spesifik dan ukuran pori Tempurung Kemiri, Karbon, dan Karbon Aktif	47
7. Hasil analisis nilai kapasitansi karbon tempurung kemiri pada berbagai <i>scanrate</i> pada elektrolit Li_2SO_4 1 M dan Na_2SO_4 1 M.	52

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Diagram Alir Penelitian	62
2. Bagan Kerja.....	63
3. Perhitungan Pembuatan Larutan Pereaksi.....	68
4. Dokumentasi Penelitian.....	70
5. Hasil Analisis XRD	73
6. <i>Database</i> JPDS Karbon.....	87
7. Hasil Analisis FTIR.....	88
8. Hasil Analisis BET	93
9. Hasil Analisis SEM	105
10. Perhitungan Analisis Proksimat	109
11. Perhitungan Kadar Gugus Fungsi dengan Titrasi Boehm.....	119
12. Perhitungan Kapasitansi Spesifik	129
13. Grafik kapasitansi spesifik dalam elektrolit Li_2SO_4 1 M.....	134

DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN

Simbol/Singkatan	Arti
C _{sp}	Kapasitansi Spesifik
CV	<i>Cyclic Voltammetry</i>
EDX	<i>Energy Dispersive X-Ray</i>
C _s	Kapasitansi
XRD	<i>X-Ray Diffraction</i>
FTIR	<i>Fourier Transform Infrared</i>
SEM	<i>Scanning Electron Microscope</i>
SSA	<i>Surface Area Analyzer</i>
BET	<i>Brunaur, Emmet and Teller</i>
BJH	<i>Barret-Joyner- Halenda</i>
TK	Tempurung Kemiri
KTK 600°C	Karbon Aktif Tempurung Kemiri Suhu Karbonisasi 600°C
KTK 650°C	Karbon Aktif Tempurung Kemiri Suhu Karbonisasi 650°C
KTK 700°C	Karbon Aktif Tempurung Kemiri Suhu Karbonisasi 700°C
KTK 750°C	Karbon Aktif Tempurung Kemiri Suhu Karbonisasi 750°C
KTK 800°C	Karbon Aktif Tempurung Kemiri Suhu Karbonisasi 800°C
KTK 900°C	Karbon Aktif Tempurung Kemiri Suhu Karbonisasi 900°C
KATK	Karbon Aktif Tempurung Kemiri Metode Perendaman
KATK 800°C	Karbon Aktif Tempurung Kemiri Metode Pirolisis Suhu 800°C

KATK 850	Karbon Aktif Tempurung Kemiri Metode Pirolisis Suhu 850°C
KATK 900	Karbon Aktif Tempurung Kemiri Metode Pirolisis Suhu 900°C
JCPDS	<i>International Center for Diffraction Data</i>
F/g	Farad per gram
F/g	MiliFarad per gram
m ² /g	Meter kuadrat per gram
mg/g	Miligram per gram
nm	Nanometer

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Di era modern saat ini, perkembangan industri di Indonesia sangat pesat. Perkembangan tersebut dapat menimbulkan dampak positif dan dampak negatif bagi lingkungan. Salah satu dampak negatif yang ditimbulkan dari produksi barang industri adalah limbah yang dapat berupa limbah cair, padat dan gas yang dapat menyebabkan pencemaran di lingkungan semakin besar. Peningkatan pencemaran tersebut tidak sesuai dengan kemampuan alam untuk menerima limbah-limbah tersebut (Setyaningsih, 1995).

Salah satu jenis limbah industri terdapat pada industri pengolahan kemiri sebagai bahan baku utama minyak kemiri. Proses pemecahan biji kemiri menghasilkan limbah tempurung kemiri yang belum dimanfaatkan secara optimal. Berat tempurung kemiri mencapai dua per tiga dari berat biji kemiri utuh (Hendra dan Darmawan, 2007). Limbah ini akan sangat berpotensi bagi masyarakat apabila diolah menjadi produk yang mempunyai nilai jual yang tinggi, sehingga limbah tempurung kemiri dapat bermanfaat bagi masyarakat (Sudrajat, R., 2005).

Salah satu cara untuk meningkatkan nilai ekonomis dan manfaat dari tempurung kemiri adalah dengan mengolahnya menjadi karbon aktif (Agustina dan Mardi, 2011). Tempurung kemiri dipilih sebagai bahan baku dari karbon aktif karena bahan ini sangat mudah untuk didapatkan, relatif murah dan juga sebagai upaya pengelolaan terhadap limbah. Tempurung kemiri dapat dijadikan sebagai bahan baku pembuatan karbon aktif karena tersusun dari selulosa, holoselulosa,

lignin dan komponen anorganik Berdasarkan senyawa kimia didalamnya, tempurung kemiri mengandung holoselulosa 49,22 %, pentosa 14,55 % dan lignin 54,68 % yang baik untuk dimanfaatkan sebagai material awal pembuatan karbon aktif (Lempang dkk, 2009; Bonelli, 2001).

Pembuatan karbon aktif melalui beberapa tahap diantaranya tahap karbonisasi dan aktivasi. Bahan baku karbon aktif dikarbonisasi dan dicuci untuk menghilangkan sisa dari zat pengotor pada permukaan karbon aktif sehingga pori-pori lebih terbuka. Semakin tinggi suhu, yang digunakan dalam proses karbonisasi maka karbon yang dihasilkan akan semakin sempurna tetapi jumlah karbon yang didapatkan semakin sedikit sedangkan hasil cairan dan gas semakin banyak (Jamilatun dan Setyawan, 2014). Pada suhu di bawah 800°C, proses aktivasi dengan uap air atau gas CO₂ berlangsung sangat lambat, sedangkan pada suhu di atas 1000°C, akan menyebabkan kerusakan struktur kisi-kisi heksagonal senyawa yang terurai dalam karbon aktif. Setelah dilakukan proses karbonisasi maka dilanjutkan dengan proses aktivasi (Manocha, 2003).

Menurut Safii dan Mitarlis (2013), penggunaan asam sebagai aktivator dapat memperbaiki pori di dalam struktur karbon yang dapat meningkatkan nilai kapasitas dari karbon aktif. Faujiah (2012) membuat karbon aktif dari limbah padat dari industri agar-agar menggunakan tiga aktivator yaitu H₃PO₄, KOH dan ZnCl₂. Hasil penelitian yang diperoleh menunjukkan bahwa aktivator terbaik adalah H₃PO₄ karena asam ini berperan sebagai katalis untuk meningkatkan laju reaksi pemutusan ikatan lignin dengan selulosa dan hemiselulosa, hidrolisis, dehidrasi dan kondensasi disertai dengan reaksi pengikatan silang antara asam fosfat dan biopolimer lignoselulosa (Osvaldo dan Faisal, 2012).

