

Skripsi

**PENENTUAN KAPASITANSI SPESIFIK KARBON AKTIF SEKAM PADI
(*Oryza sativa*) HASIL MODIFIKASI DENGAN HNO_3 , H_2SO_4 , DAN H_2O_2
DENGAN METODE *CYCLIC VOLTAMMETRY***

RAHMAYANTI

H 311 12 278



**JURUSAN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2017**

**PENENTUAN KAPASITANSI SPESIFIK KARBON AKTIF SEKAM PADI
(*Oryza sativa*) HASIL MODIFIKASI DENGAN HNO₃, H₂SO₄, DAN H₂O₂
DENGAN METODE *CYCLIC VOLTAMMETRY***

*Skripsi ini diajukan sebagai salah satu syarat
untuk memperoleh gelar Sarjana Sains*

Oleh :

**RAHMAYANTI
H 311 12 278**



MAKASSAR

2017

SKRIPSI

PENENTUAN KAPASITANSI SPESIFIK KARBON AKTIF SEKAM PADI
(*Oryza sativa*) HASIL MODIFIKASI DENGAN HNO_3 , H_2SO_4 , DAN H_2O_2
DENGAN METODE *CYCLIC VOLTAMMETRY*

Disusun dan diajukan oleh

RAHMAYANTI
H 311 12 278

Skripsi ini telah diperiksa dan disetujui oleh :

Pembimbing Utama



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

Pembimbing Pertama



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

Pendidikan adalah jalan. Belajar adalah cara. Lewat pendidikan kita belajar cara memanusiation manusia, belajar tentang cara hidup dengan alam, belajar cara hidup bersama dalam masyarakat. Karena pendidikan bukan tentang menjadi yang terbaik, tapi mengajak yang lain untuk menjadi baik.

“Bila kaum muda yang telah belajar di sekolah dan menganggap dirinya terlalu tinggi dan pintar untuk melebur dengan masyarakat yang bekerja dengan cangkul dan hanya memiliki cita-cita yang sederhana, maka lebih baik pendidikan itu tidak diberikan sama sekali”

–Tan Malaka

ABSTRAK

Sintesis dan karakterisasi karbon aktif sekam padi (*Oryza sativa*) hasil modifikasi dengan HNO₃, H₂SO₄ dan H₂O₂ sebagai bahan elektroda superkapasitor telah dilakukan. Sekam padi telah melewati beberapa tahapan antara lain proses karbonisasi, ekstraksi silika, aktivasi dengan H₃PO₄, hingga modifikasi dengan HNO₃, H₂O₂ dan H₂SO₄. Proses karbonisasi dilakukan pada suhu 350 °C. Hasil analisis dengan XRF menunjukkan kandungan senyawa silika pada karbon aktif sebesar 96,144 %b/b. Luas permukaan karbon aktif ditentukan dengan metode metilen biru yang menunjukkan luas permukaan karbon aktif sebesar 178,687 m²/gram. Karbon aktif hasil modifikasi dengan HNO₃, H₂O₂, dan H₂SO₄ dikarakterisasi dengan metode titrasi Boehm yang ditunjang oleh FTIR. Nilai kapasitansi spesifik ditentukan dengan metode *Cyclic Voltammetry* pada karbon aktif termodifikasi HNO₃, H₂SO₄, dan H₂O₂ berturut-turut 24,96 µF/g, 271,812 µF/g, dan 13,49 µF/g.

Kata kunci: Karbon aktif, modifikasi permukaan, karakterisasi, kapasitansi spesifik.

ABSTRACT

Synthesis and characterization of activated rice husks (*Oryza sativa*) were modified with HNO₃, H₂SO₄ and H₂O₂ as supercapacitor electrode materials. Rice husk has passed several stages including carbonization process, silica extraction, activation with H₃PO₄, until modification with HNO₃, H₂O₂ and H₂SO₄. The carbonization process was carried out at 350 °C. The results of the XRF analysis showed that the silica compound content on the activated carbon was 96.144% w/w. The surface area of activated carbon is determined by the methylene blue method which showed the surface area of activated carbon of 178,687 m²/gram. Activated carbon modified with HNO₃, H₂O₂, and H₂SO₄ were characterized by Boehm titration method and supported by FTIR. Specific capacitance values were determined by *Cyclic Voltammetry* method on modified activated carbon HNO₃, H₂SO₄ and H₂O₂ in succession 24,96 μF/g, 271,812 μF/g, and 13,49 μF/g.

Keywords: Activated carbon, surface modification, characterization, specific capacitance.

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
HALAMAN PERSEMBAHAN	v
PRAKATA.....	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN.....	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Maksud dan Tujuan Penelitian.....	5
1.3.1 Maksud Penelitian.....	5
1.3.2 Tujuan Penelitian	5
1.4 Manfaat Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Penyimpanan Energi Elektrokimia	6
2.2 Kapasitor	6
2.2.Superkapasitor	7

2.2.2 Karbon Aktif	9
2.2.3 Modifikasi Permukaan	12
2.3 Sekam Padi sebagai Sumber Karbon Aktif	13
2.4 Luas Permukaan	14
2.5 <i>Cyclic Voltammetry</i>	15
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	16
3.1 Bahan Penelitian.....	16
3.2 Alat Penelitian.....	16
3.3 Tempat dan Waktu Pengambilan Sampel	17
3.4 Waktu dan Tempat Penelitian	18
3.5 Prosedur Penelitian.....	18
3.5.1 Preparasi Sampel.....	18
3.5.2 Proses Karbonisasi	18
3.5.3 Ekstraksi Silika	18
3.5.4 Aktivasi	19
3.5.5 Modifikasi Permukaan	19
3.5.6 Karakterisasi Permukaan Karbon Aktif Secara Kimia	20
3.5.6.1 Karakterisasi Permukaan Karbon Aktif Secara Kimia dengan Metode Boehm	20
3.5.6.2 Karakterisasi Gugus Fungsi dengan FTIR	20
3.5.6.3 Karakterisasi Fisika Karbon Aktif Sekam Padi dengan XRF	20
3.5.6.4 Karakterisasi Luas Permukaan dengan Metode Metilen Biru.....	21
3.5.7 Pembuatan Elektroda Karbon	21
3.5.8 Pengukuran Kapasitansi Spesifik	22
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	23
4.1 Preparasi Sampel Sekam Padi	23

4.2 Karbonisasi	23
4.3 Ekstraksi Silika	23
4.4 Aktivasi Karbon Sekam Padi	25
4.5 Pengukuran Luas Permukaan Karbon Aktif Sekam Padi	27
4.6 Modifikasi Permukaan Karbon Aktif Sekam Padi.....	29
4.7 Pengukuran Kapasitansi Spesifik.....	36
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	40
5.1 Kesimpulan	40
5.2 Saran.....	40
DAFTAR PUSTAKA	42
LAMPIRAN.....	46

DAFTAR GAMBAR

Gambar	halaman
1. Skema kapasitor	7
2. Proses <i>charge</i> dan <i>recharge</i> pada superkapasitor	8
3. Skema Superkapasitor	9
4. Gugus oksida yang menyebabkan asam	13
5. Badan elektroda	21
6. Mekanisme pembentukan Na_2SiO_3	24
7. Grafik hubungan absorbansi dan panjang gelombang	27
8. Penentuan kurva deret standar metilen biru pada panjang gelombang 660 nm	27
9. Perbandingan konsentrasi gugus aktif sebelum dan sesudah modifikasi dengan HNO_3 , H_2SO_4 , dan H_2O_2	31
10. Spektrum FTIR karbon aktif sebelum dan sesudah modifikasi	31
11. Reaksi karbon aktif dengan HNO_3	35
12. Reaksi karbon aktif dengan H_2SO_4	35
13. Reaksi karbon aktif dengan H_2O_2	36
14. Voltammogram elektroda pasta karbon aktif sekam padi	36

DAFTAR TABEL

Tabel	halaman
1. Kandungan Senyawa Oksida pada Sekam Padi Hasil Analisa dengan XRF	23
2. Penentuan Panjang Gelombang Maksimum Metilen Biru	26
3. Luas permukaan karbon sekam padi	28
4. Gugus fungsi pada karbon aktif sekam padi	34
5. Data <i>Cyclic Voltammetry</i> Elektroda Pasta Karbon	36

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	halaman
1. Skema Prosedur Kerja	42
2. Perhitungan Luas permukaan	48
3. Perhitungan Titrasi Boehm.....	53
4. Perhitungan Kapasitansi Spesifik.....	55
5. Dokumentasi Kegiatan Penelitian	56

DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN

Simbol/Singkatan	Arti
C	Kapasitansi Spesifik
CV	<i>Cyclic Voltammetry</i>
FTIR	<i>Fourier Transform Infrared</i>
XRF	<i>X-Ray Fluorescence</i>
F/g	Farad/gram
I_c	Arus yang masuk
I_d	Arus keluar
mek/g	miliekivalen/gram
b/b	berat/berat

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Karbon adalah salah satu unsur yang paling berlimpah di muka bumi dan memainkan peran penting pada ekosistem yang kita kenal hari ini.. Selama ribuan tahun, karbon juga telah digunakan sebagai sumber energi. Teknologi yang digunakan masyarakat modern saat ini seperti mobil, pesawat terbang, komputer, laser, dan berbagai benda elektronik lainnya mengandalkan pengembangan bahan berbasis karbon sebagai pasokan energi (Candelaria dkk., 2012).

Karbon aktif adalah karbon yang sudah diaktifkan dengan zat aktivator sehingga pori-porinya terbuka (Surest dkk., 2008). Beberapa bahan yang banyak digunakan sebagai sumber bahan baku pembuatan karbon aktif adalah batubara, kayu, tulang, serbuk gergaji dan limbah pertanian seperti tempurung, kulit biji, sekam, sabut kelapa, tongkol jagung, ampas pembuatan kertas serta ampas penggilingan tebu (Sembiring dan Sinaga, 2003; Lempang dkk., 2012). Cara penggunaan karbon yaitu dengan aktivasi. Karbon aktif memiliki daya serap tinggi karena memiliki volume pori yang dapat menyerap gas maupun residu dalam larutan (Harti dkk., 2014).

Energi elektrokimia merupakan salah satu sumber energi alternatif yang dapat memecahkan masalah ketersediaan energi. Sistem penyimpanan energi elektrokimia meliputi *fuel cell*, baterai, dan kapasitor. Kapasitor konvensional memiliki kerapatan daya yang relative tinggi, namun memiliki kepadatan energi

yang relative rendah bila dibandingkan dengan baterai. Baterai dapat menyimpan lebih banyak energi dibanding kapasitor, tetapi tidak dapat dilakukan pengisian ulang secara cepat, yang berarti kerapatan dayanya rendah. Disisi lain, kapasitor menyimpan energi per satuan massa atau volume relative lebih kecil, tapi energi listrik dapat disimpan dengan cepat dan menghasilkan banyak daya, sehingga kerapatan dayanya relative lebih tinggi. Saat ini, dibutuhkan teknologi yang memiliki rapat energi dan rapat daya yang lebih besar serta waktu pengisian ulang yang lebih singkat untuk memenuhi kebutuhan teknologi dimasa mendatang. Salah satu perangkat penyimpanan energi yang lebih efisien ialah superkapasitor. Superkapasitor, juga dikenal sebagai ultrakapasitor atau kapasitor elektrokimia yang memanfaatkan permukaan elektroda dan larutan elektrolit dielektrik tipis untuk mencapai kapasitansi beberapa kali lipat lebih besar dibandingkan kapasitor konvensional. Superkapasitor, sebagai alat penyimpan energi, telah digunakan secara luas pada bidang elektronik dan transportasi, seperti sistem telekomunikasi digital, komputer dan pulse laser system dan sebagainya. Superkapasitor memiliki kerapatan energi yang tinggi, kemampuan menyimpan energi yang besar, prinsip yang sederhana dan konstruksi yang mudah (Shukla dkk., 2000, Dell dan Rand, 2001; Riyanto, 2007; Zhu dkk., 2007).

Telah diprediksi sebelumnya bahwa kebutuhan manusia akan minyak bumi untuk menghasilkan energi akan tergantikan oleh biomassa, sehingga diperkirakan hampir 25% produksi bahan bakar transportasi dan bahan kimia pada tahun 2030 akan berasal dari biomassa. Potensi bahan baku terbesar untuk produk berbasis biomassa adalah biomassa lignoselulosa. Biomassa lignoselulosa, termasuk diantaranya residu pertanian, tanaman herba, hasil kehutanan, dan beberapa jenis

limbah, sebagian besar mengandung selulosa, hemiselulosa, dan lignin (Vanpelt, 2012). Limbah biomassa dapat menjadi pencemar apabila tidak dikelola dengan baik. Selama ini, limbah biomassa biasanya dibuang atau dibakar begitu saja dan belum dimanfaatkan secara optimal. Padahal, limbah biomassa sangat berpotensi menghasilkan zat kimia yang bernilai ekonomi (Ulfah dan Nurfaridah, 2014).

Pembuatan karbon aktif menggunakan berbagai jenis limbah pertanian telah banyak dilakukan (Yanti dkk., 2014). Salah satu limbah pertanian yang juga menarik perhatian untuk diteliti adalah sekam padi. Sekam merupakan hasil samping saat proses penggilingan padi dan menghasilkan limbah yang cukup banyak, yakni sebesar 20 % dari berat gabah. Pemanfaatan sekam padi secara komersial masih relatif rendah. Hal ini disebabkan oleh karakteristik sekam padi yaitu bersifat kasar, bernilai gizi rendah, memiliki kerapatan yang rendah, dan kandungan abu yang cukup tinggi. Sekam padi dianggap sebagai bahan yang kurang bermanfaat padahal sekam padi mengandung abu yang cukup tinggi dengan kandungan abu sebesar 13,16%-29,04% dari berat keringnya. Diperlukan tempat penyimpanan sekam padi yang luas sehingga biasanya sekam padi dibakar untuk mengurangi volumenya. Jika hasil pembakaran sekam padi ini tidak digunakan, akan menimbulkan masalah lingkungan (Ginanjar dkk., 2014; Hsu dan Luh, 1980; Agung dkk., 2013).

Meningkatnya penggunaan karbon aktif menumbuhkan kreativitas untuk memaksimalkan fungsi karbon, salah satunya dengan melakukan modifikasi pada permukaan karbon aktif. Modifikasi permukaan karbon aktif dilakukan untuk menambah gugus aktif. Gugus aktif yang akan ditambah merupakan gugus oksigen. Pada proses modifikasi permukaan karbon terdapat beberapa larutan oksidator yang

pernah digunakan dalam penelitian seperti H_2O_2 , NaOCl , $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$, AgNO_3 , H_3PO_4 , HNO_3 dan H_2SO_4 (Wibowo dkk, 2004; Harti dkk., 2014).

Cyclic voltammetry adalah teknik yang paling berguna dalam elektrokimia. Hal ini dapat memberikan informasi kualitatif secara tepat tentang katalis dan reaksi elektrokimia, seperti sebagai respon elektrokimia katalis dan aktivitas katalitik dari katalis sehubungan dengan beberapa reaksi elektrokimia (Song dan Zhang, 2008). *Cyclic Voltammetry* (CV) dapat digunakan untuk mengidentifikasi sifat-sifat elektrokimia dalam hal ini adalah sifat kapasitansi spesifik dari superkapasitor (Adhityawan dan Susanti, 2013). Pada penelitian ini akan dilakukan modifikasi permukaan karbon aktif sekam padi menggunakan H_2O_2 , HNO_3 dan H_2SO_4 dengan menggunakan metode *Cyclic Voltammetry* untuk menentukan nilai kapasitansi spesifik karbon aktif.

1.2 Rumusan Masalah

Masalah yang akan dikaji dalam penelitian ini dirumuskan sebagai berikut:

1. Berapa luas permukaan karbon sekam padi (*Oryza sativa*) sebelum dan sesudah aktivasi menggunakan aktivator H_3PO_4 ?
2. Bagaimana pengaruh modifikasi permukaan karbon aktif sekam padi (*Oryza sativa*) menggunakan HNO_3 , H_2SO_4 , dan H_2O_2 terhadap perubahan gugus fungsi?
3. Berapa nilai kapasitansi spesifik karbon aktif sekam padi (*Oryza sativa*) dengan menggunakan metode *Cyclic Voltammetry*?

1.3 Maksud dan Tujuan Penelitian

1.3.1 Maksud Penelitian

Penelitian ini dimaksudkan untuk mengetahui nilai kapasitansi spesifik karbon aktif sekam padi (*Oryza sativa*) dengan aktivator H_3PO_4 hasil modifikasi permukaan dengan HNO_3 , H_2SO_4 , dan H_2O_2 menggunakan metode *Cyclic Voltammetry*.

1.3.2 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah diatas, maka tujuan penelitian ini adalah:

1. Menentukan luas permukaan karbon sekam padi (*Oryza sativa*) sebelum dan sesudah aktivasi menggunakan aktivator H_3PO_4 ,
2. Menentukan pengaruh modifikasi permukaan karbon aktif sekam padi (*Oryza sativa*) menggunakan HNO_3 , H_2SO_4 , dan H_2O_2 terhadap perubahan gugus fungsi,
3. Mengetahui nilai kapasitansi spesifik karbon aktif sekam padi (*Oryza sativa*) dengan menggunakan metode CV (*Cyclic Voltammetry*).