Karbon aktif dapat digunakan secara komersial dalam superkapasitor (Boyea dkk, 2007). Kemampuan penyimpanan energi yang tinggi pada suatu kapasitor ditentukan oleh nilai kapasitansi spesifiknya. Nilai kapasitansi spesifik bergantung pada jenis bahan elektroda yang digunakan dalam superkapasitor (Béguin dan Frackowiak, 2010). Selain dipengaruhi oleh nilai kapasitansi spesifik, kinerja dari superkapasitor juga dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti kepadatan energi, kepadatan daya, dan stabilitas pemakaian (Yassine dan Fabris, 2017). Bahan dasar elektroda yang biasa digunakan dalam pembuatan superkapasitor adalah karbon aerogel, nanokomposit, nanotube, logam oksida, dan polimer konduktif. Superkapasitor juga membutuhkan material yang digunakan sebagai bahan elektroda seperti karbon aktif, metal oksida, dan lain-lain (Safitri dkk., 2017). Namun dalam pengaplikasiannya, bahan tersebut masih menjadi kendala dalam pembuatannya yang disebabkan oleh kelangkaan dan mahalnya bahan tersebut. Oleh sebab itu, dibutuhkan terobosan baru dalam pembuatan elektroda superkapasitor dengan performa yang lebih baik (Kurniati, 2008).

Performa sebuah superkapasitor juga dapat dipengaruhi oleh sifat elektrolit yang digunakan. Pada superkapasitor, penyimpanan energi disebabkan oleh pemisahan muatan elektronik dan ion pada antarmuka antara elektroda aktif permukaan-permukaan yang tinggi dan larutan elektrolit. Oleh karena itu, pemilihan antara larutan elektrolit atau organik, harus mempertimbangkan kapasitansi, dan tahanan dalam. Performa dari kapasitansi spesifik dari superkapasitor dapat diuji dengan menggunakan sistem yang berbeda, misalnya galvanostatik charging/discharging dan dengan EIS (*Electrochemical Impedance Spectroscopy*) (Tetra, dkk., 2018)

Beberapa penelitian telah dilakukan dengan menggunakan berbagai elektrolit untuk meningkatkan nilai kapasitansi karbon aktif sebagai penyimpanan energi superkapasitor seperti larutan elektrolit organik (Gao, 2013), larutan elektrolit netral (Bichat dkk., 2010), larutan elektrolit ionik (Lin dkk., 2011), elektrolit asam dan basa (Lee, 2013). Adapun larutan elektrolit yang saat ini belum banyak digunakan adalah larutan garam seperti alkali asetat (Li_2SO_4 dan Na_2SO_4) terutama dalam penentuan kapasitansi spesifik karbon aktif tempurung kemiri.

Pada penelitian ini, pengembangan material elektroda karbon aktif tempurung kemiri dilakukan dengan memanfaatkan efek pseudokapasitansi dengan menggunakan elektrolit Li_2SO_4 dan Na_2SO_4 sehingga dapat meningkatkan nilai kapasitansinya. Karakterisasi yang dilakukan terdiri atas analisis kadar air, analisis kadar abu, analisis senyawa volatil, analisis karbon tetap, karakterisasi permukaan dengan menggunakan alat *Scanning Electron Microscope* (SEM), luas permukaan, diameter dan volume pori dengan menggunakan alat *Surface Area Analyzer* (SAA), analisis gugus fungsi dengan metode titrasi Boehm dan alat *Fourier Transformed Infrared* (FTIR) serta alat *X-ray Diffraction* (XRD) untuk derajat kristalinitas serta penentuan nilai kapasitansi spesifik elektroda menggunakan metode *Cyclic Voltammetry*.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini yaitu:

1. bagaimana pengaruh suhu pada proses karbonisasi dan aktivasi terhadap kualitas karbon aktif tempurung kemiri ?
2. bagaimana pengaruh aktivator H_3PO_4 terhadap sifat fisik dan kimia karbon aktif tempurung kemiri?
3. bagaimana pengaruh elektrolit Li_2SO_4 dan Na_2SO_4 terhadap nilai kapasitansi karbon aktif tempurung kemiri?

1.3 Maksud dan Tujuan Penelitian

1.1.1 Maksud Penelitian

Maksud penelitian ini adalah untuk menentukan suhu optimum dalam pembuatan karbon aktif tempurung kemiri dan membandingkan nilai kapasitansi spesifik karbon aktif tempurung kemiri sebelum dan sesudah aktivasi dalam elektrolit Li_2SO_4 dan Na_2SO_4 sehingga dapat berpotensi sebagai material elektroda superkapasitor.

1.1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. menentukan suhu yang optimal terhadap kualitas karbon aktif tempurung kemiri.
2. menentukan pengaruh H_3PO_4 terhadap sifat fisik dan kimia karbon aktif tempurung kemiri.
3. membandingkan nilai kapasitansi spesifik karbon aktif tempurung kemiri dalam berbagai elektrolit yaitu Li_2SO_4 dan Na_2SO_4 dengan metode *Cyclic Voltammetry*.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi tentang pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi terhadap pembuatan karbon aktif dari tempurung kemiri, memberikan data mengenai pengaruh aktivator terhadap sifat fisik dan kimia karbon aktif tempurung kemiri, pengaruh suhu pada proses karbonisasi dan aktivasi terhadap kualitas karbon aktif tempurung kemiri dalam elektrolit Li_2SO_4 dan Na_2SO_4 sebagai bahan penyimpanan energi elektrokimia.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Superkapasitor

Superkapasitor adalah salah satu jenis kapasitor yang dapat menyimpan energi dalam skala besar dengan jumlah energi yang hampir setara dengan baterai kimia. Namun, jika dibandingkan dengan baterai, superkapasitor memiliki output yang sangat besar dalam menyimpan energi dan dapat dipakai berulang kali sampai masa hidupnya habis, tanpa pengurangan performa (Nursiti, dkk., 2018).

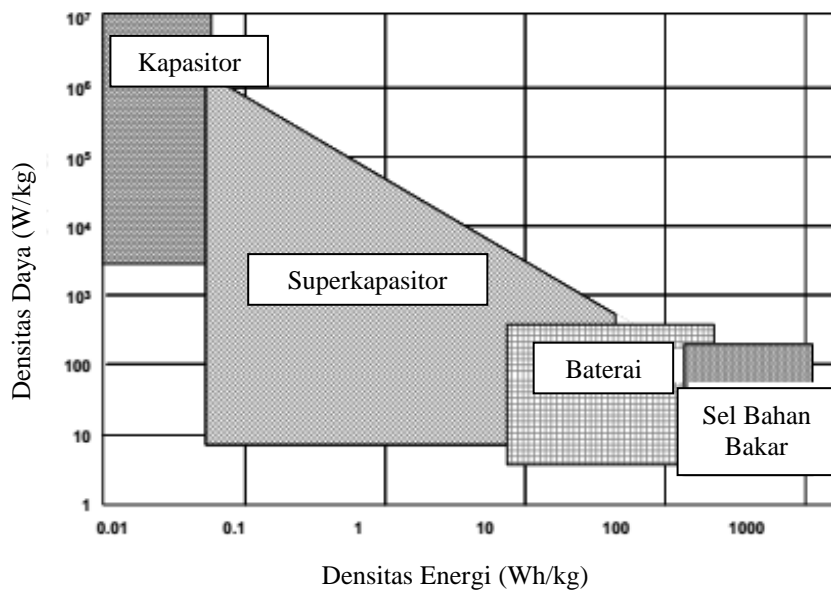
Superkapasitor memiliki kelebihan yang melengkapi kekurangan dari baterai dan kapasitor konvensional. Kelebihan superkapasitor dibandingkan keduanya yaitu menghasilkan rapat daya yang tinggi serta rapat energi yang tinggi. Rapat daya berhubungan dengan daya atau muatan kombinasi dari arus dan volt, sedangkan rapat energi berhubungan dengan waktu pemakaian (Fitriana, 2014). Selain itu, baterai dalam proses menyimpan energi listrik dalam senyawa kimia yang mampu menghasilkan muatan, sedangkan superkapasitor menyimpan energi listrik secara langsung sebagai muatan (Tumimomor, dkk 2017). Keunggulan dari superkapasitor tersebut menjadikan superkapasitor telah digunakan secara luas dalam berbagai bidang seperti bidang teknologi digital, mesin listrik dan peralatan militer dan luar angkasa (Safitri dkk., 2017).

Dari segi teknis, superkapasitor memiliki jumlah siklus yang relatif besar (>100000 siklus), kerapatan energi yang tinggi, kemampuan menyimpan energi yang besar, prinsip kerja yang relatif sederhana dan konstruksi alat yang mudah (An dkk., 2001; Shukla dkk., 2000). Sedangkan dari sisi keamanan dalam penggunaan,

superkapasitor aman karena tidak ada bahan korosif dan lebih sedikit bahan yang beracun (Miller dan Simon, 2008).

Berdasarkan jenis elektroda dan sifat elektrokimianya, superkapasitor dapat dibagi atas 3 jenis yaitu *Electrochemical Double Layer Capacitor* (EDLC), Pseudokapasitor, Superkapasitor (Tetra dkk., 2018) :

1. *Electrochemical Double Layer Capacitor* (EDLC) merupakan kapasitor yang memiliki luas permukaan yang besar dari bahan elektroda seperti karbon aktif dan turunannya untuk menyediakan penyimpanan muatan pada lapisan rangkap listrik. EDLC umumnya mempunyai rapatatan dan daya yang tinggi dan siklus hidup yang lebih lama. Keuntungan superkasitor tipe ini dapat memberikan kapasitansi spesifik yang besar, rapat energi dan daya yang relatif tinggi namun waktu hidup yang lebih pendek.
2. Superkapasitor asimaterik atau hibrid superkapasitor, merupakan kapasitor yang dilengkapi dengan potensial kerja dan dirangkai dari dua jenis elektroda yang tidak sama (Rajkumar M dkk, 2015).



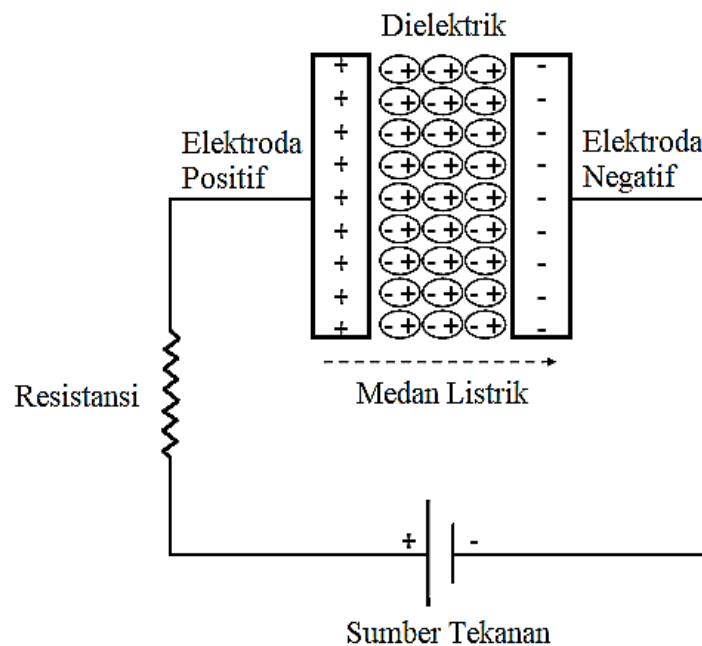
Gambar 1. Plot Ragone dari perangkat penyimpanan energi elektrokimia (Halper dan Ellenbogen, 2006).

Pada Gambar 1 menunjukkan grafik performa dari superkapasitor yang disebut dengan *Ragone Plot*. Grafik tersebut menyajikan data rapat daya dari berbagai perangkat penyimpanan energi dan perbandingan dengan rapat energinya. Superkapasitor menempati daerah antara kapasitor konvensional dan baterai. Superkapasitor memiliki kepadatan daya lebih rendah dari kapasitor konvensional tetapi lebih besar dibandingkan dengan baterai. Selain itu, superkapasitor memiliki kepadatan energi yang lebih besar dari kapasitor konvensional tetapi lebih rendah dari baterai. Meskipun, memiliki kapasitansi yang lebih besar daripada kapasitor konvensional, superkapasitor belum mencapai rapat energi yang dimiliki baterai dan sel bahan bakar seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1 (Halper dan Ellenbogen, 2006).

Superkapasitor merupakan salah satu jenis kapasitor double layer, dimana pada jenis kapasitor ini, energi disimpan pada saat transfer muatan antara elektroda dan elektrolit. Sebagai contohnya ketika komposit logam oksida dan karbon digunakan sebagai elektroda untuk superkapasitor, maka mekanisme penyimpanan energinya termasuk kapasitansi lapisan ganda (*Double Layer Capacitance*) dan *pseudocapacitance*, sehingga menghasilkan kapasitansi yang lebih tinggi (Jayalakshmi, 2008). Peningkatan nilai kapasitansi energi dari superkapasitor dapat dilakukan dengan menyiapkan material karbon berpori yang memiliki fraksi mesopori dan luas permukaan yang tinggi (Zhu dkk., 2007).

Prinsip kerja dari superkapasitor didasarkan pada teknologi karbon (nanotube) yang akan menciptakan luas permukaan yang sangat besar dengan jarak pemisah yang sangat kecil. Secara umum semua jenis superkapasitor memiliki rangkaian alat yang terdiri dari dua elektroda yang direndam dalam larutan

konduktif atau polimer konduktif yang disebut elektrolit. Elektroda tersebut dipisahkan oleh suatu pemisah/separator berbahan dielektrik. Separator tersebut digunakan untuk mencegah agar tidak terjadi tumpang tindih muatan pada kedua elektroda. Selain itu separator juga memiliki sifat listrik yang dapat mempengaruhi kinerja superkapasitor. Secara sederhana, skema rangkaian superkapasitor dapat dilihat pada Gambar 2 (Syarif, 2014).



Gambar 2. Skema Superkapasitor (Halper dan Ellenbogen, 2006).