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi antara lain:

1. Sebagai pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi terhadap pembuatan karbon aktif sekam padi hasil modifikasi sebagai bahan penyimpanan energi elektrokimia,
2. Memberikan data karakteristik karbon aktif sekam padi sebagai bahan penyimpan energi elektrokimia.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penyimpanan Energi Elektrokimia

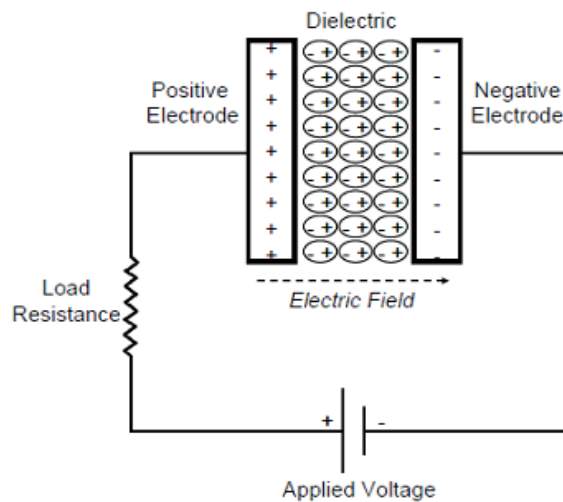
Selama beberapa dekade terakhir, telah dikembangkan teknologi alternatif berkelanjutan diantaranya energi surya, tenaga angin, biofuel, hidrogen, *fuel cell* dan baterai lithium-ion. Teknologi jenis baru ini mengalami kemajuan mengesankan dan membuat energi alternatif yang lebih praktis serta memiliki harga yang kompetitif dengan bahan bakar fosil. Diharapkan beberapa dekade mendatang akan energi alternative ini akan dapat menggantikan batu bara dan minyak sebagai bahan bakar utama (Candelaria dkk., 2012).

Konsumsi energi yang bergantung pada pembakaran bahan bakar fosil diperkirakan membawa dampak buruk bagi ekologi dan masa depan ekonomi dunia. Energi elektrokimia merupakan salah satu sumber energi alternatif yang perlu dipertimbangkan. Sistem penyimpanan energi elektrokimia meliputi *fuel cell*, baterai, dan kapasitor (Dell dan Rand, 2001; MIT, 2004; Winter dan Brodd, 2004).

2.2 Kapasitor

Kapasitor adalah komponen elektronika yang dapat menyimpan muatan listrik. Struktur sebuah kapasitor terdiri dari 2 buah plat metal yang dipisahkan oleh suatu bahan dielektrik. Bahan-bahan dielektrik yang umum dikenal misalnya udara vakum, keramik, gelas dan lain-lain. Jika kedua ujung plat metal diberi tegangan listrik, maka muatan-muatan positif akan mengumpul pada salah satu elektroda metalnya dan pada saat yang sama muatan-muatan negatif terkumpul pada ujung metal yang satu lagi. Muatan positif tidak dapat mengalir menuju ujung

kutubnegatif dan sebaliknya muatan negatif tidak bisa menuju ke ujung kutub positif, karena terpisah oleh bahan dielektrik yang non-konduktif. Muatan elektrik ini tersimpan selama tidak ada konduksi pada ujung-ujung elektrodanya. Di alam bebas, fenomena kapasitor ini terjadi pada saat terkumpulnya muatan-muatan positif dan negatif di awan (Helper dan Ellenboge, 2006).

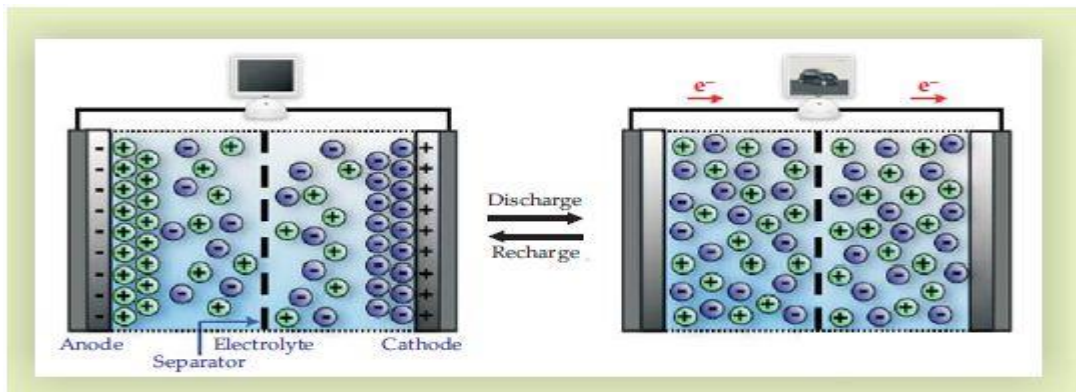


Gambar 1. Skema Kapasitor (Helper dan Ellenboge, 2006).

2.3 Superkapasitor

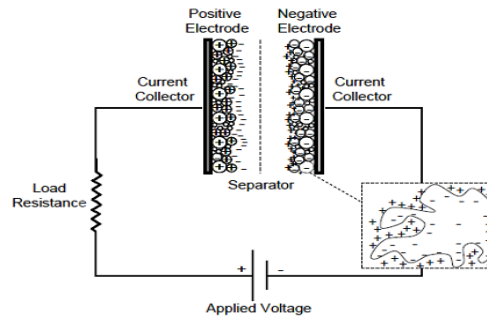
Energi listrik menjadi kebutuhan utama yang tidak dapat dielakkan dalam kehidupan yang serba modern ini. Berbagai teknologi yang ada saat ini, sebagian besar membutuhkan piranti penyimpanan energi listrik. Sebagai contohnya telepon selular dan laptop membutuhkan baterai sebagai piranti penyimpanan energi. Namun, kendalanya baterai memiliki rapat daya yang cukup kecil sehingga dibutuhkan waktu yang cukup lama untuk mengisi ulang (*charge*). Oleh sebab itu, dibutuhkan teknologi yang memiliki rapat energi dan rapat daya yang lebih besar sehingga waktu pengisian ulang lebih singkat. Salah satu perangkat penyimpanan energi yang lebih efisien dibandingkan baterai ialah superkapasitor. Superkapasitor memanfaatkan permukaan

elektroda dan larutan elektrolit dielektrik tipis untuk mencapai kapasitansi beberapa kali lipat lebih besar dibandingkan kapasitor konvensional (Riyanto, 2014).



Gambar 2. Proses *recharge* dan *discharge* pada superkapasitor (Abruna dkk., 2008)

Superkapasitor merupakan suatu kapasitor dengan nilai kapasitansi yang jauh lebih besar daripada kapasitor biasa. Hal yang membedakan superkapasitor dengan kapasitor konvensional adalah bahan elektrodanya serta larutan elektrolitnya (Abruna dkk, 2008). Pada superkapasitor elektroda yang dipakai berbasis pada material karbon, tidak seperti kapasitor biasa yang menggunakan metal. Selain itu, tidak seperti kapasitor konvensional, kedua elektroda tidak dipisahkan oleh dielektrik., efek kapasitansi superkapasitansi muncul akibat dua layer substrat karbon yang terpisah pada jarak sangat kecil skala nanometer. Luas permukaan elektroda dapat diperbesar karena range dari jarak antar layer superkapasitor berada pada skala nanometer, sehingga didapat suatu kapasitansi yang besar untuk ukuran divais yang sama dengan kapasitor konvensional. Superkapasitor memiliki keunggulan dibanding dengan baterai, keunggulan tersebut diantaranya yakni Life-cycle, waktu charge dan discharge yang cepat, dan memiliki rating charge dan discharge yang tinggi (Nugroho dkk., 2011).



Gambar 3. Skema Supercapacitor (Helper dan Ellenbogen, 2006)

2.4 Karbon Aktif

Karbon merupakan suatu padatan berpori yang mengandung 85-95% karbon, dihasilkan dari bahan-bahan yang mengandung karbon dengan pemanasan pada suhu tinggi. Ketika pemanasan berlangsung, diusahakan agar tidak terjadi kebocoran udara didalam ruangan pemanasan sehingga bahan yang mengandung karbon tersebut hanya terkarbonisasi dan tidak teroksidasi (Sembiring, 2003).

Karbon selain digunakan sebagai bahan bakar, juga dapat digunakan sebagai adsorben (penyerap). Daya serap ditentukan oleh luas permukaan partikel dan kemampuan ini dapat menjadi lebih tinggi jika terhadap karbon tersebut dilakukan aktivasi dengan aktivator bahan-bahan kimia ataupun dengan pemanasan pada temperatur tinggi. Dengan demikian, karbon akan mengalami perubahan sifat-sifat fisika dan kimia. Karbon yang demikian disebut sebagai karbon aktif. Karbon aktif mengandung 5 sampai 15% air, 2 sampai 3% abu dan sisanya terdiri dari karbon (Sembiring, 2003; Nurdiansah dan Susanti, 2013).

Karbon aktif merupakan senyawa karbon amorf, yang dapat dihasilkan dari bahan-bahan yang mengandung karbon atau dari karbon yang diperlakukan dengan cara khusus untuk mendapatkan permukaan yang lebih luas. Luas permukaan karbon aktif berkisar antara 300-3500 m²/gram dan ini berhubungan dengan

struktur pori internal yang menyebabkan karbon aktif mempunyai sifat sebagai adsorben. Karbon aktif dapat mengadsorpsi gas dan senyawa-senyawa kimia tertentu atau sifat adsorpsinya selektif, tergantung pada besar atau volume pori-pori dan luas permukaan. Daya serap karbon aktif sangat besar, yaitu 25-1000% terhadap berat karbon aktif. Karbon aktif dapat dibuat dari berbagai macam bahan baku yang mempunyai kandungan karbon cukup tinggi dengan berbagai macam cara pengolahan yang berbeda-beda (Sembiring, 2003; Wibowo dkk., 2004).

Sembiring (2003) mengemukakan bahwa proses pembuatan arang aktif terdiri dari tiga tahap yaitu:

- a) Dehidrasi, yaitu proses penghilangan air.
- b) Karbonisasi, yaitu proses pemecahan bahan-bahan organik menjadi karbon.

Temperatur diatas 170 °c akan menghasilkan CO, CO₂ dan asam asetat.

Pada temperatur 275 °C, dekomposisi menghasilkan tar, metanol dan hasil sampingan lainnya. Pembentukan karbon terjadi pada temperatur 400 – 600 °C.

- c) Aktivasi yaitu proses perluasan pori-pori.

Proses aktivasi merupakan suatu perlakuan terhadap arang yang bertujuan untuk memperbesar pori yaitu dengan cara memecahkan ikatan hidrokarbon atau mengoksidasi molekul-molekul permukaan sehingga arang mengalami perubahan sifat, baik fisika maupun kimia, yaitu luas permukaannya bertambah besar dan berpengaruh terhadap daya adsorpsi. Pada umumnya karbon aktif dapat di aktivasi dengan dua cara, yaitu dengan cara aktivasi kimia dengan hidroksida logamalkali, garam-garam karbonat, klorida, sulfat, fosfat dari logam alkali tanah dan khususnya ZnCl₂, CaCl₂, asam-asam anorganik seperti H₂SO₄ dan H₃PO₄ dan aktivasi fisika

yang merupakan proses pemutusan rantai karbon dari senyawa organik dengan bantuan panas pada suhu 800°C hingga 900°C (Jamilatun, 2014).

Arang yang dihasilkan melalui proses karbonisasi bahan baku, sebagian besar pori-porinya masih tertutup oleh hidrokarbon, ter, dan komponen lain, seperti abu, air, nitrogen, dan sulfur, sehingga keaktifannya atau daya serapnya rendah. Untuk meningkatkan daya serap arang, maka bahan tersebut dapat diubah menjadi arang aktif melalui proses aktivasi (Lempang, 2014). Pada prinsipnya arang aktif dapat dibuat dengan dua cara, yaitu cara kimia dan cara fisika (Manocha, 2003).

- a. Aktivasi cara kimia pada prinsipnya adalah perendaman arang dengan senyawa kimia sebelum dipanaskan. Pada proses pengaktifan secara kimia, arang direndam dalam larutan pengaktifasi selama 24 jam, lalu ditiriskan dan dipanaskan pada suhu 600- 900 °C selama 1 - 2 jam. Pada suhu tinggi bahan pengaktif akan masuk di antara sela-sela lapisan heksagonal dan selanjutnya membuka permukaan yang tertutup. Bahan kimia yang dapat digunakan yaitu H_3PO_4 , NH_4Cl , $AlCl_3$, HNO_3 , KOH , $NaOH$, $KMnO_4$, SO_3 , H_2SO_4 dan K_2S . Pemakaian bahan kimia sebagai bahan pengaktif sering mengakibatkan pengotoran pada arang aktif yang dihasilkan. Umumnya aktivator meninggalkan sisa-sisa berupa oksida yang tidak larut dalam air pada waktu pencucian. Oleh karena itu, dalam beberapa proses sering dilakukan pelarutan dengan HCl untuk mengikat kembali sisa-sisa bahan kimia yang menempel pada permukaan arang aktif dan kandungan abu yang terdapat dalam arang aktif.
- b. Aktivasi arang secara fisika menggunakan oksidator lemah, misalnya uap air, gas CO_2 , N_2 , O_2 dan gas pengoksidasi lainnya. Oleh karena itu, pada

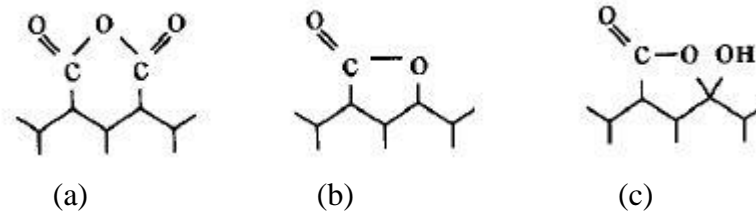
proses ini tidak terjadi oksidasi terhadap atom-atom karbon penyusun arang, akan tetapi oksidator tersebut hanya mengoksidasi komponen yang menutupi permukaan pori arang. Prinsip aktivasi ini dimulai dengan mengalir gas-gas ringan, seperti uap air, CO_2 , atau udara ke dalam retort yang berisi arang dan dipanaskan pada suhu 800-1000 °C. Pada suhu di bawah 800 °C, proses aktivasi dengan uap air atau gas CO_2 berlangsung sangat lambat, sedangkan pada suhu di atas 1000 °C, akan menyebabkan kerusakan struktur kisi-kisi heksagonal arang.

2.5 Modifikasi Permukaan

Struktur kimia pada permukaan karbon dan distribusi ukuran pori sangat tergantung dari bahan baku dan metode pembuatan yang digunakan. Perbedaan struktur kimia dan distribusi ukuran pori tersebut akan memberikan sifat dan mekanisme adsorpsi yang berbeda pula (Wibowo dkk., 2004).

Sifat adsorpsi dari suatu karbon aktif sangat dipengaruhi oleh adanya gugus oksida pada permukaan karbon tersebut. Gugus oksida tersebut terbentuk akibat adanya adsorpsi kimia antara permukaan karbon dan oksigen yang ada di udara. Adsorpsi kimia oksigen tersebut terjadi pada suhu tinggi yaitu sekitar 300-420 °C. Gugus oksida tersebut dapat dibentuk dengan menambahkan beberapa jenis oksidator seperti H_2O_2 , NaOCl , $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$, AgNO_3 , HNO_3 , dan H_2SO_4 pada rentang suhu 20-100°C. Oksidasi dengan HNO_3 merupakan metode yang paling sering digunakan karena sifat-sifat oksidasinya dapat di kontrol dengan mengatur suhu dan konsentrasi asam. Akan tetapi, oksidasi dengan HNO_3 juga menyebabkan beberapa masalah, yaitu menyebabkan berkurangnya luas permukaan spesifik dan porositas karbon aktif, serta lepasnya gas NO_2 selama reaksi. Gugus oksida pada

permukaan karbon aktif ini dapat bersifat asam atau basa dan dapat ditentukan dengan mudah dengan menggunakan titrasi. Gugus oksida permukaan karbon dapat bersifat asam karena adanya pengaruh dari gugus karboksilat, laktol dan gugus hidroksil fenol (Wibowo dkk, 2004).



Gambar 4. Gugus oksida yang menyebabkan asam: (a) gugus karboksil (b) gugus lakton (c) gugus laktol

Berlainan dengan gugus aktif yang bersifat asam yang telah diketahui dengan pasti, gugus aktif dari karbon aktif yang bersifat basa masih belum dapat dipahami secara pasti. sifat basa dari permukaan karbon diperkirakan karena adanya ikatan pada lapisan grafit karbon. Adanya struktur pyrone pada lapisan poliaromatik dari karbon juga akan menyebabkan sifat basa tersebut. Dengan adanya gugus yang bersifat asam dan basa ini akan mempengaruhi kemampuan adsorpsi suatu karbon aktif terhadap suatu senyawa (Wibowo dkk, 2004).

Sifat asam dari permukaan karbon ini dapat dideteksi dengan proses netralisasi yang menggunakan larutan NaHCO_3 , Na_2CO_3 , dan NaOH . Hal ini berdasarkan asumsi bahwa NaHCO_3 hanya menetralkan gugus karboksil pada permukaan karbon, Na_2CO_3 menetralkan gugus karboksil, lakton serta gugus fenol (Boehm, 2002).

2.6 Sekam Padi Sebagai Sumber Karbon Aktif

Indonesia memiliki sawah seluas 12,84 juta hektar yang menghasilkan padi sebanyak 65,75 juta ton. Limbah sekam padi yang dihasilkan sebanyak 8,2 sampai

10,9 ton. Potensi limbah yang besar ini hanya sedikit yang baru dioptimalkan. Secara tradisional, sekam padi biasanya hanya digunakan sebagai bahan bakar konvensional (Danarto dkk, 2010).