Komponen utama dari rangkaian superkapasitor adalah (Vuorilehto dan Nuutinen, 2014) :

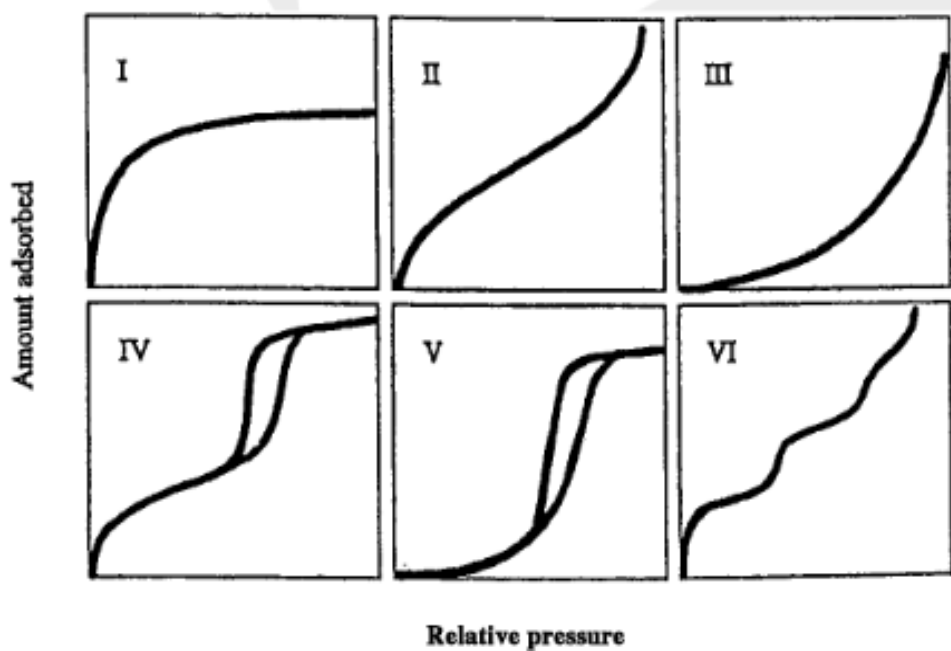
- a. aluminium tipis/aluminium foil yang dilekatkan dengan elektroda yang berfungsi sebagai pengumpul arus/current collector.
- b. elektroda yang berupa karbon dengan luas permukaan yang tinggi dan bersifat konduktif.
- c. separator/pemisah, yang direndam dengan elektrolit cair. Separator ini dapat berupa plastik atau kertas.

2.2 Karbon Aktif

Karbon aktif merupakan karbon amorf dari pelat-pelat datar yang disusun oleh atom-atom C yang terikat secara kovalen dalam suatu kisi heksagonal datar dengan satu atom C. Ikatan yang terbentuk pada karbon aktif akan memiliki setiap sudut yang luas permukaannya berkisar antara $300 \text{ m}^2/\text{g}$ hingga $3500 \text{ m}^2/\text{g}$. Ukuran dari luas permukaan karbon aktif berkaitan dengan struktur pori karbon aktif (Tarayana, 2002).

Berdasarkan besar porinya, karbon aktif dapat dikelompokkan menjadi 3 yaitu mikropori dengan jari-jari $< 2 \text{ nm}$, mesopori dengan jari-jari $2\text{-}50 \text{ nm}$ dan makropori dengan jari-jari $> 50 \text{ nm}$. mikropori memiliki kemampuan adsorpsi partikel paling tinggi dibandingkan dengan pori meso dan pori makro Adsorpsi oleh makropori biasanya diabaikan karena jauh lebih kecil dibanding mikro dan mesopori (Jankowska dkk, 1991).

Karbon aktif memiliki beberapa keuntungan diantaranya yaitu tidak dapat terdekomposisi ataupun bereaksi setelah digunakan. Selain itu, karbon aktif yang memiliki sifat sebagai adsorben dapat digunakan sebagai penghilang warna dan bau pada industri minuman, penghilangan sulfur, bau busuk gas pada pemurnian gas, (Subadra, dkk., 2005). Kualitas karbon aktif sebagai adsorben dapat dilihat berdasarkan jumlah atau berapa banyak adsorbat yang dapat ditarik dan tersisa pada isothermal adsorpsinya yang menunjukkan grafik hubungan antara massa adsorbat dan jumlah yang teradsorpsi pada suhu tertentu. Seluruh isothermal adsorpsi harus sesuai dengan minimal 1 tipe grafik dari 6 klasifikasi isothermal adsorpsi menurut IUPAC (*International Union Of Pure and Applied Chemistry*) sebagai berikut (Marsh dan Reinoso, 2006; (Hasanudin dan Rachmad, 2010):



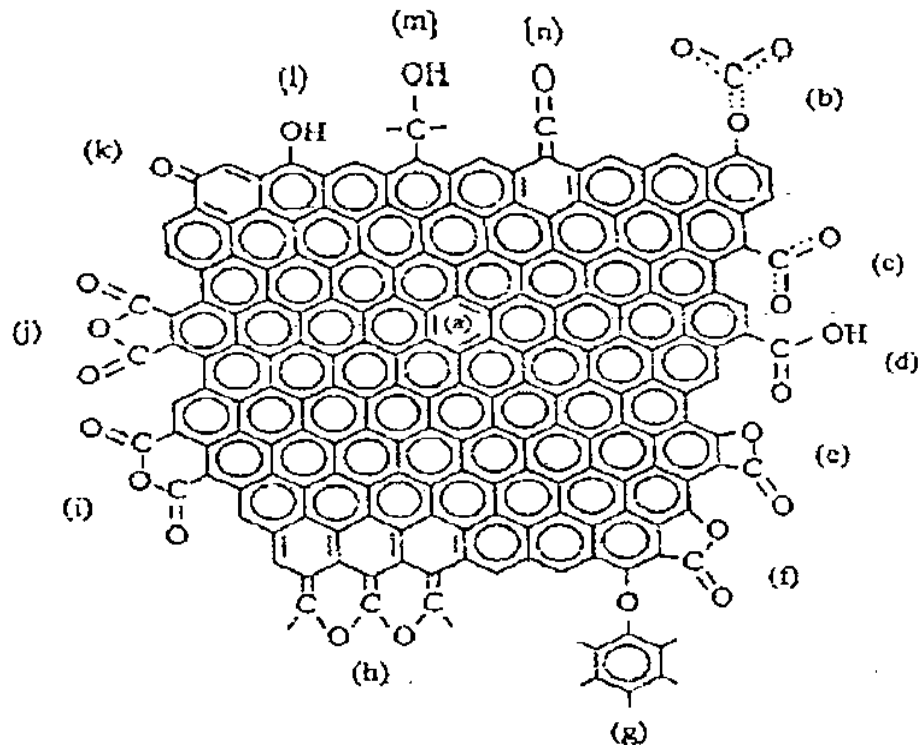
Gambar 5. Grafik tipe-tipe adsorpsi berdasarkan IUPAC

- a. Tipe I, disebut tipe isothermal Langmuir yang menggambarkan adsorpsi monolayer. Isothermal tipe I umumnya berlangsung pada adsorben yang luas permukaannya kecil dan ukuran porinya didominasi oleh ukuran pori < 2 nm (mikropori).
- b. Tipe II, diperoleh dari percobaan Brauner, Emmet dan Teller (1938), kurva jenis ini ditemukan pada adsorben yang berpori besar (makropori). Tipe ini menggambarkan adsorpsi pada 2 kondisi yaitu pada permukaan adsorben dengan permukaan terbuka dan mikropori. Isothermal ini memiliki titik infleksi di mana kurva berubah dari cekung ke cembung yang menunjukkan di mana cakupan monolayer berakhir dan adsorpsi multilayer dimulai.
- c. Tipe III, berbentuk cembung dan khas dari adsorpsi pada situs dengan potensi adsorpsi rendah, seperti sistem polimer organik. Plot grafik dari isothermal tipe III menghasilkan bentuk konveks terhadap tekanan relatif. Isothermal tipe ini umumnya berlangsung pada adsorben tak berpori dan adsorben berpori mikro.

Tipe ini jarang terlihat dalam eksperimen adsorpsi, dimana gaya tarik molekul gas lebih besar dibandingkan gaya ikat serapan.

- d. Tipe IV, sering terlihat padatan berpori, seperti pada katalis industri. Relatif tekanan rendah sampai menengah, dimana volume terbesar adsorbat yang teradsorpsi dapat dihitung dari *capillary condensation* yang telah sempurna mengisi pori. Kurva jenis ini dihasilkan padatan adsorben yang berukuran 2 – 50 nm (mesopori).
- e. Tipe V, merupakan tipe isotermal dengan karakteristik memiliki energi rendah, homogen dan terjadi pada adsorben dengan pori berukuran mesopori. Isotermal tipe ini memiliki bentuk grafik konveks terhadap tekanan relatif dan merupakan karakteristik dari interaksi lemah antara adsorbat dengan adsorben. Tipe isotermal ini juga terjadi pada padatan dengan ukuran mikropori.
- f. Tipe VI, mencirikan isotermal pada permukaan yang sangat homogen seperti grafit pirolitik. Isotermal tipe VI sering dikenal sebagai isothermal hipotetik. menunjukkan interaksi adsorbat dengan permukaannya yang terlalu homogen (*pyrolytic graphite*) yang berinteraksi dengan adsorben. Bentuk grafik dari isotermal ini disebabkan oleh formasi lengkap dari lapisan monomolekul sebelum terjadi peningkatan menuju ke lapisan berikutnya.

Selain mengandung karbon, karbon aktif juga mengandung sejumlah kecil hidrogen dan oksigen yang secara kimiawi terikat dalam berbagai gugus fungsi seperti karbonil, karboksil, fenol, lakton, dan gugus-gugus eter. Gugus fungsional ini membentuk permukaan karbon aktif reaktif secara kimiawi dan mempengaruhi sifat adsorbsinya. Struktur kimia karbon aktif dengan gugus fungsionalnya dapat dilihat pada Gambar 3 (Nurul`ain, 2007).



Gambar 3. Struktur kimia permukaan Karbon Aktif : (a) aromatik; (b) dan (c) karboksil-karbonat; (d) asam karboksilat (e) lakton (4 cincin); (f) lakton (5 cincin); (g) eter; (h) eter siklik; (i) anhidrida siklik (5 cincin); (j) anhidrida siklik (6 cincin); (k) kina; (l) fenol; (m) alkohol; dan (n) keton (Nurul'ain, 2007).

Struktur dari karbon aktif dibuktikan dengan penelitian menggunakan Analisis sinar X yang hasilnya akan menunjukkan adanya bentuk-bentuk kristalin yang sangat kecil dengan struktur grafit. Daerah kristalin mempunyai ketebalan sebesar 0,7-1,1 nm dan diameter sebesar 2,0-2,5 nm. Nilai ini jauh lebih kecil jika dibandingkan dengan grafit. Hal ini menunjukkan bahwa hanya terdapat 3 atau 4 lapisan atom karbon dengan kurang lebih terisi 20-30 heksagon di tiap lapisannya. Rongga antara kristalin-kristalin karbon diisi oleh karbon-karbon amorf yang berikatan secara tiga dimensi dengan atom-atom lainnya terutama oksigen. (Juliandini dan Trihadiningrum, 2008).

Proses pembuatan karbon aktif terdiri atas 4 tahapan yaitu pemilihan bahas dasar, dehidrasi, karbonisasi dan ativasi.

1. Pemilihan bahan dasar

Berbagai macam bahan dapat dijadikan sebagai bahan baku dalam pembuatan karbon aktif selama bahan tersebut mengandung unsur karbon. Selain mengandung unsur karbon, kriteria lain yang harus dimiliki bahan dasar karbon aktif yaitu unsur anorganik yang rendah, memiliki daya tahan yang baik, dan mudah untuk diaktivasi (Marsh dan Reinoso, 2006).

2. Dehidrasi

Dehidrasi adalah proses yang bertujuan untuk menyempurnakan proses karbonisasi, pada proses ini terjadi penghilangan kadar air dalam bahan dasar. Dehidrasi dapat dilakukan dengan cara menjemur bahan dasar dibawah sinar matahari langsung atau memanaskannya dalam oven (Luziana, 2018).