Sekam padi merupakan bagian pelindung terluar dari padi (*Oryza sativa*). Dari proses penggilingan dihasilkan sekam sebanyak 20-30%, dedak 8-12% dan beras giling 52% bobot awal gabah. Pada proses penggilingan padi, sekam akan terpisah dari butiran beras dan menjadi bahan sisa atau limbah penggilingan. Karena bersifat abrasif, nilai nutrisi rendah, *bulk density* rendah, serta kandungan abu yang tinggi membuat penggunaan sekam padi terbatas. Diperlukan tempat penyimpanan sekam padi yang luas sehingga biasanya sekam padi dibakar untuk mengurangi volumenya. Jika hasil pembakaran sekam padi ini tidak digunakan, akan menimbulkan masalah lingkungan (Hsu dan Luh, 1980).

Sekam padi, seperti biomassa pada umumnya, dapat digunakan sebagai bahan baku untuk konversi bahan kimia seperti pada pembuatan etanol. Sekam padi mengandung 28,6 % hemiselulosa, 28,6 % selulosa dan 24,4 % lignin. Komposisi sekam padi yang terdiri dari hemiselulosa dan selulosa yang dapat mengalami hidrolisis menjadi karbohidrat dan lebih lanjut akan dikonversi menjadi etanol (Lim, 2012).

Salah satu proses alternatif untuk meningkatkan manfaat sekam padi adalah dengan pirolisis. Pirolisis merupakan proses dekomposisi suatu zat/ material yang dilakukan pada suhu relatif tinggi. Hasil pirolisis sekam padi berupa *char* mengandung karbon dan silika dengan komposisi tergantung pada kondisi pirolisis (Danarto dkk., 2010).

2.7 Luas Permukaan

Luas permukaan merupakan salah satu parameter untuk menentukan kualitas suatu material berpori (Ding, 2013). Luas permukaan dapat ditentukan dengan menggunakan data dari metilen biru, yang dirumuskan sebagai berikut (Ramdja dkk., 2008):

$$X_m = (C_o - C_e) \times V \text{ larutan (L) / massa karbon aktif (g)} \quad (1)$$

$$S = X_m \cdot N \cdot a / M_r \quad (2)$$

Keterangan:

- S = Luas Permukaan Adsorben (m^2/g)
N = bilangan Avogadro ($6,022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$)
X_m = massa adsorbat yang teradsorpsi (mg/g)
a = luas penutupan oleh 1 molekul metilen biru ($197 \times 10^{-20} \text{ m}^2$)
M_r = massa molekul relatif metilen biru ($320,5 \text{ g/mol}$)
C_o dan C_e = konsentrasi awal dan konsentrasi akhir (ppm)
V = volume metilen biru (L)

2.8 Cyclic Voltammetry (CV)

Cyclic voltammetry (CV) merupakan suatu pengukuran untuk menentukan nilai kapasitansi sel elektrokimia dari material karbon dengan laju scan dari tegangan awal sampai tegangan akhir. CV dapat digunakan sebagai pengatur aliran ion dalam proses perubahan sifat nanopartikel dan karakterisasi sifat potensial suatu bahan, selain itu juga dapat digunakan untuk mengukur sifat kapasitansi superkapasitor. Pengukuran superkapasitor menggunakan CV menampilkan hubungan antara arus dan potensial, sehingga dapat diperoleh data hubungan arus dan potensial yang ditentukan tiga atau dua elektroda (Mulyani dkk., 2012).

Pada pengukuran menggunakan siklik voltametri, potensiostat mengontrol potensial yang melewati elektroda kerja untuk mengubah potensial secara perlahan kembali ke potensial awal. Metode siklik voltametri ini berguna untuk mempelajari karakteristik elektrokimia dari analit dengan cara melakukan pemindaian potensial dengan kecepatan pemindaian tertentu dan dilakukan pada arah potensial sebaliknya. Arus yang dihasilkan pada elektroda kerja dialurkan terhadap potensial yang diberikan dan disebut sebagai voltamogram (Gosser, 1993).

Besar kecilnya kapasitansi spesifik karbon aktif dipengaruhi oleh luas permukaan karbon aktif. Meningkatnya luas permukaan dari karbon yang digunakan akan menyebabkan semakin banyak ion baik kation maupun anion yang mampu terjerap dalam elektroda sehingga meningkatkan kapasitansi (Wati dkk, 2015; Ariyanto dkk, 2012).

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu sekam padi, NaOH (Merck), akuades, larutan HNO₃ teknis, larutan H₂SO₄ teknis, larutan H₂O₂ teknis, kawat tembaga, kawat platina, elektroda Ag/AgCl, elektroda Pt, larutan natrium bikarbonat (0,05 N), natrium karbonat (0,05 N), natrium hidroksida (0,05 N), asam klorida (0,05 N), natrium tetraborat, kertas saring Whatman nomor 42 diameter 90, indikator penolftalein, aluminium foil, kertas pH universal, kertas saring biasa, parafin, parafilm dan *tissue roll*.

3.2 Alat Penelitian

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu tanur (*Muffle Furnace* tipe 6000), cawan porselin, pengaduk magnetik (Fisher tipe 115), ayakan ukuran 100 mesh, desikator, penangas air (*hot plate*), *magnetic bar*, batang pengaduk, gelas piala, spatula, cawan petri, mikroburet, statif, corong Buchner, alat gelas laboratorium, termometer, lumpang, neraca analitik (Shimadzu AW220), XRF (ThermoFisherXRF), labu semprot plastik, pompa vakum (Vacuubrand tipe ME4C), oven (tipe SPNISOSFD), pengaduk magnetik (CERAMAG Midi), FTIR (Shimadzu, IR Prestige21) dan *Cyclic Voltammetry* (Aplikasi eDAQ ED410-159).

3.3 Tempat dan Waktu Pengambilan Sampel

Pengambilan sampel sekam padi dilakukan di Barru pada bulan April 2016.

3.4 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Kimia Fisika, Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin Makassar pada bulan Mei 2016 hingga Maret 2017. Analisis sampel dilakukan di

Laboratorium Kimia Terpadu Jurusan Kimia, dan Laboratorium Penelitian dan Pengembangan Sains, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin Makassar.

3.5 Prosedur Penelitian

3.5.1 Preparasi Sampel

Sampel sekam padi yang diambil dari lokasi *sampling* kemudian dibawa ke Laboratorium Kimia Fisika Fakultas MIPA Universitas Hasanuddin. Selanjutnya sekam padi dicuci hingga bersih kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 110 °C selama 1 jam (Zakir dkk., 2012).

3.5.2 Proses Karbonisasi

Sampel yang telah bersih dan kering dimasukkan dalam cawan porselin, lalu dipanaskan dalam tanur pada suhu pada suhu 350 °C selama 30 menit. Setelah itu, karbon sekam padi didinginkan, digerus dan diayak hingga berukuran 100 mesh.

3.5.3 Ekstraksi Silika

Hasil karbon yang telah dikarbonisasi diekstraksi silikanya untuk mendapatkan karbon yang bebas silika. Serbuk karbon ditambahkan dengan NaOH 8 M dan tanpa penambahan NaOH sebagai pembanding, dengan perbandingan massa karbon dengan volume NaOH adalah 1 : 30 (b/v). Sampel kemudian diaduk selama 1 jam dengan suhu 100 °C. Campuran kemudian disaring dengan menggunakan whatman 42. Filtrat kemudian dibuang, sedangkan endapan karbon yang dihasilkan dicuci dengan akuades lalu dikeringkan dalam oven pada suhu 100 °C selama 2 jam. Selanjutnya serbuk hasil karbon dikarakterisasi dengan XRF (Wei dkk., 2011).

3.5.4 Aktivasi

Karbon kemudian diaktivasi menggunakan larutan aktivator H_3PO_4 25% dengan perbandingan volume H_3PO_4 /massa karbon 4:1, 5:1, dan 6:1, dan didiamkan selama 1x24 jam. Setelah itu, larutan disaring menggunakan corong Buchner disertai pencucian dengan akuades panas secara berulang-ulang hingga pH netral, kemudian dikeringkan dalam oven pada temperatur $100\text{ }^\circ\text{C}$ selama 2 jam. Selanjutnya, karbon aktif sekam padi didinginkan dalam desikator (Andhika dkk., 2015)

3.5.5 Modifikasi Permukaan

Karbon yang sudah teraktivasi dicampur agen kimia pengoksidator masing-masing dengan HNO_3 , H_2SO_4 , dan H_2O_2 masing-masing dengan perbandingan massa 5:1 (mL zat kimia: gram karbon aktif) kemudian dikocok dengan laju konstan (130 rpm) selama 24 jam. Selanjutnya dicuci dengan akuades berulang kali hingga mendapatkan pH netral. Dikeringkan dalam oven selama 4 jam pada suhu 100°C (Ismanto dkk., 2010).

3.5.6 Karakterisasi Permukaan Karbon Aktif

3.5.6.1 Karakterisasi Permukaan Karbon Aktif Secara Kimia dengan Metode Boehm

Analisis gugus asam dilakukan dengan merendam 0,5 gram karbon aktif ke dalam masing-masing larutan NaHCO_3 0,05 N, Na_2CO_3 0,05 N dan NaOH 0,05 N sebanyak 50 mL. Campuran didiamkan selama 24 jam dan disaring. Sebanyak 5 mL masing-masing filtrat dipipet dan dimasukkan ke dalam Erlenmeyer kemudian ditambahkan larutan HCl 0,05 N berlebih dan 2-3 tetes indikator Penolftalein.

Analit tersebut dititrasi balik menggunakan NaOH 0,05 N. Analisis gugus basa dilakukan dengan merendam 0,5 gram karbon aktif dalam HCl 0,05 N sebanyak 50 mL. Campuran didiamkan selama 24 jam dan disaring. Filtrat yang dihasilkan, dipipet sebanyak 5 mL ke dalam Erlenmeyer kemudian ditambahkan NaOH 0,05 N berlebih dan 2-3 tetes indikator Penolftalein. Campuran dititrasi balik dengan HCl 0,05 N (Ismanto dkk., 2010; Harti dkk., 2014; Grandistin, 2014).

3.5.6.2 Karakterisasi Gugus Fungsi dengan FTIR

Karakterisasi FTIR dilakukan dengan menggunakan FTIR model Shimadzu 820 IPC di Laboratorium Kimia Terpadu Jurusan Kimia FMIPA Unhas dengan preparasi sampel metode pellet KBr. Preparasi sampel dilakukan dengan 1-10 mg sampel dihaluskan dan dicampur dengan 100 mg KBr dan dicetak menjadi cakram tipis atau pelet lalu dianalisis (Labanni' dkk., 2015).

3.5.6.2 Karakterisasi Fisika Karbon Aktif Sekam Padi dengan XRF

Karakterisasi XRF dilakukan menggunakan XRF tipe EDXRF Analyzer ARL Quant'X Thermo Scientific di Laboratorium Terpadu Science Building MIPA Unhas. Sebelum dianalisis, sampel terlebih dahulu dihaluskan sampai berukuran kurang lebih 100 mesh. Sampel karbon aktif kemudian ditempatkan di bawah sampel *holder* dan dipastikan bagian bawah sampel *holder* yang berupa plastik tipis tertutupi secara merata dengan sampel (Labanni' dkk., 2015).

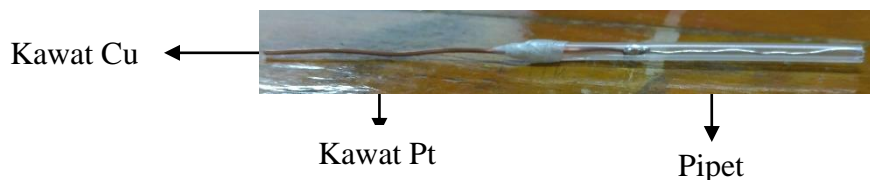
3.5.6.3 Karakterisasi Luas Permukaan dengan Metode Metilen Biru

Luas permukaan ditentukan dengan menggunakan metilen biru berdasarkan kemampuan adsorpsi karbon terhadap senyawa metilen biru, dimana 0,3 gram karbon aktif sekam padi dicampurkan dengan 50 mL larutan metilen biru 300 ppm

kemudian distirer selama 20 menit. Selanjutnya campuran disaring, kemudian filtrat yang dihasilkan diukur absorbansinya pada panjang gelombang maksimum, adapun larutan standar dibuat dari larutan metilen biru dengan konsentrasi 1, 2, 4, 8 dan 16 ppm yang diukur absorbansinya pada panjang gelombang maksimum lalu dibuat kurva kalibrasi untuk menentukan konsentrasi sampel (Labanni' dkk., 2015).

3.5.7 Pembuatan Elektroda Karbon

Badan elektroda dibuat dengan menghubungkan kawat tembaga dan platina menggunakan solder uap. Setelah itu dimasukkan ke dalam pipet dan direkatkan menggunakan parafilm. Badan elektroda diperlihatkan pada gambar berikut.



Gambar 5. Badan Elektroda

Karbon aktif dicampur dengan lilin parafin dengan perbandingan massa karbon/massa lilin parafin adalah 1 : 2 dan diaduk sampai homogen menggunakan spatula pada cawan petri. Setelah itu, pasta karbon dimasukkan ke dalam badan elektroda dengan cara ditekan menggunakan spatula agar memadat (Vytras dkk., 2009; Wachid dan Setiarso, 2014).

3.5.8 Pengukuran Kapasitansi Spesifik

Elektroda pasta karbon diukur kapasitansi spesifik penyimpanan energinya dengan menggunakan teknik *cyclic voltammetry*. Pengukuran ini menggunakan alat Potentiostats EA161 dengan tiga elektroda yaitu elektroda Pt, elektroda Ag/AgCl dan elektroda pasta karbon. Pengujian elektroda dilakukan dengan laju *scan* 100

mV/s menggunakan larutan elektrolit H_2SO_4 0,1 M sehingga diperoleh voltamogram tegangan dan arus, kemudian dihitung nilai kapasitansi spesifik penyimpanannya (Himmaty dan Endarko, 2013).

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Preparasi Sampel Sekam Padi

Pembuatan karbon sekam padi ini dimulai dengan pengambilan sekam padi, karbonisasi dan aktivasi. Sekam padi diambil di Kabupaten Barru.

Sebelum dikarbonisasi, sampel terlebih dahulu disiapkan. Penyiapan sampel meliputi pencucian dan pengeringan. Pencucian dengan akuades berulang-ulang dengan tujuan menghilangkan kotoran yang menempel pada sekam padi. Pengeringan di bawah sinar matahari dan di dalam oven pada suhu 110 °C selama 1 jam untuk menghilangkan kadar air yang terdapat dalam sekam padi (Zakir dkk., 2012).

4.2 Karbonisasi

Karbonisasi yaitu proses penguraian selulosa organik menjadi unsur karbon, serta mengeluarkan senyawa-senyawa non karbon (Lempang, 2014). Proses karbonisasi sekam padi dilakukan pada suhu 350° C selama 30 menit. Karbon yang dihasilkan kemudian diayak dengan ayakan berukuran 100 mesh untuk menghasilkan karbon yang berukuran homogen.

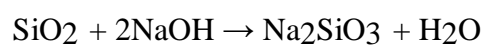
4.3 Ekstraksi Silika

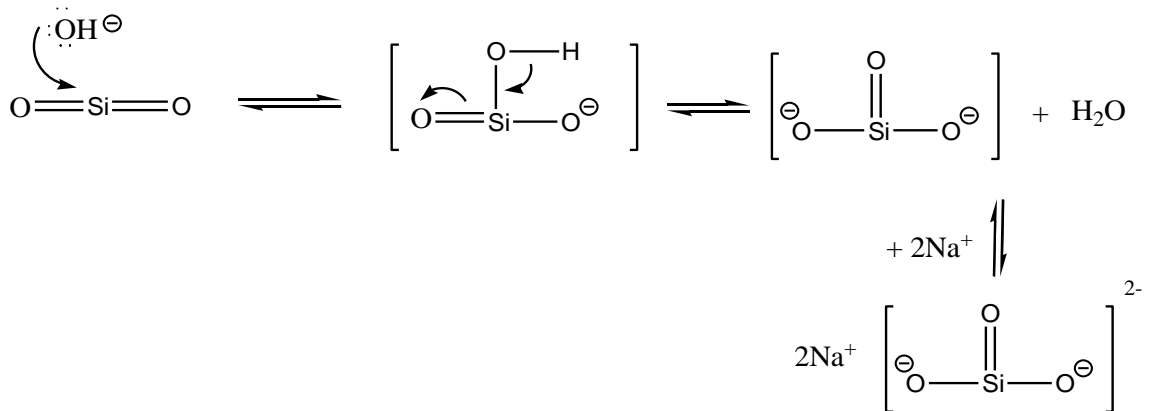
Setelah melalui proses karbonisasi, karbon kemudian analisis dengan XRF untuk menunjukkan kandungan silika yang terkandung pada sekam padi. Hasil XRF menunjukkan karbon sekam padi mengandung SiO₂ 96,144%. Proses ekstraksi silika akan memberi struktur awal sehingga lebih murni dan membentuk ruang yang lebih banyak di dalam karbon aktif (Wei dkk, 2011). Berikut ini adalah tabel hasil analisis dengan XRF.

Tabel 1. Kandungan Senyawa Oksida pada Sekam Padi Hasil Analisa dengan XRF

Senyawa	Sebelum Ekstraksi (% b/b)	Setelah Ekstraksi (% b/b)
SiO ₂	96,144	34,03
CaO	1,03	36,03
K ₂ O	0,934	0,76
P ₂ O ₅	0,67	6,54
Fe ₂ O ₃	0,474	16,45
MnO ₂	0,212	4,64
Cl	0,151	-
ZnO ₂	0,0462	-
Nb ₂ O ₅	0,0111	0,073
MoO ₃	0,0086	0,045
SrO	0,0067	
Sb ₂ O ₃	-	0,042
In ₂ O ₃	-	0,0283

Pada karbon sekam padi terkandung 13 senyawa oksida yang lebih didominasi oleh SiO₂ sebesar 96,144 %. Setelah proses ekstraksi silika, hasil XRF menunjukkan kandungan SiO₂ sebesar 34,03 % dari total seluruh senyawa yang terkandung dalam karbon. Dengan berkurangnya kandungan silika dalam karbon, presentase senyawa CaO meningkat yakni sebesar 36,03 %. Ekstraksi silika pada penelitian ini menggunakan larutan NaOH. Mekanisme pembentukan Na₂SiO₃ dari NaOH dan Silika dapat dilihat pada Gambar 6.





Gambar 6. Mekanisme reaksi pembentukan Na_2SiO_3 (Mujiyanto dkk., 2010)

Adanya 2 atom O pada SiO_2 menyebabkan Si bersifat lebih elektropositif yang menyebabkan OH^- dapat mudah membentuk intermediet $[\text{SiO}_2\text{OH}]^-$. Ion hidroksil yang kedua akan berikatan dengan hidrogen membentuk molekul air. Selanjutnya dehidrogenasi akan terjadi. Dua ion Na^+ akan menyeimbangkan muatan negatif yang terbentuk dan berinteraksi dengan ion SiO_3^{2-} sehingga terbentuk natrium silikat yang larut (Mujiyanti dkk., 2010).

4.3 Aktivasi Karbon Sekam Padi

Aktivasi merupakan proses untuk mengilangkan hidrokarbon yang melapisi permukaan arang sehingga dapat meningkatkan porositas karbon. Proses aktivasi dibedakan menjadi 2 bagian, yaitu aktivasi fisika dan aktivasi kimia. Pada penelitian ini dilakukan aktivasi kimia karena lebih menguntungkan dibandingkan aktivasi fisika (Ramdja dkk., 2008).

Zat aktivator yang digunakan dalam penelitian adalah H_3PO_4 . Penggunaan aktivator H_3PO_4 ini sesuai dengan teori yang dikemukakan Hsu dan Teng (2000) dalam pembuatan karbon aktif dengan aktivasi kimia, aktivator yang lebih baik digunakan untuk material lignoselulosa, ialah aktivator yang bersifat asam, seperti

ZnCl₂ dan H₃PO₄, dibandingkan dengan aktivator yang bersifat basa, seperti KOH. Hal ini karena material lignoselulosa memiliki kandungan oksigen yang tinggi dan aktivator yang bersifat asam tersebut bereaksi dengan gugus fungsi yang mengandung oksigen, sedangkan untuk aktivator KOH lebih dapat bereaksi dengan karbon sehingga bahan baku yang memiliki kandungan karbon yang tinggi lebih baik menggunakan aktivator KOH.

Pembuatan karbon aktif sekam padi diawali dengan menambahkan zat aktivator H₃PO₄ 25 % dengan variasi perbandingan volume H₃PO₄ (mL)/ massa karbon (gram) adalah 4:1; 5:1; dan 6:1 yang direndam selama 24 jam. Perendaman bertujuan untuk menjamin keberlangsungan proses difusi aktivator ke bagian pori karbon. Karbon hasil aktivasi H₃PO₄ selanjutnya masuk ke dalam tahap pencucian. Pencucian dilakukan untuk menghilangkan sisa aktivator H₃PO₄ dan zat-zat hasil reaksi sewaktu proses aktivasi yang mungkin menutupi permukaan pori-pori karbon aktif. Jika permukaan pori-pori karbon aktif tertutup oleh zat-zat hasil reaksi maka luas permukaan akan semakin rendah. Pada tahap pencucian, karbon aktif hasil aktivator H₃PO₄ dicuci dengan akuades dingin sampai pH netral. Karbon aktif yang telah dicuci kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 100 °C untuk menghilangkan sisa-sisa air pada karbon.

4.5 Penentuan Luas Permukaan Karbon Aktif Sekam Padi

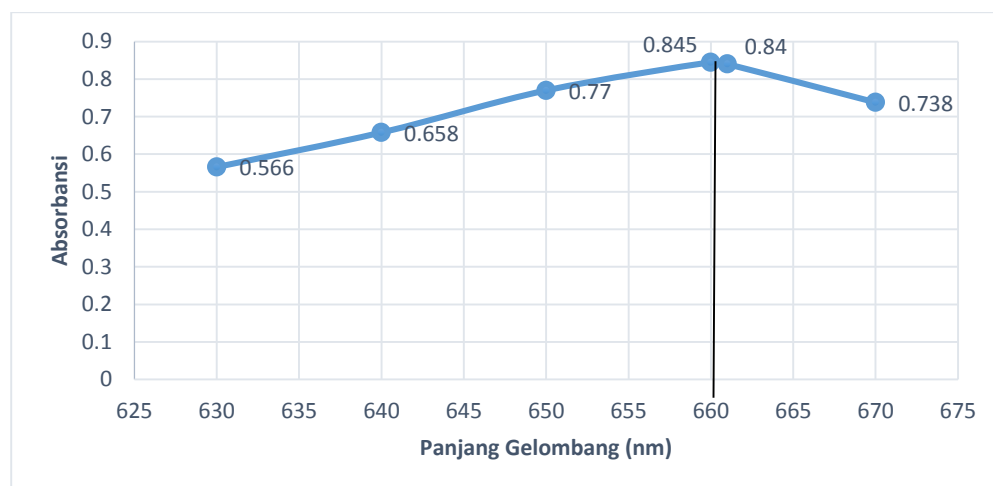
Karbon aktif kulit Sekam Padi yang telah diaktivasi ditentukan luas permukaannya dengan metode adsorpsi metilen biru. Adsorpsi metilen biru merupakan salah satu metode yang digunakan untuk menentukan luas permukaan berdasarkan daya serap metilen biru. Banyaknya metilen biru yang diadsorpsi sebanding dengan luas permukaan adsorben. Penentuan panjang gelombang

maksimum dilakukan dengan menggunakan metilen biru 4 ppm yang diukur absorbansinya pada rentangan gelombang 610-661 nm. Panjang gelombang maksimum yang diperoleh adalah 660 nm, yang dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Penentuan Panjang Gelombang Maksimum Metilen Biru

Panjang Gelombang (nm)	Absorbansi
630	0.566
640	0.658
650	0.770
660	0.845
661	0.840
670	0.738

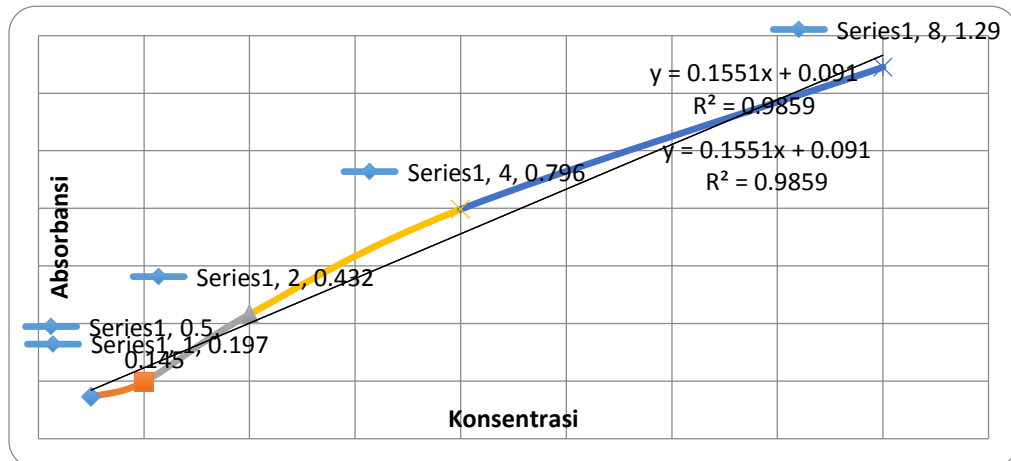
Hubungan absorbansi dan panjang gelombang pada metilen biru ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Grafik Hubungan Absorbansi dan Panjang Gelombang

Berdasarkan Gambar 7 dapat diketahui bahwa panjang gelombang maksimum metilen biru yaitu 660 nm. Setelah penentuan panjang gelombang

maksimum, dapat ditentukan kurva deret standar dari metilen biru. Grafik penentuan kurva deret standar ditunjukkan oleh Gambar 8.



Gambar 8. Penentuan Kurva Deret Standar Metilen Biru pada Panjang Gelombang 660 nm

Berdasarkan grafik diatas dapat diperoleh persamaan $y = 0,155x + 0,091$ dengan nilai $R^2 = 0,985$. Persamaan yang diperoleh digunakan untuk menentukan konsentrasi metilen biru yang telah diadsorpsi oleh karbon. Konsentrasi metilen biru dapat dihitung dengan rumus:

$$(C_o - C_e) \times V \text{ larutan (L)} = \text{massa karbon aktif (g)}$$

Setelah menghitung konsentrasi metilen biru yang teradsorpsi, dapat ditentukan luas permukaan metilen biru berdasarkan rumus:

$$X_m \cdot N \cdot aM$$

Tabel 3. Luas Permukaan Karbon Sekam Padi

Karbon Sekam Padi	Luas Permukaan
Sebelum Aktivasi	81,147
Aktivasi 1:4	178,687
Aktivasi 1:5	83,008
Aktivasi 1:6	113,993

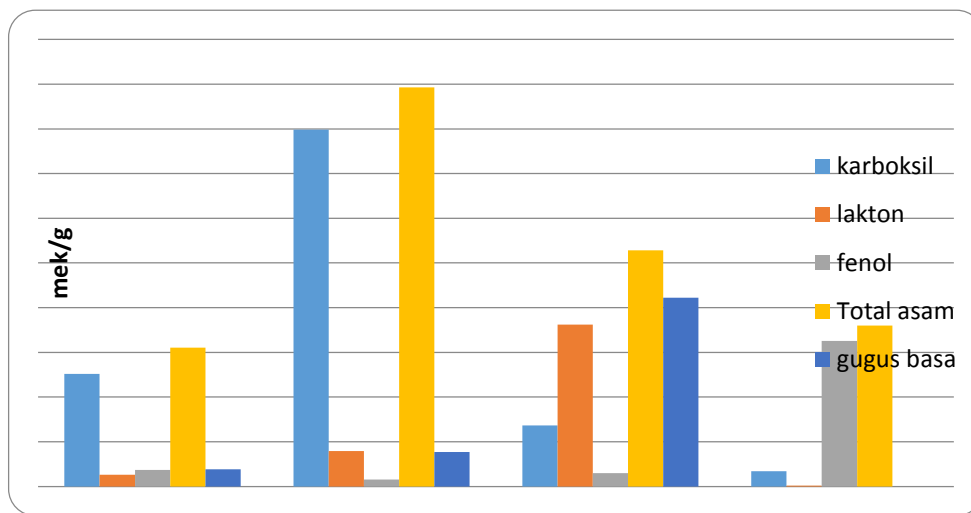
Tabel 3 merupakan luas permukaan sekam padi sebelum dan sesudah aktivasi dengan berbagai variasi yakni 1:4; 1:5; dan 1:6 dan diperoleh luas permukaan paling luas yakni pada aktivasi dengan perbandingan antara karbon dan aktivator 1 : 4. Meningkatnya luas permukaan dari karbon yang digunakan akan menyebabkan semakin banyak ion baik kation maupun anion yang mampu terjerap dalam elektroda yang selanjutnya akan memengaruhi besarnya kapasitansi spesifik (Ariyanto dkk., 2012).

4.6 Modifikasi Permukaan Karbon Aktif Kulit Sekam Padi

Sifat adsorpsi dari suatu karbon aktif sangat dipengaruhi oleh adanya gugus oksida pada permukaan karbon tersebut. Gugus oksida pada permukaan karbon aktif ini dapat bersifat asam atau basa dan dapat ditentukan dengan mudah dengan menggunakan titrasi. Gugus oksida permukaan karbon dapat bersifat asam karena adanya pengaruh dari gugus karboksilat, laktol dan gugus hidroksil fenol (Wibowo dkk, 2004).

Sifat asam dari permukaan karbon dapat dideteksi dengan proses netralisasi yang menggunakan larutan NaHCO_3 , Na_2CO_3 , dan NaOH . Hal ini berdasarkan asumsi bahwa NaHCO_3 hanya menetralkan gugus karboksil pada permukaan

karbon, Na_2CO_3 menetralkan gugus karboksil, lakton serta gugus fenol (Boehm, 2002). Kehadiran gugus-gugus fungsi yang mengandung oksigen seperti karbonil, karboksil, hidroksil, dan kuinon dari hasil modifikasi permukaan dengan HNO_3 , H_2SO_4 , dan H_2O_2 dikarakterisasi dengan menggunakan metode titrasi Boehm (*back titration*) dan ditunjang oleh analisis menggunakan FTIR. Konsentrasi gugus asam dan gugus basa dari karbon aktif sebelum dan setelah modifikasi ditentukan melalui metode titrasi Boehm seperti yang diperlihatkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Perbandingan konsentrasi gugus fungsi karbon aktif sebelum dan setelah modifikasi HNO_3 , H_2SO_4 , dan H_2O_2

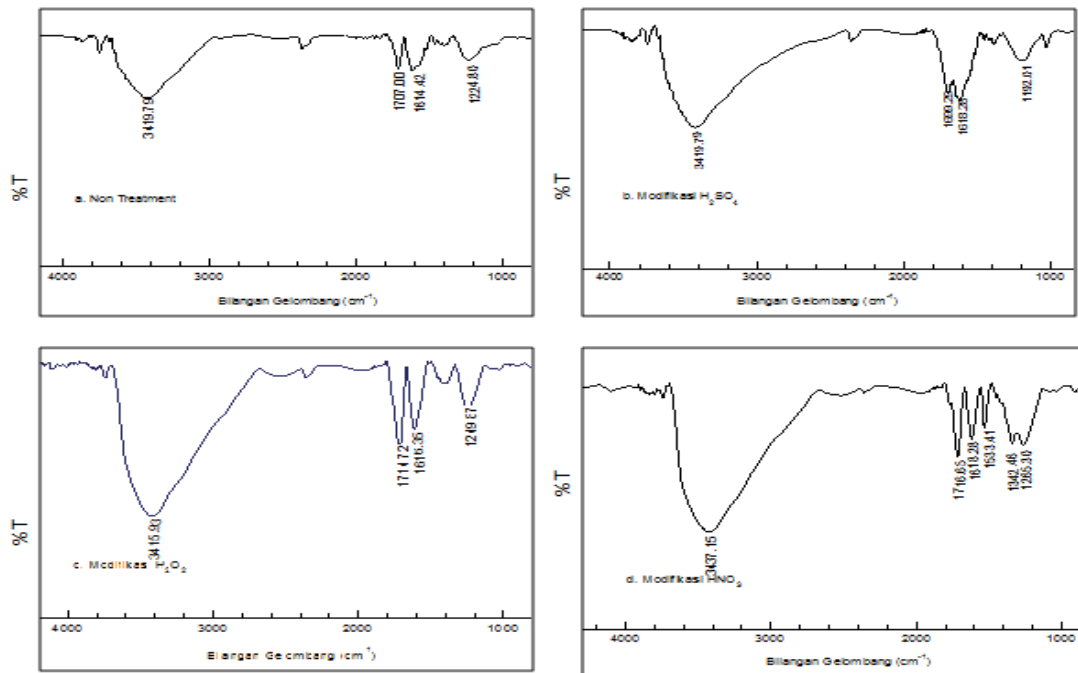
Hasil titrasi Boehm menunjukkan perubahan gugus fungsi setelah modifikasi khususnya pada kelompok gugus asam. Karbon aktif hasil modifikasi dengan HNO_3 menunjukkan peningkatan konsentrasi pada gugus lakton.

Karbon aktif hasil modifikasi H_2SO_4 juga mengalami peningkatan gugus asam pada lakton dan gugus fenol. Molekul H_2SO_4 bersifat *hetero withdrawing atom* (Smith, 2002) sehingga penambahan H_2SO_4 akan menyebabkan sebagian molekul karbon yang terdapat pada karbon aktif kehilangan elektron dan lebih bermuatan positif, akibatnya akan terbentuk suatu karbon yang bersifat elektrofilik. Adanya molekul oksigen dan hidrogen dalam air yang bersifat nukleofilik

menyebabkan terbentuknya gugus fungsi yang mengandung oksigen yang baru (Wibowo, 2004). Vasu (2008) telah melaporkan bahwa modifikasi permukaan karbon aktif dengan hidrogen peroksida mampu meningkatkan kelompok gugus oksigen pada permukaan karbon aktif. Perlu dicatat bahwa titrasi Boehm hanya dapat digunakan untuk menentukan total ekuivalen gugus karboksil, lakton, dan fenol, sedangkan gugus fungsional pada permukaan termasuk anhidrida, pyrones, benzoquinones dan benzofuran dan nitrogen yang mengandung kelompok adsorben tidak dapat ditentukan dengan titrasi Boehm (Li dkk., 2010).

Modifikasi permukaan karbon aktif pada penelitian ini selain dikarakterisasi dengan menggunakan metode titrasi Boehm, juga ditunjang oleh FTIR. Analisis FTIR dilakukan untuk menentukan gugus fungsional terutama gugus yang mengandung oksigen. Spektrum FTIR memberikan data gugus fungsional pada permukaan karbon yang diaktifkan dan dimodifikasi secara kualitatif berdasarkan karakteristik energi yang diserap dalam gugus tertentu.