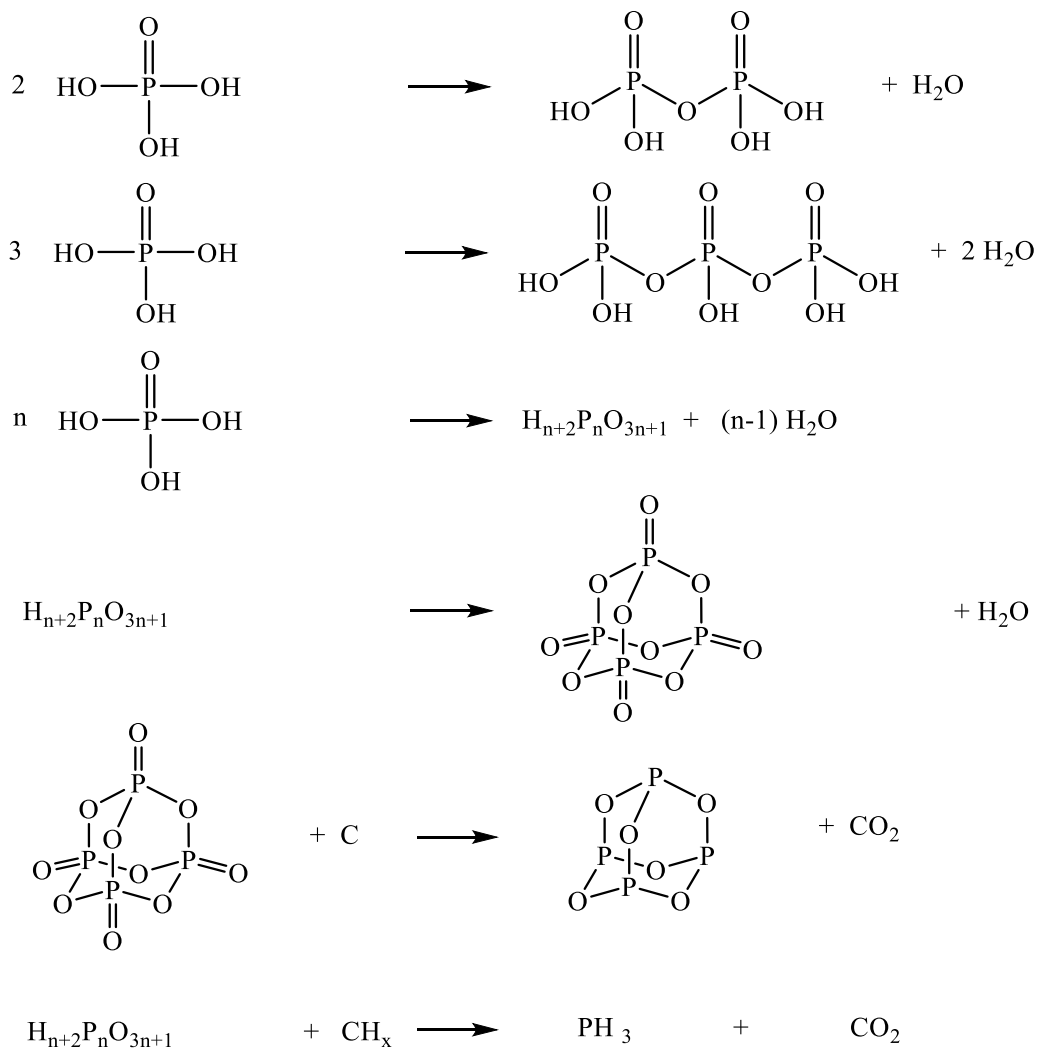
3. Karbonisasi

Karbonisasi biasa disebut sebagai pirolisis yang memecah senyawa kompleks menjadi senyawa yang lebih sederhana dengan pembakaran tidak sempurna dari bahan-bahan organik menggunakan alat pembakaran. Proses ini bertujuan untuk menghilangkan zat-zat yang mudah menguap yang menutupi pori-pori karbon aktif (Sembiring dan Sinaga, 2003).

4. Aktivasi

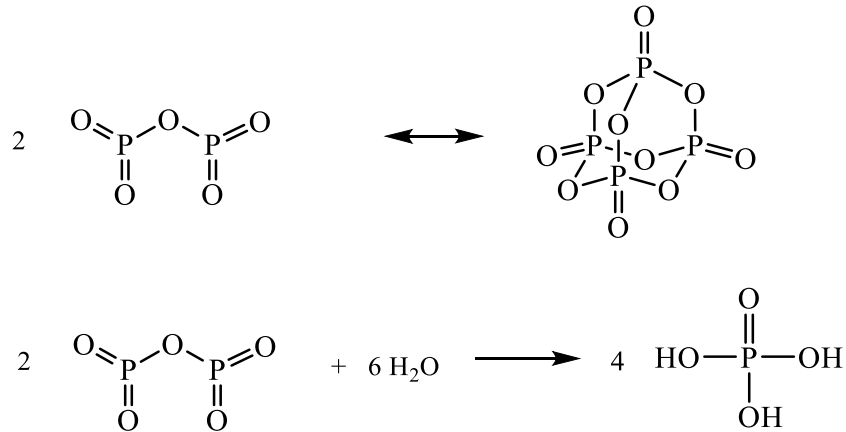
Aktivasi merupakan proses yang bertujuan untuk memperbesar pori yang telah dibersihkan dari dari zat-zat yang mudah menguap yang menutupi pori-pori karbon aktif. Proses ini akan memecahkan ikatan hidrokarbon atau mengoksidasi molekul-molekul permukaan sehingga karbon aktif akan mengalami perubahan sifat, baik fisika maupun kimia yaitu luas permukaannya bertambah besar (Budiono dkk, 2010).

Proses aktivasi dapat dibagi menjadi 2 macam yaitu aktivasi fisika dan aktivasi kimia. Aktivasi fisika adalah proses yang menggunakan gas aktifasi misalnya uap air atau CO₂ yang dialirkan pada karbon aktif yang telah dikarbonisasi. Proses ini berlangsung pada temperatur 800–1100°C (Jamilatun dan Setyawan, 2014). Aktivasi secara kimia pada prinsipnya adalah penambahan senyawa kimia tertentu pada karbon aktif sebelum dipanaskan. Senyawa kimia yang dapat digunakan sebagai bahan aktivator yaitu H₃PO₄ (Meisrilestari dkk., 2013). Mekanisme aktivasi karbon dengan larutan H₃PO₄ bisa dijelaskan pada Gambar 4 (Li dkk., 2012).



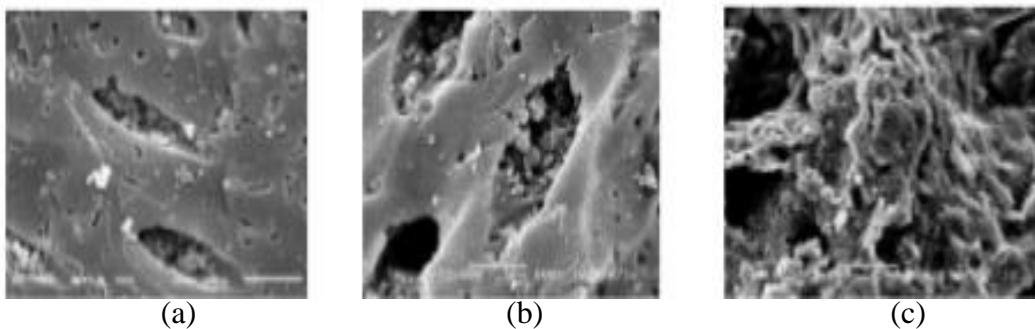
Gambar 4. Mekanisme pengaktifan karbon dengan larutan H₃PO₄

Selain bereaksi dengan atom C, reaksi lain yang terjadi saat aktivasi karbon dengan H_3PO_4 dapat dilihat pada Gambar 5 (Masson, 2008).



Gambar 5. Reaksi pengikatan air oleh Fosfor (V) Oksida (Masson, 2008).

Senyawa P_4O_{10} sebagai sisa hasil reaksi yang tidak lagi bereaksi dengan karbon, dapat berperan sebagai agen pendehidrasi (Masson, 2008). Jenis dan banyaknya gugus fungsional yang dihasilkan saat proses aktivasi karbon tempurung kemiri dengan H_3PO_4 akan berpengaruh terhadap pembentukan gugus fungsional yang mengandung nitrogen pada karbon aktif tempurung kemiri. Berdasarkan penelitian Kurniati (2008), penggunaan larutan H_3PO_4 dalam pembuatan karbon aktif tempurung kemiri dengan aktivasi kimia menggunakan larutan H_3PO_4 sebagai bahan pengaktif memberi pengaruh yang kuat dalam pembentukan pori dan membuka pori baru yang ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Hasil foto SEM karbon aktif perbesaran 5000x dengan suhu aktivasi (a) 600°C (b) 700°C (c) 800°C (Efendi dan Astuti, 2016).

Berdasarkan Gambar 6 dapat dilihat bahwa morfologi permukaan karbon aktif dengan suhu aktivasi 600°C, 700°C, dan 800°C yang dikarakterisasi menggunakan SEM. Pada Gambar 6 terlihat munculnya pori yang berbeda pada setiap suhu aktivasi baik bentuk maupun ukurannya. Jumlah mesopori terbanyak terdapat pada karbon aktif dengan suhu aktivasi 700 °C yang berjumlah 2253 pori. Karbon aktif dengan suhu aktivasi 800 °C hanya diperoleh 924 pori dan untuk suhu aktivasi 600 °C hanya diperoleh 105 pori. Sehingga dapat dikatakan bahwa ukuran pori semakin besar jika suhu aktivasi diatas 700 °C yang disebabkan oleh energi panas yang diterima lebih besar. Sedangkan jumlah pori yang menurun pada suhu aktivasi 800 °C disebabkan oleh lebih banyaknya jumlah aktivator yang menguap (Efendi dan Astuti, 2016).

Karakteristik karbon aktif yang dihasilkan harus memenuhi SNI, kecuali kadar abu. Tingkat keaktifan karbon cukup tinggi. Hal ini terlihat dari daya serap iodnya sebesar 28,9% (Husin, 2003). Persyaratan karbon aktif menurut SNI dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Persyaratan karbon aktif menurut Standar Nasional Indonesia (SNI) No.06-3730-1995

No.	Uraian	Persyaratan	
		Butiran	Serbuk
1	Kadar senyawa volatil (%)	Maks 15	Maks 25
2	Kadar air (%)	Maks 4,5	Maks 15
3	Kadar abu(%)	Maks 2,5	Maks 10
4	Bagian tak mengarang	0	0
5	Daya serap terhadap I ₂ (mg/g)	Min 750	Min 750
6	Karbon aktif murni (%)	Min 80	Min 60
7	Daya serap terhadap benzene (%)	Min 25	-
8	Daya serap terhadap metilen biru (mg/g)	Min 60	Min 120
9	Bobot jenis curah (g/ml)	0,45-0,55	0,3-0,35
10	Lolos mesh	-	Min 90
11	Jarak mesh (%)	90	-
12	Kekerasan	80	-

2.3 Kemiri sebagai Sumber Karbon Aktif

Kemiri (*Aleurites moluccana* Willd.) merupakan salah satu tanaman industri dari keluarga Euphorbiaceae (jarak-jarakan). Tanaman kemiri memiliki kelebihan yaitu tidak banyak membutuhkan syarat tumbuh dan dapat tumbuh di daerah beriklim kering dan beriklim basah. Tanaman kemiri yang pada awalnya tumbuh secara alami kemudian ditanam oleh masyarakat khususnya di daerah pedesaan (Rosman dan Djauhariya, 2008).

Aleurites moluccana (L.) Willd atau lebih dikenal dengan nama kemiri, merupakan salah satu tumbuhan serbaguna yang sudah dibudidayakan secara luas di dunia. Biji kemiri mempunyai tempurung yang morfologinya sangat keras dengan permukaan kasar dan beralur yang di dalamnya terdapat daging biji dengan kadar minyak 60-66%. Berdasarkan pengelompokkannya kemiri termasuk dalam minyak lemak yang dapat digunakan untuk berbagai tujuan seperti bijinya dapat digunakan sebagai, masakan dan obat-obatan, sedangkan batangnya dapat digunakan untuk kayu (Halimah, 2016).



Gambar 7. Tempurung kemiri (*Aleurites moluccana* (L.) Willd)

Klasifikasi dari kemiri (*Aleurites moluccana*, Wild.) adalah sebagai berikut (Susilowati dan Primaswari, 2012) :

Regnum : Plantae
Divisi : Spermathophyta
Subdivisi : Angiospermae
Kelas : Dicotyledonae
Ordo : Archichlamydae
Famili : Euphorbiaceae
Genus : Aleurites
Spesies : Aleurites moluccana, Wild.

Kemiri (*Aleuritis moluccana L. Willd*) termasuk tanaman tahunan dari famili Euphorbidcae dan kebanyakan tumbuh di hutan serta sebagian dibudidayakan, oleh masyarakat untuk memperoleh buahnya karena mempunyai nilai ekonomis tinggi. Tempurung kemiri adalah salah satu limbah organik yang dapat disintesis menjadi karbon aktif dengan kadar karbon sebesar 75,79 % (Lempang dkk., 2009), lebih tinggi daripada bahan organik lainnya, seperti kayu pinus 71,93 % (Komarayati dkk., 2004), Tempurung kemiri 66,79 % (Purwanto, 2011) dan karbon sekam 74,20% (Nugraha, 2010).

Kemiri mempunyai 2 lapis kulit yaitu kulit buah dan tempurung. Setiap kilogram dari biji kemiri akan dihasilkan sebanyak 30% inti dan 70% tempurung (Gianyar dkk., 2012). Dalam pengolahan biji kemiri akan dihasilkan tempurung kemiri yang memiliki sifat keras dengan nilai kalor 4164 kal/g, sehingga dapat digunakan sebagai bahan bakar. Mengingat potensi tempurung kemiri cukup besar, meskipun penggunaannya sebagai bahan bakar kurang populer, maka salah satu alternatif pemanfaatannya adalah mengolah tempurung kemiri menjadi karbon aktif (Setiawan dan Yang, 1992).

Buah kemiri terdiri atas tiga lapisan yaitu : 1. kulit luar (*outer bulk skin*) yang merupakan bagian paling luar (berwarna hijau atau coklat tua waktu panen); 2. Kulit biji kemiri (Tempurung) berwarna coklat kehitaman dan 3. Bagian yang paling dalam merupakan biji kemiri yang berwarna kuning pucat (Tarigan dan Prateephaikul, 2006). Buah kemiri memiliki kulit yang tebal, bentuknya bulat dengan diameter sekitar 5 cm dan di dalam buah terdapat satu atau dua biji kemiri. Biji kemiri terdiri dari kulit biji (tempurung) dan daging biji (karnel) dengan perbandingan 3 : 7 (Heyne, 1987).

Tempurung kemiri memiliki ketebalan berkisar antara 3-5 mm, sifatnya keras dan memiliki nilai kalor sebesar 4164 kal/g, sehingga dapat digunakan sebagai bahan bakar dalam pengeringan biji kemiri (Setiawan dan Yang, 1992). Menurut Lempang dkk (2009). Tempurung kemiri mengandung senyawa kimia yang dapat dilihat pada Table 2.

Tabel 2. Komponen kimia tempurung kemiri

Parameter	Kadar (%)
Kandungan Air	6,18
Kandungan Abu	8,73
Pentosa	14,55
Lignin	54,46
Holoseulosa	49,22

Berdasarkan Tabel 2. Dapat dilihat kandungan dari tempurung kemiri yang memiliki kadar lignin yang cukup tinggi dari pada selulosa dan hemiselulosa Lignin tersebut berperan sebagai penyusun utama dinding sel sehingga menyebabkan struktur Tempurung kemiri menjadi kaku dan keras. Sifat struktur tersebut disebabkan karena selulosa dan hemiselulosa pada tempurung kemiri

berikatan dengan lignin sehingga menutupi terbentuknya pori-pori pada tempurung. Selain itu lignin memiliki sifat yang lebih tahan terhadap panas jika dibandingkan selulosa dan hemiselulosa (Lempang dkk, 2009). Sehingga untuk membuat karbon aktif diperlukan perlakuan yang dapat memutuskan ikatan lignin dengan selulosa dan hemiselulosa yaitu dengan perendaman dengan senyawa kimia sebagai aktivator. Pemisahan lignin dengan selulosa dan hemiselulosa dapat membentuk pori-pori yang sudah bersih dari zat pengotor sehingga dapat digunakan sebagai karbon aktif (Handayani, 2010).