Spektrum FTIR dari karbon aktif sebelum modifikasi dan sesudah modifikasi dengan menggunakan HNO_3 , H_2SO_4 , dan H_2O_2 ditunjukkan pada Gambar 9. Karbon aktif sekam padi ya dihasilkan dari semua perlakuan penelitian secara umum memiliki gugus fungsi (jenis ikatan) dengan pola spektrum serapan IR yang relatif sama dan hanya berbeda dalam intensitas serapannya.



Gambar 10. Spektrum FTIR karbon aktif sekam padi (a) sebelum modifikasi (b) setelah modifikasi dengan H_2SO_4 , (c) setelah modifikasi dengan H_2O_2 , dan (d) setelah modifikasi dengan HNO_3

Gambar 10 menunjukkan spektrum FTIR pada karbon aktif sebelum dan sesudah modifikasi dengan H_2SO_4 , H_2O_2 , dan HNO_3 . Pada karbon aktif sebelum modifikasi, terdapat gugus karboksil yang teridentifikasi lewat pita serapan yang lebar dan kuat pada daerah 3419 cm^{-1} mengindikasikan adanya O-H yang ditunjang oleh munculnya pita serapan daerah 1707 cm^{-1} yang mengindikasikan adanya C=O yang khas pada asam karboksilat. Serapan pada daerah 3419 cm^{-1} juga menunjukkan adanya gugus alkohol (fenol) pada karbon aktif sekam padi sebelum modifikasi. Pita serapan daerah 1614 cm^{-1} yang menunjukkan adanya gugus C=C ulur aromatik.

Pada karbon aktif hasil modifikasi HNO_3 , terdapat pita serapan yang lebar dan kuat pada daerah 3473 cm^{-1} yang mengindikasikan adanya gugus O-H. Pita serapan yang kuat dan tajam pada daerah 1716 cm^{-1} menunjukkan adanya C=O yang mengindikasikan adanya gugus karboksilat. Serapan pada 1533 cm^{-1} dan 1342

cm⁻¹ menunjukkan kandungan gugus nitro pada karbon aktif hasil modifikasi HNO₃. Pita serapan pada 1342 cm⁻¹ mengindikasikan adanya gugus C=O dari lakton (ester siklik). Pita serapan daerah 1618 cm⁻¹ menunjukkan gugus kuinon.

Pada karbon aktif hasil modifikasi H₂SO₄, terdapat gugus karboksilat yang ditunjukkan dengan adanya pita serapan lebar dan kuat pada daerah 3419 cm⁻¹ mengindikasikan adanya gugus hidroksil (-OH) yang ditunjang oleh serapan pada daerah 1699 cm⁻¹ mengindikasikan adanya C=O yang khas pada asam karboksilat. Pada daerah serapan 1192 cm⁻¹ menunjukkan adanya gugus S=O. Adapun daerah serapan 1618 cm⁻¹ menunjukkan gugus kuinon.

Spektrum FTIR dari karbon aktif hasil modifikasi H₂O₂ menunjukkan pita serapan pada daerah 3615 cm⁻¹ yang tajam mengindikasikan adanya gugus O-H bebas. Pita serapan pada daerah 1714 cm⁻¹ menunjukkan adanya C=O yang khas pada keton. Pita serapan daerah 1249 cm⁻¹ mengindikasikan adanya lakton pada karbon aktif hasil modifikasi H₂O₂. Adapun daerah serapan 1616 cm⁻¹ mengindikasikan adanya gugus kuinon (Figueiredo, dkk., 1999 ; Pavia, dkk., 2001).

Tabel 5. Gugus Fungsi pada Karbon Aktif Sekam Padi

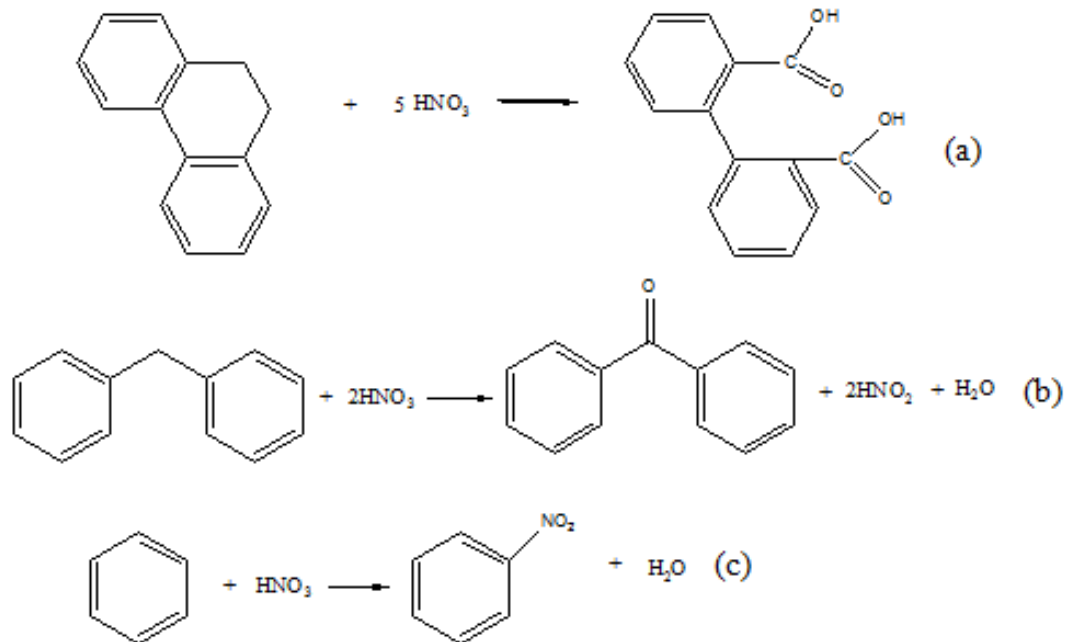
Karbon Aktif Sekam Padi	Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)			
	Karboksil	Lakton	Fenol	Kuinon
Hasil Modifikasi HNO ₃	3473 dan 1716	1342	3473 dan 1618	1618
Hasil Modifikasi H ₂ SO ₄	3419 dan 1699	-	3419 dan 1618	1618
Hasil Modifikasi H ₂ O ₂	3415 dan 1714	1249	3415 dan 1616	1616

Sebelum Modifikasi	3419 dan 1707	-	3419 dan 1614	1614
--------------------	---------------	---	------------------	------

Tabel 5 menunjukkan gugus fungsi pada karbon aktif sekam padi baik sebelum modifikasi maupun sesudah modifikasi. Secara kualitatif, analisis menggunakan FTIR mengidentifikasi kehadiran gugus-gugus fungsi yang mengandung oksigen pada semua sampel hasil modifikasi. Spektrum FTIR menunjukkan peningkatan intensitas pada pada karbonil, gugus hidroksil, karboksil, kuinon, dan lakton pada permukaan karbon aktif yang dimodifikasi. Hal ini menunjukkan bahwa modifikasi permukaan dengan asam dapat menambah gugus oksigen pada karbon aktif (Ismanto, 2010).

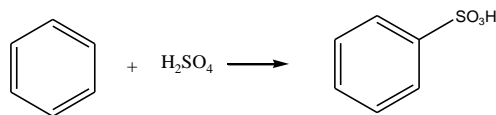
Gambar 11 menunjukkan hasil reaksi antara karbon aktif sekam padi dengan larutan pengoksidator HNO_3 . Chingombe (2005) mengemukakan pada modifikasi dengan oksidator HNO_3 sisi aktif karbon terletak pada rantai samping alifatik karena sangat rentan terhadap oksidasi. pada reaksi a, pembentukan kelompok dikarboksilat diperkirakan terjadi pada sisi alifatik molekul terutama jika rantai samping terdiri atas lebih dari satu atom karbon. reaksi ini disebabkan oleh pemutusan ikatan C-C pada posisi atom karbon benzil. Adapun oksidasi melibatkan kelompok metilen ($-\text{CH}_2-$) akan menghasilkan pembentukan keton seperti yang ditunjukkan pada reaksi b. Nitrogen dapat ditambahkan ke karbon dengan reaksi yang sama seperti pada nitrasi benzena. Mekanismenya akan melibatkan

pembentukan nitronium yang sangat reaktif yang pada akhirnya akan membentuk nitrat seperti pada produk yang ditunjukkan dalam reaksi c.

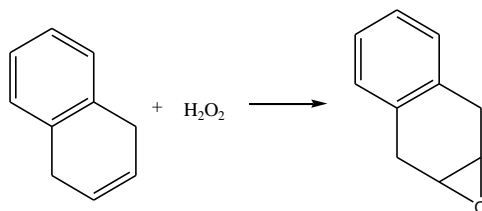


Gambar 11. Reaksi Karbon Aktif dengan modifikasi HNO_3 (Chingombe, 2005)

Gambar 12 menunjukkan hasil reaksi karbon aktif dengan penambahan larutan oksidator H_2SO_4 . Pada larutan H_2SO_4 terdapat gugus asam sulfonat $-\text{SO}_3\text{H}$. Reaksi ini melibatkan penggabungan gugus asam sulfonat, $-\text{SO}_3\text{H}$ ke dalam suatu molekul ataupun ion (sulfonasi) (Amelia dkk., 2013).



Gambar 12. Reaksi Karbon Aktif dengan modifikasi H_2SO_4 (Amelia dkk., 2013)

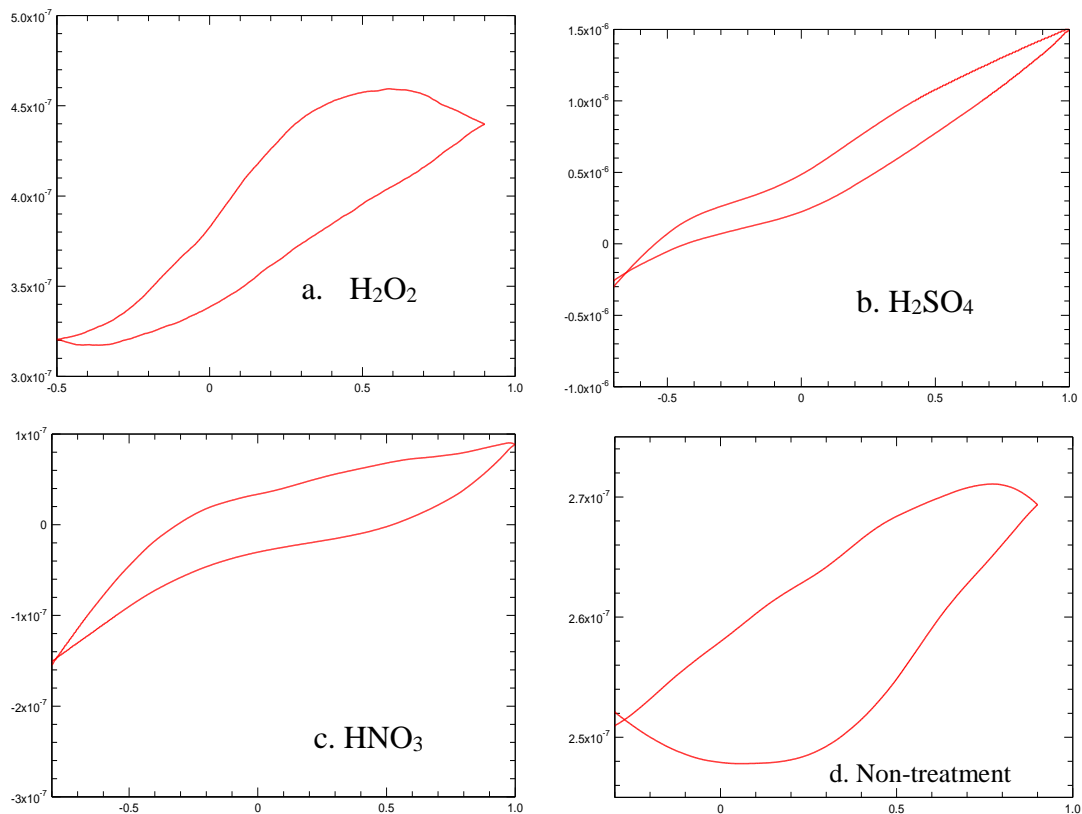


Gambar 13. Reaksi Karbon Aktif dengan modifikasi H_2O_2

Gambar 13 menunjukkan reaksi karbon aktif dengan penambahan pengoksidator H_2O_2 . Kehadiran H_2O_2 menyebabkan putusya ikatan rangkap pada karbon non-aromatis.

4.8 Pengukuran Kapasitansi Spesifik

Karakterisasi pengukuran kapasitansi spesifik dilakukan dengan menggunakan metode voltametri siklik dan pengujian elektroda dilakukan dengan laju *scan* 100 mV/s. Gambar 11 menunjukkan voltagram dari elektroda pasta karbon sebelum dan sesudah modifikasi.



Gambar 14. Voltammogram elektroda pasta karbon aktif sekam padi

Voltammogram dari elektroda pasta karbon sebelum dan sesudah modifikasi menunjukkan bentuk kurva yang cukup berbeda. Bentuk kurva yang diperoleh dari hasil pengukuran dengan metode voltametri siklik memberikan gambaran besarnya nilai kapasitansi spesifik yang

Nilai kapasitansi spesifik cukup dipengaruhi oleh arus *discharge* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 14 yang berada bidang bawah kurva dan arus *charge* yang berada pada bidang atas kurva. Nilai arus *charge* dan *discharge* dari elektroda digunakan untuk menghitung nilai kapasitansi spesifik menggunakan persamaan 3.

$$(3) \quad C_s = \frac{I_c - I_d}{v.m}$$

di mana C_s adalah kapasitansi spesifik (F/g), I_c dan I_d masing-masing adalah arus *charge* dan *discharge* (A), v adalah laju laju *scan* (V/s), dan m adalah massa karbon pada elektroda. Nilai kapasitansi spesifik dari elektroda pasta karbon aktif sebelum dan sesudah modifikasi ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Data *Cyclic Voltammetry* Elektroda Pasta Karbon

Elektroda Pasta Karbon	Laju Scan (V/s)	Massa (gram)	I_c (nA)	I_d (nA)	C_s (μ F/g)
Sebelum Modifikasi	0,1	0,0305	272	247	9,51
HNO ₃	0,1	0,1251	90.3	-222	24,96
H ₂ SO ₄	0,1	0,0894	1500	-930	271,812
H ₂ O ₂	0,1	0,0845	441	327	13,49

Nilai kapasitansi spesifik paling tinggi berturut-turut yang diperoleh oleh elektroda pasta karbon yaitu karbon aktif termodifikasi H₂SO₄, HNO₃, H₂O₂ kemudian karbon aktif tanpa modifikasi. Hal ini menunjukkan bahwa modifikasi permukaan karbon aktif dapat meningkatkan nilai kapasitansi spesifik. Modifikasi permukaan dapat meningkatkan nilai kapasitansi permukaan karbon aktif karena reaktifitas dari kelompok gugus oksigen yang meningkat setelah modifikasi. Afinitas elektron yang besar pada atom oksigen membuat oksigen lebih elektronegatif dibandingkan dengan atom karbon (pada gugus karbonil atau kuinon)

atau atom hidrogen (pada gugus hidroksil) dan menduduki posisi parsial negatif yang kaya akan elektron dan atom lain akan kekurangan elektron. Perbedaan elektronegatifitas pada kelompok gugus oksigen akan meningkatkan kepolaran pada permukaan karbon aktif dan bersifat lebih hidrofobik.

Pada penelitian ini, kapasitansi spesifik tertinggi diperoleh pada modifikasi dengan H_2SO_4 . Utrilla (2011) melaporkan terkadang terjadi peningkatan kandungan sulfur pada karbon mesopori maupun makropori yang cukup signifikan dengan penambahan H_2SO_4 . Sulfurisasi karbon aktif dapat meningkatkan kandungan sulfur dari sebesar 34% menjadi 43-48%. Sulfurisasi menghasilkan formasi kompleks sulfur pada permukaan karbon aktif seperti gugus sulfida dan hidrosulfida, endapan belerang atau tiofena, sulfoksida atau kelompok sulfon.

Nilai kapasitansi spesifik yang dihasilkan masih sangat jauh dibandingkan dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Ismanto dkk (2010) mengenai modifikasi karbon aktif sebagai kapasitor elektrokimia dengan nilai kapasitansi spesifik mencapai 264,08 F/g. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh beberapa faktor diantaranya desain elektroda serta jenis dan konsentrasi elektrolit yang digunakan untuk membuat elektroda. Pada penelitian yang dilakukan oleh Ismanto dkk (2010) menggunakan bahan-bahan yang dapat menghantarkan arus dengan baik sehingga kapasitansi spesifik yang diperoleh lebih maksimal. Penggunaan polivinilidena difluorida (PVdF) sebagai pengikat juga menyebabkan perubahan tekstur pada pori yang membuat perbedaan kinerja elektrokimia dari elektroda yang membuat kapasitansi spesifik yang diperoleh jauh berbeda dari yang telah dilakukan pada penelitian ini.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan dari hasil penelitian yang telah dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Luas permukaan karbon sekam padi dengan metode adsorpsi metilen biru menggunakan aktivator H_3PO_4 setelah aktivasi dengan rasio 1:4 adalah $178,687 \text{ m}^2/\text{g}$, 1:5 adalah $83,008 \text{ m}^2/\text{g}$, 1:6 adalah $113,993 \text{ m}^2/\text{g}$, sedangkan sebelum aktivasi adalah $81,147 \text{ m}^2/\text{g}$.
2. Modifikasi permukaan dengan larutan HNO_3 , H_2SO_4 , dan H_2O_2 dapat menambah gugus fungsi pada permukaan karbon aktif sekam padi.
3. Modifikasi permukaan karbon aktif sekam padi menggunakan HNO_3 , H_2SO_4 , dan H_2O_2 dapat meningkatkan nilai kapasitansi spesifik yang menunjukkan hasil yakni sebelum modifikasi sebesar $8,196 \mu\text{F}/\text{g}$, dengan modifikasi HNO_3 sebesar $24,96 \mu\text{F}/\text{g}$, dengan modifikasi H_2SO_4 sebesar $271,812 \mu\text{F}/\text{g}$, dan modifikasi H_2O_2 sebesar $13,49 \mu\text{F}/\text{g}$.

5.2 Saran

Adapun saran untuk penelitian selanjutnya tentang studi karbon aktif adalah sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan studi lebih lanjut tentang pengaruh luas permukaan terhadap nilai kapasitansi spesifik karbon aktif hasil modifikasi.

2. Perlu dilakukan studi lebih lanjut mengenai cara pembuatan elektroda karbon yang lebih efektif serta pengaruh jenis dan konsentrasi elektrolit dalam penentuan kapasitansi spesifik karbon aktif.

DAFTAR PUSTAKA

- Abruna, H., Kiya, Y., dan Henderson, J., 2008, Batteries and Electrochemical Supercapacitors, *Physic Today*
- Adhityawan, A.A., dan Susanti, D., 2013, Pengaruh Variasi Waktu Tahan Hidrotermal terhadap Sifat Kapasitif Superkapasitor Material Graphene, *Jurnal Teknik POMITS*, **2** (1)
- Agung, M.G.F., Hanafie, S.M.R., Mardina, P., 2013, Ekstraksi Silika dari Abu Sekam Padi dengan Pelarut KOH, *Konversi*, **2** (1), 28-31.
- Amelia R., Pendapotan, H., Purwanto, 2013, Pembuatan dan Karakterisasi Karbon Aktif Tersulfonasi sebagai Katalis Ramah Lingkungan pada Proses Hidrolisis Biomassa, *Jurnal Teknologi Kimia dan Industri*, **2** (4)
- Andhika, R., 2015, *Elektrodeposisi Logam Cu Pada Permukaan Karbon Aktif Sekam Padi Bebas Silika dengan Iradiasi Ultrasonik*, Skripsi tidak diterbitkan, Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin, Makassar.
- Ariyanto, T., Prasetyo, I., dan Rochmadi, 2012, Pengaruh struktur Pori terhadap Kapasitansi Elektroda Superkapasitor yang dibuat dari Karbon Nanopori, *Reaktor*, **1** (14), 25-32
- Boehm, H.P., 2012, Surface Oxides on Carbon and Their Critical Assessment, *Carbon*, **40**, 145-149
- Candelaria, S.L., Cao, G., Li, J., Li, X., Liu, J., dan Stephanie, L., 2012, Nanostructured Carbon for Energy Storage and Conversion, *Nano Energy*, **1** (1), 195-220.
- Chingombe, P., Saha, B., dan Wakeman, R.J., 2005, Surface modification and characterization of a coal-based activated carbon, *Carbon*, **43** (1)
- Danarto, Y.C., Nur, A., Setiawan, D.P., dan Kuncoro, N.D., 2010, Pengaruh Waktu Operasi Terhadap Karakteristik Char Hasil Pirolisis Sekam Padi sebagai Bahan Baku Pembuatan Nano Struktur Supermikroporous Carbon, *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia Pengembangan Teknologi Kimia untuk Pengolahan Sumber Daya Alam Indonesia*, Yogyakarta
- Dell, R.M. and Rand, D.A.J., 2001, Energy Storage-A Key Technology for Global Energy Sustainability, *J. Power Sources*, **100**, 2-7.

- Ding, L., Zou, B., Liu, H., Li, Y., Wang, Z., Su, Y., Guo, Y., Wang, X., 2013, A New Route for Conversion of Corncob to Porous Carbon by Hydrolysis and Activation, *Chem. Eng. J.*, **225**, 300-305.
- Figueiredo, J.L., Pereira, M.F.R., Freitas, M.M.A., Orfao, J.J.M., 1999, Modification of The Surface Chemistry of Activated Carbons, *Carbon*, **37**, 1379-1389.
- Frackowiak, E., dan Beguin, F., 2001, Carbon Material for The Electrochemical Storage of Energy in Capacitors, *Carbon*, **39**, 937-950.
- Ginanjar, R.R., Ma'aruf, A., dan Mulyadi, A.H., 2014, Ekstraksi Silika dari Abu Sekam Padi Menggunakan Pelarut NaOH, *Prosiding Seminar Nasional Hasil-Hasil Penelitian dan Pengabdian LPPM UMP*, Purwokerto
- Harti, R., Allwar, Fitri, N., 2014, Karakteristisasi dan Modifikasi Karbon Aktif Tempurung Kelapa Sawit dengan Asam Nitrat untuk menjerap Logam Besi dan Tembaga dalam Minyak Nilam, *Ind. J. Chem. Res.*, **2** (1), 1-10.
- Helper, M., dan Ellenboge, J.C., 2006, Supercapacitors: A Brief Overview, MITRE, Virginia
- Himmaty, I., Endarko, 2013, Pembuatan Elektroda dan Perancangan Sistem Capacitive Deionization untuk Mengurangi Kadar Garam pada Larutan Sodium Clorida (NaCl), *Berkala Fisika*, **16** (3), 67-74.
- Hsu, H.W., dan Luh, B.S., 1980, *Rice Hull: Rice Product and Utilization*, Avi Publishing Company, New York
- Hsu, L. Y. dan Teng, H., 2000, Influence of different chemical reagents on the preparation of activated carbons from bituminous coal. *Fuel Processing Technology*, No. 64 (1-3), pp:155-166.
- Ismanto, A.E., Wang, S., Soetaredjo, F.E., Ismadji, S., 2010, Preparation of Capacitor's Electrode from Cassava Peel Waste, *Bioresour. Technol.*, **101**, 3534-3540.

- Jamilatun, S. dan Setyawan, M., 2014, Pembuatan Arang Aktif dari Tempurung Kelapa dan Aplikasinya untuk Penjernihan Asap Cair, *Spektrum Industri*, **1** (12), 1-112.
- Labanni, A., Zakir, M. dan Maming, 2015, Sintesis dan Karakterisasi Karbon Nanopori Ampas Tebu (*Saccharum officinarum*) dengan Aktivator $ZnCl_2$ melalui Iradiasi Ultrasonik sebagai Bahan Penyimpan Energi Elektrokimia, *Indo. Chim. Acta*, **8** (1), 1-9.
- Lempang, M., 2014, Pembuatan dan Kegunaan Arang Aktif, *Info Teknis EBONI*, **11** (2), 65-80.
- Manocha, S.M., 2003, Porous Carbon, *Sadhana*, **28**, 335-348.
- Mujiayanti, D.R., Nuryono, Kunarti, E.S., 2010, Sintesis dan Karakterisasi Silika Gel dari Abu Sekam Padi yang Dimobilisasi dengan 3-(Trimetoksisil)-1-Propantiol, *Sains Ter. Kim.*, **4** (2), 150-167.
- Mulyani, R., Buchari, Noviandri, Ciptati, 2012, Studi Voltametri Siklik Sodium Dodecyl Benzen Sulfonat dalam Berbagai Elektroda dan Elektrolit Pendukung, *Teknologi Pengelolaan Limbah*, **15** (1), 51-56.
- Nugroho, M.R., 2011, *Rancang Bangun Sistem Sumber Daya Tag Aktif RFID Berbasis Tenaga Surya dengan Superkapasitor sebagai Media Penyimpan Energi*, Skripsi diterbitkan, Program Studi Teknik Elektro, Universitas Indonesia.
- Nurdianyah, H. Dan Susanti, D., 2013, Pengaruh Variasi Temperatur Karbonisasi dan Temperatur Aktivasi Fisika dari Elektroda Karbon Aktif Tempurung Kelapa dan Tempurung Kluwak Terhadap Nilai Kapasitansi *Electric Double Layer Capacitor*(EDLC), *Jurnal Teknik Pomits*, **2** (1), 13-18.
- Pavia, D.L., Lampman, G.M., Kriz, G.S., 2001, *Introduction to Spectroscopy Third Edition*, Thomson Learning, Bellingham Washington.
- Ramdja, A.F., Halim, M., Handi, J., 2008, Pembuatan Karbon Aktif dari Pelepah Kelapa (*Cocus nucifera*), *J. Tek.Kim*, **15** (2), 1-8.
- Riyanto, A., 2014, Superkapasitor Sebagai Piranti Penyimpan Energi Listrik Masa Depan, *Jurnal Ilmiah Pendidikan Fisika*, **2** (3), 1-8.

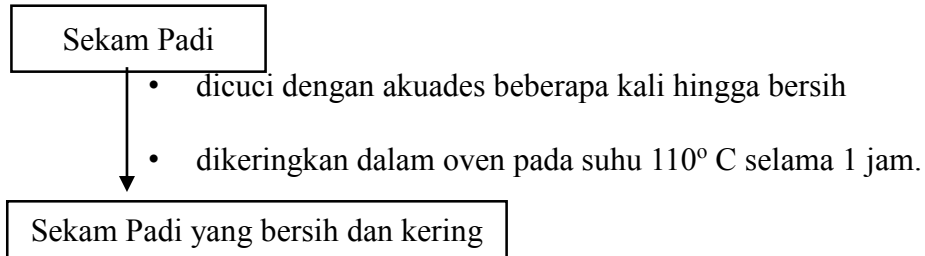
- Setyadhi, L., Wibowo, D., Ismadji, S., 2005, Modifikasi Sifat Kimia Permukaan Karbon Aktif dengan Asam Oksidator dan Non-oksidator Serta Aplikasinya terhadap Adsorpsi Metilen Biru, *The 4th National Conference : Design and Application Technology 2005*, 69-76.
- Surest, A.H., Kasih, J.A.F. dan Wisanti, A., 2008, Pengaruh Suhu, Konsentrasi Zat Aktivator dan Waktu Aktivasi Terhadap Daya Serap Karbon Aktif dari Tempurung Kemiri, *J. Tek. Kim.*, **15** (2), 17-21.
- Sembiring, M.T. dan Sinaga, T.S., 2003, *Arang Aktif (Pengenalan dan Proses Pembuatannya)*, USU Digital Library, Medan.
- Song, C. dan Zhang, J., 2008, Electrocatalyst Oxygen Reduction Reaction, *PEM Fuel Cell Electrocatalysts and Catalyst Layers Fundamentals and Applications*, **XXI**, 1-4.
- Taer, E., Zulkifli, Sugianto, Syech, R., Taslim, R., 2015, Analisa Siklis Voltametri Superkapasitor Menggunakan Elektroda Karbon Aktif dari Kayu Karet Berdasarkan Variasi Aktivator KOH, *Prosiding Seminar Nasional Fisika*, **4**, 105-110.
- Ulfah dan Nurfaridah, S., 2014, *Hidrolisis Limbah Biomassa Tempurung Kemiri Menggunakan Hot Compressed Water dengan Katalis Pd/Al₂O₃*, Universitas Pendidikan Indonesia.
- Vanpelt, A.H., 2012, Stability of Acid-Modified Activated Carbons in Hot Liquid Water and Their Application to Biomass Hydrolysis Reaction, Georgia Institute of Technology
- Vasu, E.D., 2008, Surface Modification of Activated Carbon for Enhancement of Nickel(II) Adsorption, *E-J.Chem*, **5** (4), 814-816.
- Vytras, K., Svancara, I., Metelka, R., 2009, Carbon Paste Electrodes in Electroanalytical Chemistry, *J. Serb.Chem. Soc.*, **74** (10), 1021-1033.
- Wachid, M.R., Setiarso, P., 2014, Pembuatan Elektroda Pasta Karbon Termodifikasi Bentonit untuk Analisis Ion Logam Tembaga(II) secara Cyclic Voltammetry Stripping, *Prosiding Seminar Nasional Kimia, Universitas Negeri Surabaya*, Surabaya, 20 September.

- Wati, G.A., Rohmawati, L., dan Putri, N.P., 2015, Kapasitansi Elektroda Superkapasitor dari Tempurung Kelapa, *Jurnal Fisika*, **1** (4), 6-9.
- Wei, X., Xiao, L., Jin, Z., Ping, Z.S., 2011, Carbon Derived from Rice Husk for Electrochemical Capacitor Application, *Mater. Res.*, **239-242**, 2101-2106.
- Wibowo, N., Setiawan, J., Ismadji, S., 2004, Modifikasi Gugus Aktif Suatu Karbon Aktif dan Karakterisasinya, *Jurnal Teknik Kimia Indonesia*, **3** (1), 39-46.
- Winter, M., Brodd, R.J., 2004, What are Batteries, Fuel Cells, and Supercapacitors?, *Chem. Rev.*, **104**, 4245-4268.
- Zakir, M., Botahala, L., Ramang, M., Fauziah, S. dan Abdussamad, B., 2013, Elektrodeposisi Logam Mn pada Permukaan Karbon Aktif Sekam Padi dengan Iradiasi Ultrasonik, *Indo. Chim. Acta*, **6** (2), 9-18.
- Zhu, Z., Hu, H., Li, W., and Zhang, X., 2007, Resorcinol Formaldehyde Based Porous Carbon as an Electrode Material for Supercapacitors, *Carbon*, **1** (45), 160-165.