2.4 Pengaruh Suhu terhadap Karbon Aktif

Salah satu faktor yang mempengaruhi kualitas karbon aktif adalah suhu yang digunakan pada saat proses karbonisasi. Proses ini akan memicu terjadinya dekomposisi material organik dalam bahan baku dan akan mengeluarkan zat-zat pengotor dalam bahan baku karbon. Penguraian unsur yang mudah menguap ini menyebabkan terbentuknya pori-pori atau mulai terbukanya pori sehingga akan terjadi perubahan struktur pori (Shofa, 2012).

Penguraian bahan-bahan organik yang terkandung di dalam karbon aktif terjadi pada proses karbonisasi yang melalui beberapa tahapan proses. Pada tahap awal, pada suhu 100-120°C akan terjadi proses penguapan air. Kemudian pada suhu 270-310°C terjadi proses penguraian selulosa menjadi larutan piroglinat gas kayu dan sedikit tar dan terjadi proses penguraian lignin sehingga dihasilkan lebih banyak tar sedangkan larutan piroglinat dan gas CO₂ menurun. Kemudian pada suhu 310-500°C gas CH₄, CO dan H₂ akan mengalami peningkatan. Selanjutnya pada suhu 500-1000°C terjadi tahap pemurnian atau peningkatan kadar karbon (Maryono dkk, 2013).

Pirolisis disebut juga sebagai proses karbonisasi dengan pemanasan secara langsung dalam tungku Beehive yang berbentuk kubah. Secara umum pirolisis atau thermolisis adalah proses penguraian suatu bahan baku pada suhu yang relatif tinggi dengan udara terbatas atau tanpa adanya oksigen. Produk akhir proses pirolisis akan menghasilkan tiga senyawa yaitu gas, padat dan cair, yaitu karbon, cairan berupa campuran tar (bio-oil) dan beberapa zat lainnya. Hasil samping proses pirolisis adalah gas berupa metana (CH_4), karbon dioksida (CO_2), dan beberapa gas lainnya dalam komposisi yang relatif kecil. Pada umumnya proses pirolisis berlangsung selama 4-7 jam dengan suhu di atas 300°C , tetapi kondisi tersebut dipengaruhi oleh sifat fisik bahan baku (Ridhuan dan Suranto, 2016).

Menurut Aruan (2013) terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi hasil pirolisis adalah:

- a. Waktu yang digunakan dalam proses pirolisis, waktu ini sangat mempengaruhi lama tidaknya kesempatan bereaksi. Semakin lama waktu reaksi maka semakin meningkatkan hasil akhir fase cair dan gas walaupun hasil fase padatan akan menurun.
- b. Suhu yang digunakan saat proses pirolisis. Suhu ini mempunyai berpengaruh pada hasil akhir pirolisis, karena semakin meningkatnya suhu maka proses penguraian/dekomposisi semakin baik.
- c. Ukuran bahan yang akan diproses pirolisis. Ukuran ini sangat tergantung dari ukuran alat yang digunakan, hasil karbon dan tujuan akhir pemakaian karbon aktif.
- d. Kadar air dalam bahan. Semakin banyak mengandung air maka akan semakin banyak timbul uap air di dalam reaktor pirolisis sehingga waktu

yang digunakan untuk pemanasan semakin lama dan juga akan menyebabkan tar sulit mengalami pengembunan di dalam pendingin.

2.5 Pengaruh Elektrolit terhadap Nilai Kapasitansi Spesifik Karbon

Elektrolit adalah larutan yang mengandung ion yang berperilaku sebagai media elektrik konduktif. Dalam ilmu kimia larutan elektrolit umumnya ada sebagai larutan asam, basa, atau garam. Superkapasitor menggunakan elektrolit yang dapat menentukan rapat daya dan energi yang diinginkan. Jika elektrolit rusak pada voltase yang relatif rendah, sel superkapasitor tidak dapat menghasilkan energi atau kerapatan daya yang cukup tinggi (Tetra dkk., 2018).

Sun, dkk., (2019), mengembangkan salah satu penyimpanan energi yaitu baterai ion litium yang dipengaruhi oleh elektrolit. Elektrolit yang digunakan adalah Li_2SO_4 yang aman dan tidak berbahaya. Elektrolit Li_2SO_4 dimasukkan kedalam larutan garam litium yang konsentrasinya mempunyai stabilitas elektrolit yang efektif dan lebih baik dibandingkan dengan air murni. Pada konsentrasi garam yang tinggi, sebagian besar dari molekul air dalam larutan akan ikut mereduksi aktifitas air dan memperluas jangkauan stabilitas termodinamika. Bertambahnya stabilitas pada konsentrasi Li_2SO_4 dapat menaikkan nilai rapat arus itu dari superkapasitor sendiri (Azmy, 2014).

Larutan elektrolit sebagai pendukung dalam peningkatan kapasitansi, juga mempengaruhi degradasi elektrokimia. Larutan yang sering digunakan sebagai larutan elektrolit pada elektroda superkpasitor adalah larutan NaCl dan Na_2SO_4 . Garam Na_2SO_4 merupakan salah satu larutan elektrolit yang digunakan dalam proses degradasi elektrokimia karena dapat membentuk senyawa radikal SO_4^- (Lee dan Geun, 2008). Kedua larutan elektrolit tersebut, paling efektif dalam

meningkatkan konduktivitas listrik dan menyerap limbah zat warna serta dapat mengurangi waktu elektrolisis (Kariyajjanavar dkk., 2011). Weng dkk., (2013) mengatakan bahwa larutan elektrolit ini merupakan larutan elektrolit pendukung yang mempunyai karakteristik yang relatif stabil (Wang dkk., 2012).

Penggunaan larutan elektrolit akan menghasilkan nilai kapasitansi yang lebih tinggi dan daya penyimpanan energi yang lebih besar karena konsentrasi ion yang tinggi dan jari-jari ion yang kecil (Wang dkk., 2012). Larutan elektrolit yang biasa digunakan sebagai elektrolit superkapasitor adalah asam, basa dan garam. Beberapa peneliti melakukan modifikasi permukaan karbon aktif karena memberikan pengaruh yang cukup besar pada peningkatan nilai kapasitansi spesifik sebagai bahan elektroda superkapasitor. Beberapa hasil penelitian modifikasi permukaan karbon aktif dengan nilai kapasitansi spesifik yang dihasilkan dapat dilihat pada Table 3.

Tabel 3. Pengaruh modifikasi permukaan karbon aktif sebagai bahan elektroda superkapasitor.

Sumber Karbon	Aktivator	C_s (F/g)	Elektrolit	Referensi
Batang Kayu	HNO ₃	115	1 M Na ₂ SO ₄	Jiang dkk., 2013
Kulit Singkong	H ₂ SO ₄	210,98	1 M KOH	Ismanto dkk. 2010
Tempurung Kemiri	H ₃ PO ₄	8,76	1 M Na ₂ SO ₄	Efendi dan Astuti, 2016
Tempurung Kelapa Sawit	NaOH	38,10	0,3M HNO ₃	Aziz, dkk, 2016