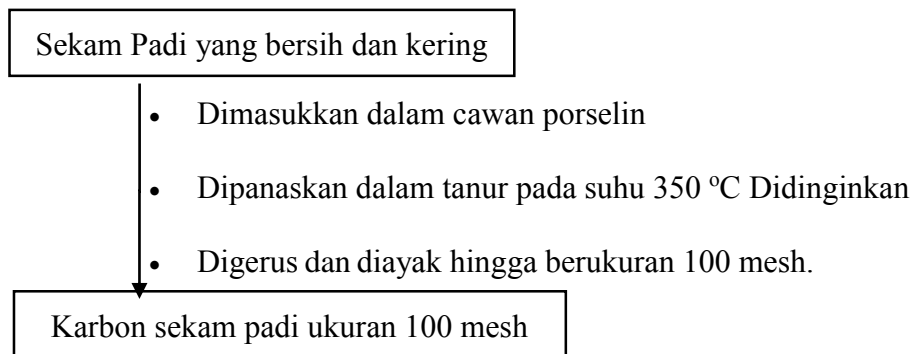
Lampiran 1

Bagan Kerja

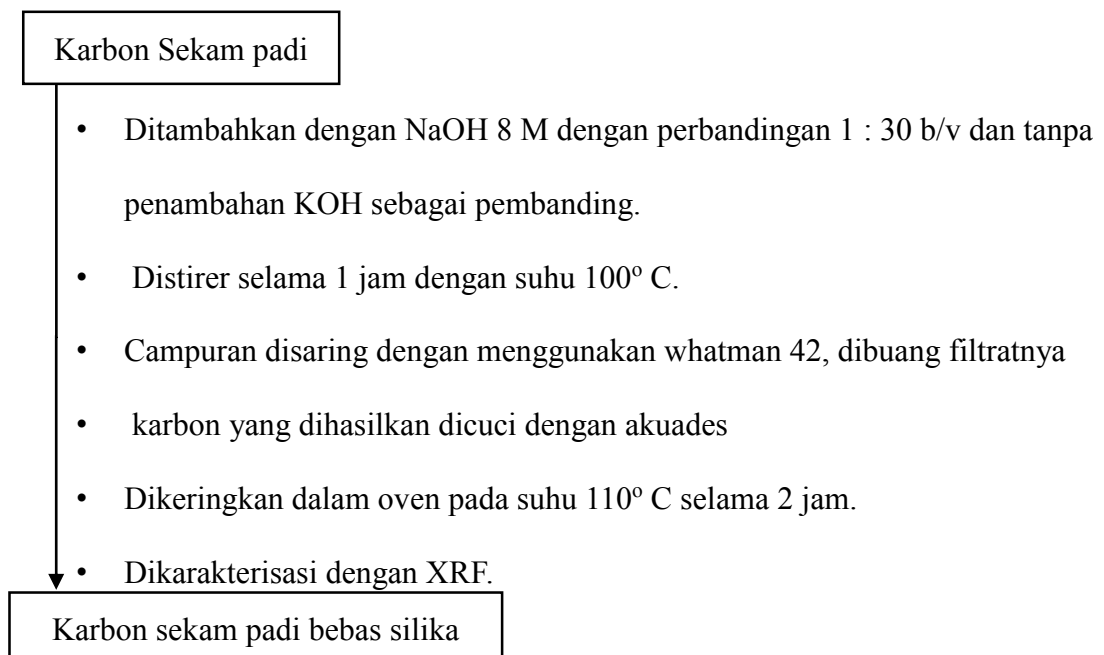
1. Preparasi Sampel



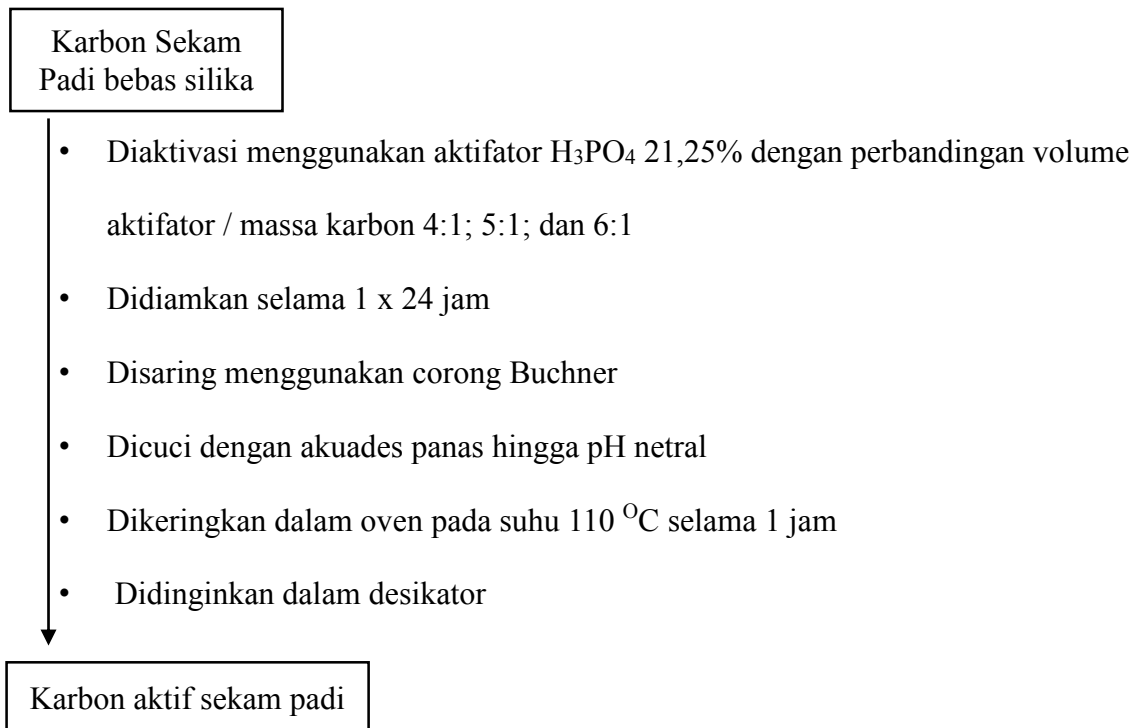
2. Karbonisasi



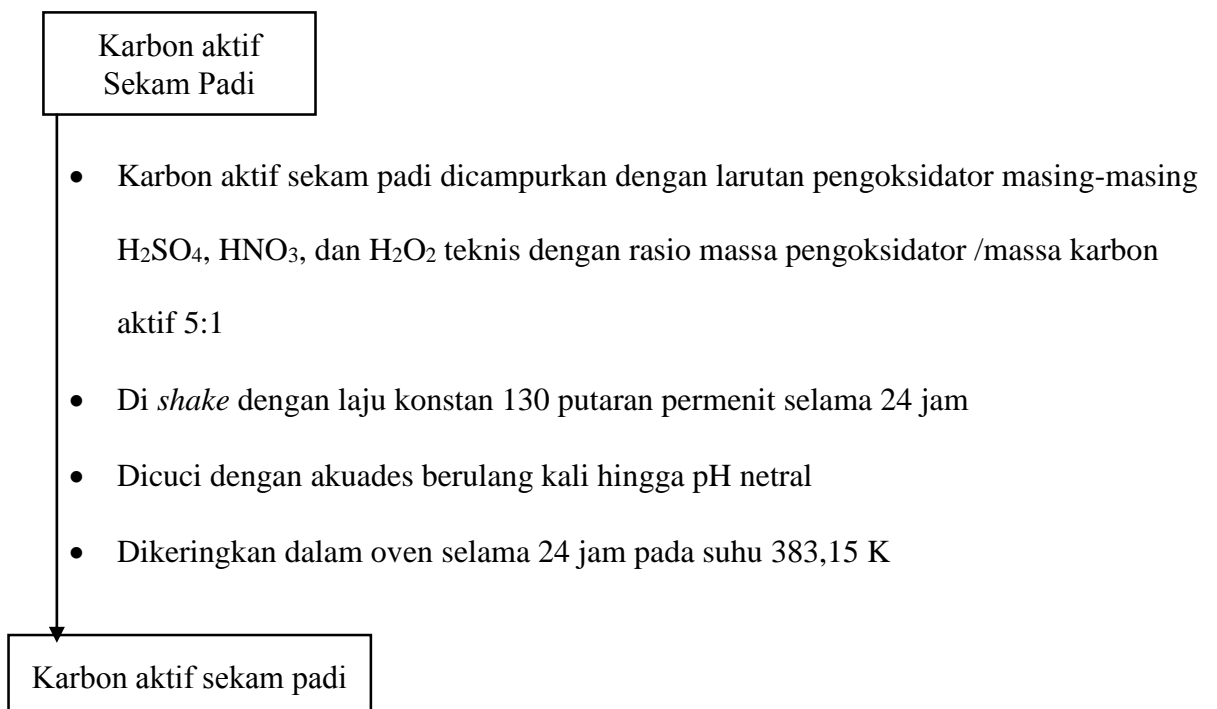
3. Ekstraksi Silika



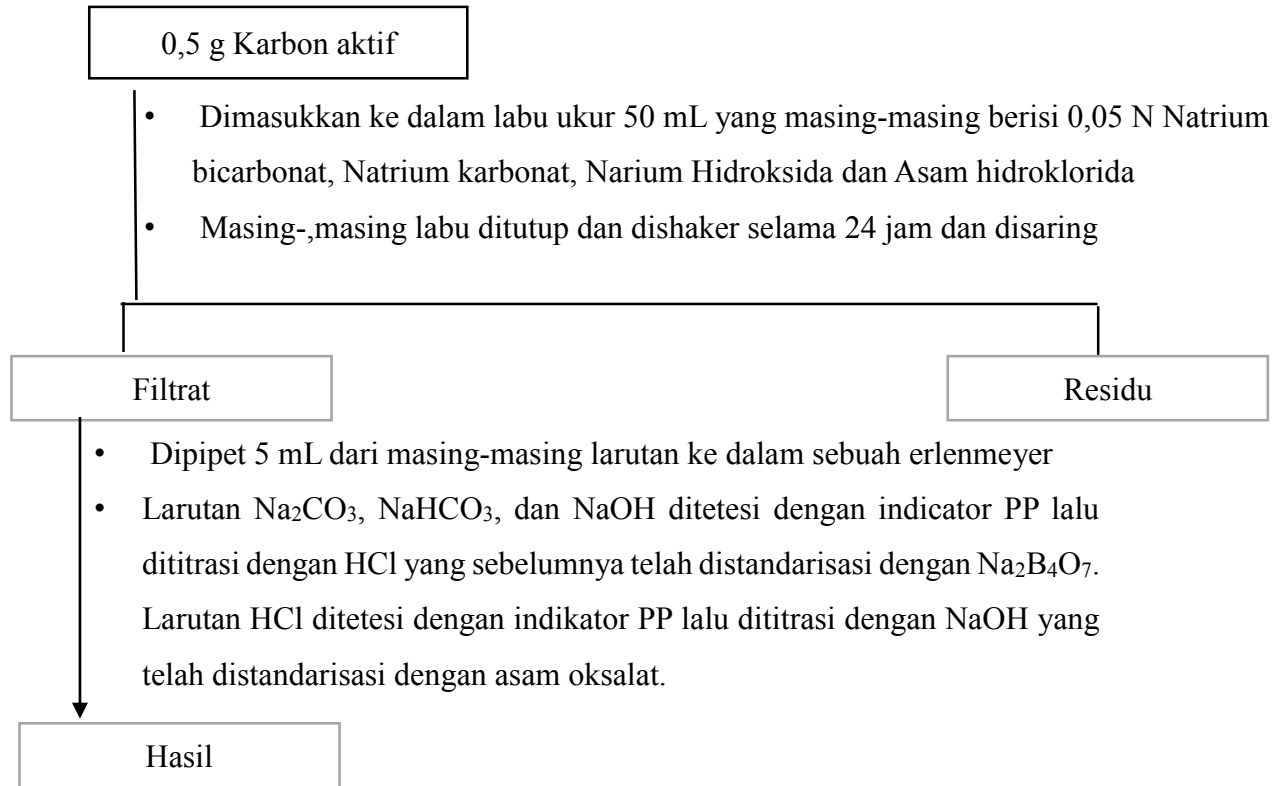
4. Aktivasi



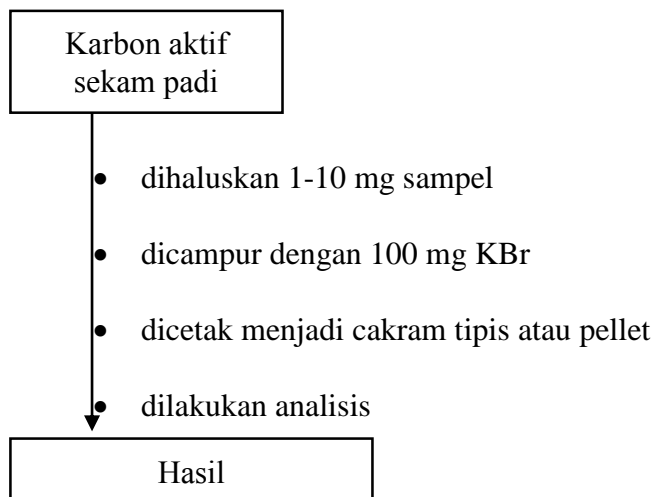
5. Modifikasi Permukaan



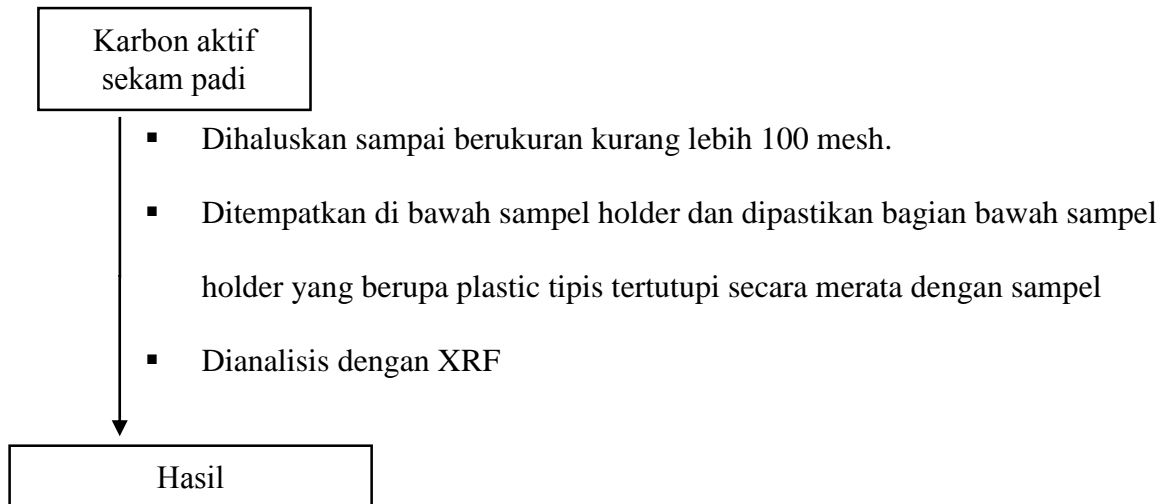
6. Karakterisasi Permukaan Karbon Aktif Secara Kimia Metode Boehm



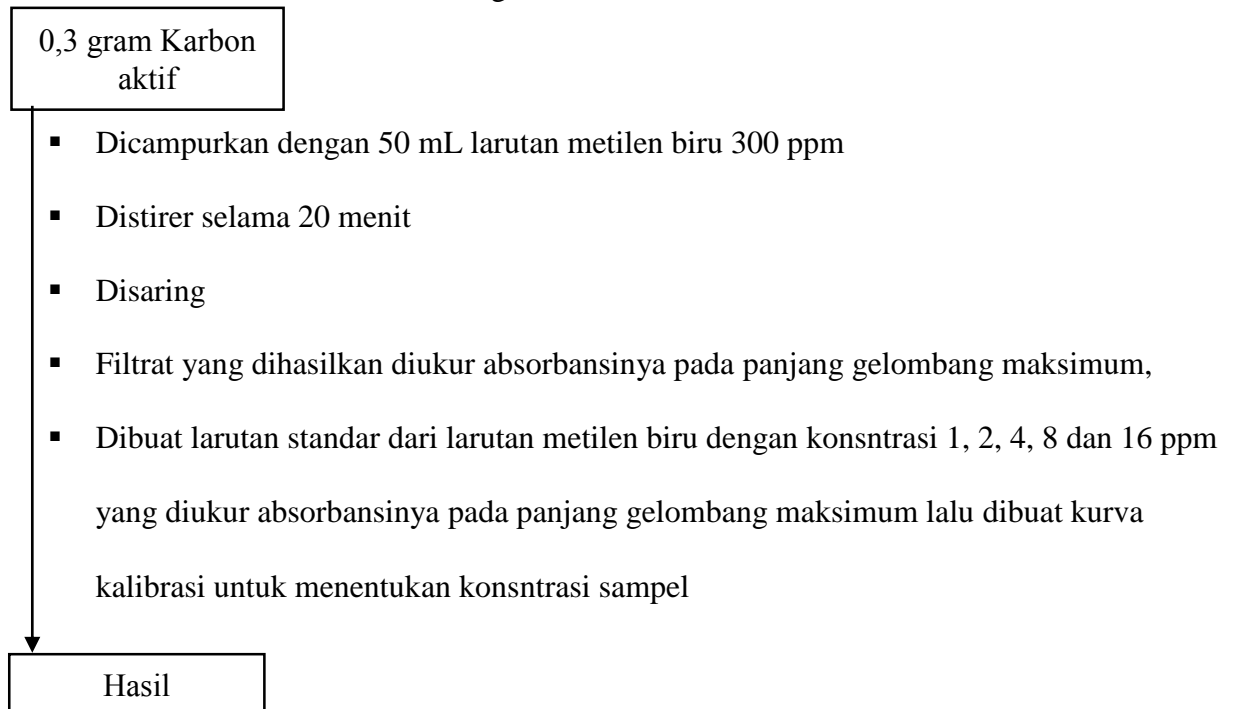
7. Karakterisasi Gugus Fungsi dengan FTIR



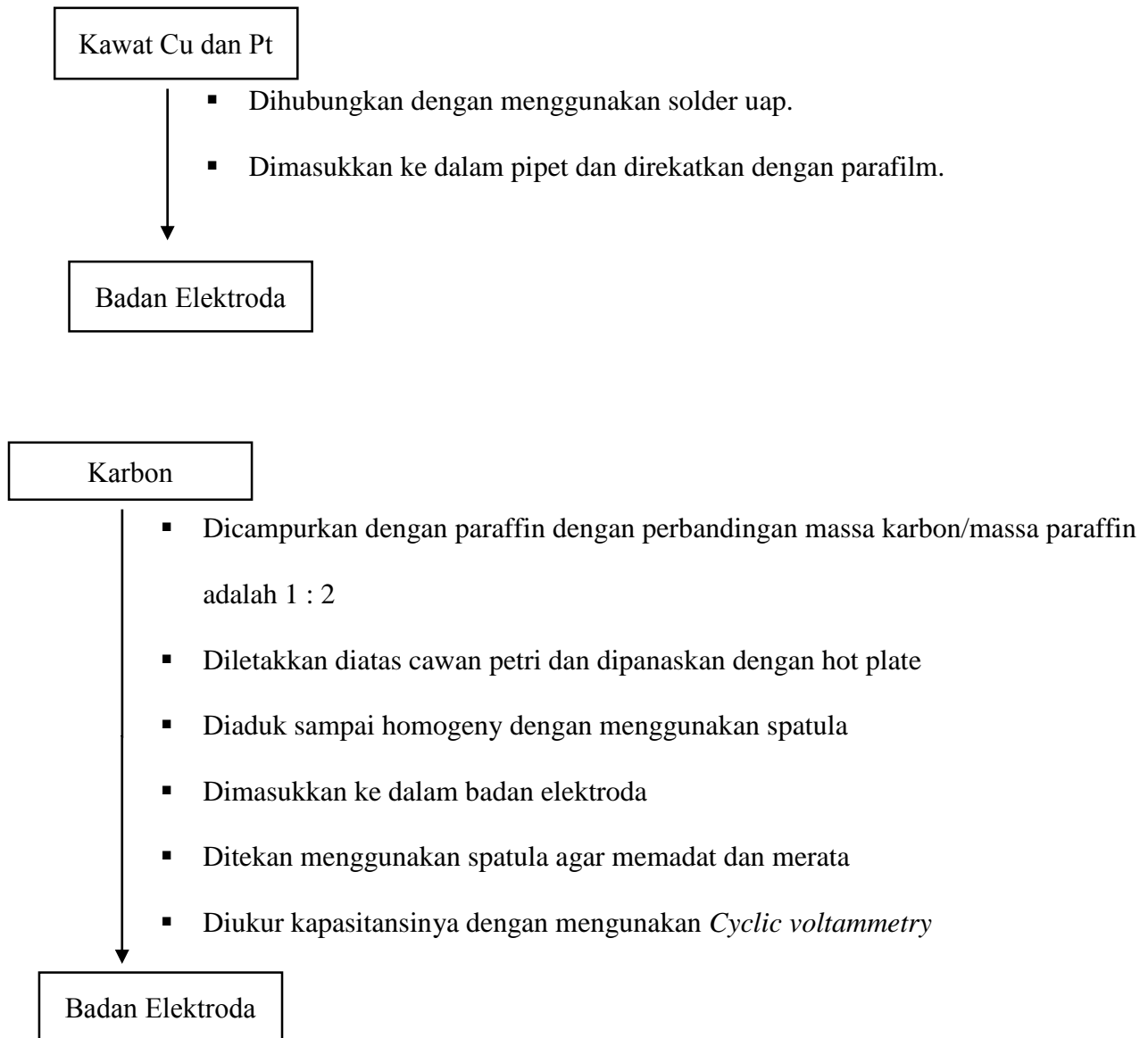
8. Karakterisasi Kandungan Senyawa dengan XRF



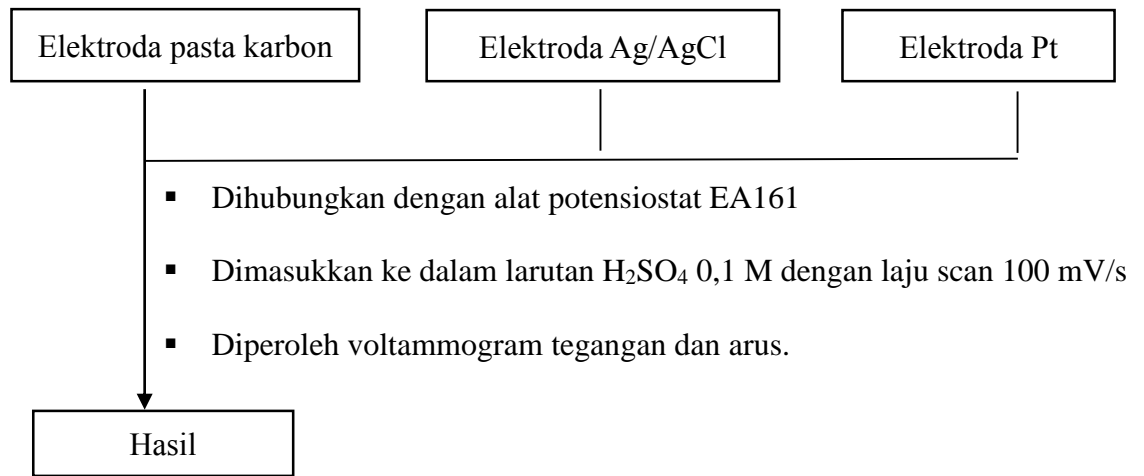
9. Karakterisasi Luas Permukaan dengan Metode Metilen Biru



10. Pembuatan Elektroda Pasta Karbon



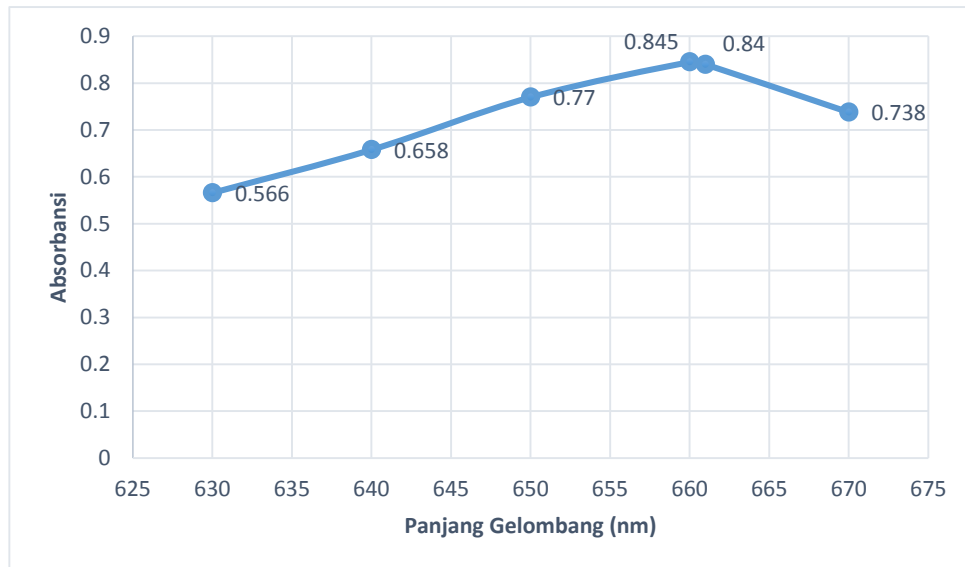
11. Penentuan Kapasitansi Spesifik dengan menggunakan Instrumen *Cyclic Voltammetry*



Lampiran 2. Perhitungan

A. Penentuan Luas Permukaan Karbon Sekam Padi

1. Penentuan Panjang Gelombang Maksimum (λ maks)

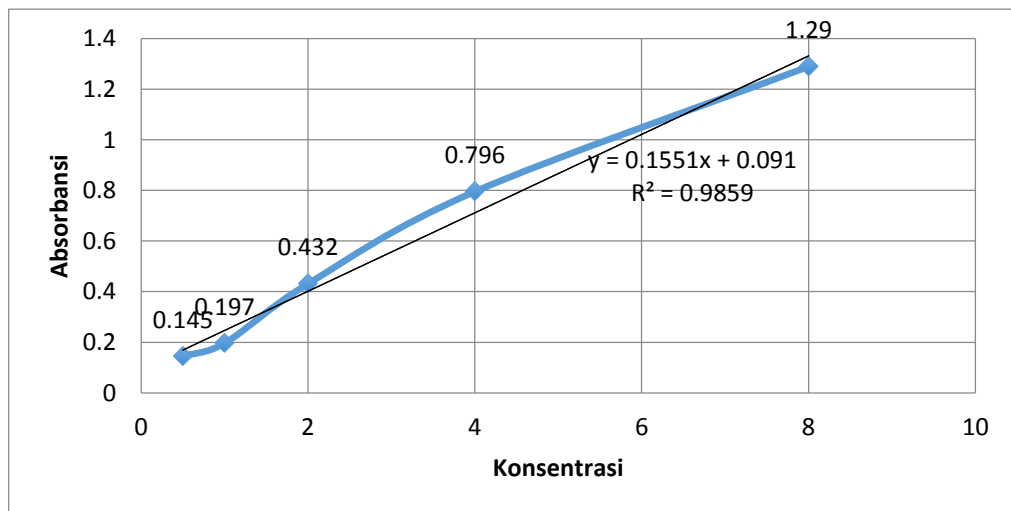


2. Kurva penentuan λ maksimum

Panjang Gelombang (nm)	Absorbansi
630	0.566
640	0.658
650	0.770
660	0.845
661	0.840
670	0.738

3. Penentuan Kurva Deret Standar

Konsentrasi (ppm)	Absorbansi
0.5	0.145
1	0.197
2	0.432
4	0.796
8	1.29



Dari hasil regresi kurva penentuan luas permukaan sebelum dan sesudah aktivasi diperoleh persamaan garis:

$$y = 0,155x + 0,091$$

4. Penentuan Luas Permukaan Karbon Sekam Padi

Luas Permukaan karbon sekam padi dihitung dengan rumus berikut:

$$X_m = (C_o - C_e) \times V \text{ larutan (L) / massa karbon aktif (g)}$$

$$S = X_m \cdot N \cdot a / M_r$$

Ket: S = Luas Permukaan Adsorben (m²/g)

- N = bilangan Avogadro ($6,022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$)
- Xm = massa adsorbat yang teradsorpsi (mg/g)
- a = luas penutupan oleh 1 molekul metilen biru ($197 \times 10^{-20} \text{ m}^2$)
- Mr = massa molekul relative metilen biru (320,5 g/mol)
- Co dan Ce = konsentrasi awal dan konsentrasi akhir (ppm)
- V = volume metilen biru (L)

No.	Karbon Sekam Padi	Absorbansi (y)
1.	Sebelum Aktivasi	0,613
2.	4:1	0,250
3.	5:1	0,604
4.	6:1	0,448

1. Karbon Sekam Padi Sebelum Aktivasi

$$y = 0,155x + 0,091$$

$$0,613 = 0,155x + 0,091$$

$$0,155x = 0,613 - 0,091$$

$$0,155x = 0,522$$

$$x = C_e = 3,3677 \text{ ppm} \times \text{fp } 50x = 168,4 \text{ ppm}$$

$$Xm = (Co - Ce) \times V \text{ larutan (L)} / \text{massa karbon aktif (g)}$$

$$(Xm = 300 \text{ ppm} - 168,4 \text{ ppm}) \times 0,05 \text{ L} = 0,3 \text{ g}$$

$$(131,6 \text{ ppm}) \times 0,05 \text{ L} = 0,3 \text{ g}$$

$$= 21,93 \text{ mg/g}$$

$$S = X_m \cdot N \cdot a / M_r$$

$$21,93 \text{ mg/g} \cdot 6,02 \times 10^{23} / \text{mol} \cdot 197 \times 10^{-20} \text{ m}^2 / 320,5 \text{ g/mol}$$

$$= 81,147 \text{ m}^2/\text{g}$$

2. Karbon Sekam Padi Hasil Aktivasi 4:1

$$y = 0,155x + 0,091$$

$$0,250 = 0,155x + 0,091$$

$$0,155x = 0,250 - 0,091$$

$$0,155x = 0,159$$

$$x = C_e = 1,02580 \text{ ppm} \times 10x = 10,258 \text{ ppm}$$

$$X_m = (C_o - C_e) \times V \text{ larutan (L)} / \text{massa karbon aktif (g)}$$

$$(300 \text{ ppm} - 10,258 \text{ ppm}) \times 0,05 \text{ L} = 0,3 \text{ g}$$

$$(289,742 \text{ ppm}) \times 0,05 \text{ L} = 0,3 \text{ g}$$

$$= 48,29 \text{ mg/g}$$

$$S = X_m \cdot N \cdot a / M_r$$

$$48,29 \text{ mg/g} \cdot 6,02 \times 10^{23} / \text{mol} \cdot 197 \times 10^{-20} \text{ m}^2 / 320,5 \text{ g/mol}$$

$$= 178,687 \text{ m}^2/\text{g}$$

3. Karbon Sekam Padi Hasil Aktivasi 5:1

$$y = 0,155x + 0,091$$

$$0,604 = 0,155x + 0,091$$

$$0,155x = 0,604 - 0,091$$

$$0,155x = 0,513$$

$$x = C_e = 3,3097 \text{ ppm} \times f_p 50x = 165,48 \text{ ppm}$$

$(C_o - C_e) \times V$ larutan (L) massa karbon aktif (g)

$$(300 \text{ ppm} - 165,48 \text{ ppm}) \times 0,05 \text{ L} = 6,73 \text{ g}$$

$$(134,52 \text{ ppm}) \times 0,05 \text{ L} = 3,36 \text{ g}$$

$$= 22,42 \text{ mg/g}$$

$$S = X_m \cdot N \cdot a / M_r$$

$$22,42 \text{ mg/g} \cdot 6,02 \times 10^{23} / \text{mol} \cdot 197 \times 10^{-20} \text{ m}^2 = 2320,5$$

g/mol

$$= 83,008 \text{ m}^2/\text{g}$$

4. Karbon Sekam Padi Hasil Aktivasi (6:1)

$$y = 0,155x + 0,091$$

$$0,448 = 0,155x + 0,091$$

$$0,155x = 0,448 - 0,091$$

$$0,155x = 0,357$$

$$x = C_e = 2,3032 \text{ ppm} \times f_p 50x = 115,16 \text{ ppm}$$

$X_m = (C_o - C_e) \times V$ larutan (L) / massa karbon aktif (g)

$$(300 \text{ ppm} - 115,16 \text{ ppm}) \times 0,05 \text{ L} = 9,24 \text{ g}$$

$$(184,84 \text{ ppm}) \times 0,05 \text{ L} = 4,62 \text{ g}$$

$$= 30,8067 \text{ mg/g}$$

$$S = X_m \cdot N \cdot a / M_r$$

$$30,8067 \text{ mg/g} \cdot 6,02 \times 10^{23} / \text{mol} \cdot 197 \times 10^{-20} \text{ m}^2 / 320,5$$

g/mol

$$= 113,993 \text{ m}^2/\text{g}$$

B. Perhitungan Titrasi Boehm

Sampel	Gugus asam (mek/g)				Gugus basa (mek/g)
	Karboksil	Lakton	Fenol	Total	
Non Treatment	1,2378	0,1296	0,1864	1,5538	0,192
H ₂ O ₂	3,993	0,395	0,076	4,464	0,384
HNO ₃	0,681	1,811	0,148	2,64	2,112
H ₂ SO ₄	0,1693	0,0078	1,6268	1,8	0

Contoh perhitungan titrasi Boehm pada karbon aktif hasil modifikasi dengan H₂SO₄

- Analisa Gugus Asam

$$n_{\text{csf}} = \frac{[(V_s N_s - (C_{\text{HCl}} V_{\text{HCl}} - C_{\text{NaOH}} V_t)] \frac{V_p}{V_s}}{w}$$

$$n_{\text{csf}} = \frac{[(V_{\text{NaHCO}_3} N_{\text{NaHCO}_3} - (C_{\text{HCl}} V_{\text{HCl}} - C_{\text{NaOH}} V_t)] \frac{V_p}{V_s}}{w}$$

$$n_{\text{csf}} = \frac{[(5 \text{ mL} \times 0,05001 \text{ N} - (0,048 \text{ N} \times 10 \text{ mL} - 0,0456 \text{ N} \times 6,9 \text{ mL})] \frac{50 \text{ mL}}{5 \text{ mL}}}{0,5 \text{ gram}}$$

$$n_{\text{csf}} = 0,1693 \text{ mek/g}$$

mek gugus karboksilat = 0,1693 mek/g

$$n_{\text{csf}} = \frac{[(V_{\text{Na}_2\text{CO}_3} N_{\text{Na}_2\text{CO}_3} - (C_{\text{HCl}} V_{\text{HCl}} - C_{\text{NaOH}} V_t)] \frac{V_p}{V_s}}{w}$$

$$n_{\text{csf}} = \frac{[(5 \text{ mL} \times 0,05012 \text{ N} - (0,048 \text{ N} \times 10 \text{ mL} - 0,0456 \text{ N} \times 6,9 \text{ mL}))] \frac{50 \text{ mL}}{50 \text{ mL}}}{0,5 \text{ gram}}$$

$$n_{\text{csf}} = 0,17322 \text{ mek/g}$$

$$\text{mek gugus karboksilat} + \text{mek gugus lakton} = 0,17322 \text{ mek/g}$$

$$\text{mek gugus lakton} = 0,17322 \text{ mek/g} - 0,1693 \text{ mek/g}$$

$$= 0,0078 \text{ mek/g}$$

$$n_{\text{csf}} = \frac{[(V_{\text{NaOH}} N_{\text{NaOH}} - (C_{\text{HCl}} V_{\text{HCl}} - C_{\text{NaOH}} V_t))] \frac{V_p}{V_s}}{w}$$

$$n_{\text{csf}} = \frac{[(5 \text{ mL} \times 0,0456 \text{ N} - (0,048 \text{ N} \times 10 \text{ mL} - 0,0456 \text{ N} \times 7,5 \text{ mL}))] \frac{50 \text{ mL}}{5 \text{ mL}}}{0,5 \text{ gram}}$$

$$n_{\text{csf}} = 1,8 \text{ mek/g}$$

$$\text{mek gugus karboksilat} + \text{mek gugus lakton} + \text{mek gugus fenol} = 1,8 \text{ mek/g}$$

$$\text{mek gugus fenol} = 1,8 \text{ mek/g} - 0,0078 \text{ mek/g} - 0,1693 \text{ mek/g}$$

$$= 1,6268 \text{ mek/g}$$

- Analisa Gugus Basa

$$n_{\text{csf}} = \frac{[(V_s N_s - (C_{\text{NaOH}} V_{\text{NaOH}} - C_{\text{HCl}} V_t))] \frac{V_p}{V_s}}{w}$$

$$n_{\text{csf}} = \frac{[(5 \text{ mL} \times 0,048 \text{ N} - (0,0456 \text{ N} \times 10 \text{ mL} - 0,048 \text{ N} \times 4,5 \text{ mL}))] \frac{50 \text{ mL}}{5 \text{ mL}}}{0,5 \text{ gram}}$$

$$n_{\text{csf}} = 0$$

$$\text{mek gugus basa} = 0$$

C. Perhitungan Kapasitansi Spesifik

Elektroda Pasta Karbon	Laju Scan (V/s)	Massa (gram)	I _c (nA)	I _d (nA)	C _s (μF/g)
Sebelum modifikasi	0,1	0,0305	272	247	8,196
HNO ₃	0,1	0,1251	90.3	-222	24,96
H ₂ SO ₄	0,1	0,0894	1500	-930	271,812
H ₂ O ₂	0,1	0,0845	441	327	13,49

$$CS = I_c - I_d / v \cdot m$$

Keterangan:

C_s = kapasitansi spesifik (μF/g)

I_c dan I_d = arus charge dan discharge (nA)

v = laju scan (V/s)

m = massa karbon pada elektroda.

Contoh perhitungan kapasitansi spesifik karbon aktif sekam padi hasil modifikasi dengan H₂SO₄

$$I_c = 1500 \text{ nF}$$

$$I_d = -930 \text{ nF}$$

$$v = 100 \text{ mV/s} = 0,1 \text{ V/s}$$

$$m = 0,0894 \text{ gram}$$

$$CS = I_c - I_d / v \cdot m$$

$$1500 \text{ nA} - (-930 \text{ nA}) / 0,1 \text{ V/s} \times 0,0894 \text{ gram}$$

$$= 271,812 \text{ μF/g}$$

Lampiran 3. Dokumentasi Penelitian



Karbon Sekam Padi



Tahapan Ekstraksi Silika



Standar Metilen Biru



Standarisasi HCL untuk digunakan dalam Titrasi Boehm



Badan Elektroda



Diagram Sel Voltammetri



Pengukuran menggunakan alat potensiostat

