



TUGAS AKHIR-TL184834

**ANALISIS PENGARUH WAKTU KARBONISASI HIDROTERMAL
TERHADAP KARAKTERISTIK PORI DAN PERFORMA
KAPASITANSI KOMPOSIT NANOPARTIKEL SILIKA-KARBON**

**AZARINE ATHA PANDANI
NRP. 0251164000087**

**Dosen Pembimbing
Dian Mughni Fellicia, S.T., M.Sc
Haniffudin Nurdiansah, S.T., M.T.**

**DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020**



TUGAS AKHIR–TL 184834

**ANALISIS PENGARUH WAKTU KARBONISASI
HIDROTERMAL TERHADAP KARAKTERISTIK PORI
DAN PERFORMA KAPASITANSI KOMPOSIT
NANOPARTIKEL SILIKA-KARBON**

AZARINE ATHA PANDANI
NRP. 0251164000087

Dosen Pembimbing
Dian Mughni Fellicia, S.T., M.Sc.
Haniffudin Nurdiansah, S.T., M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



FINAL PROJECT–TL 184834

**ANALYSIS OF THE EFFECT OF HYDROTHERMAL
CARBONIZATION TIME ON PORE CHARACTERISTICS
AND CAPACITANCE PERFORMANCE OF SILICA-
CARBON NANOPARTICLE COMPOSITES**

AZARINE ATHA PANDANI
NRP. 0251164000087

Supervisors
Dian Mughni Fellicia, S.T., M.Sc.
Haniffudin Nurdiansah, S.T., M.T.

MATERIAL AND METALLURGICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology and System Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

(This page is intentionally left blank)

**ANALISIS PENGARUH WAKTU KARBONISASI
HIDROTERMAL TERHADAP KARAKTERISTIK PORI
DAN PERFORMA KAPASITANSI KOMPOSIT
NANOPARTIKEL SILIKA-KARBON**

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada

Program Studi S-1 Departemen Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

AZARINE ATHA PANDANI
NRP 02511640000087

Disetujui Oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Dian Mughni Fellicia, S.T., M.Sc..... (Pembimbing I)
2. Haniffudin Nurdiansah, S.T., M.T..... (Pembimbing II)



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**ANALISIS PENGARUH WAKTU KARBONISASI
HIDROTERMAL TERHADAP KARAKTERISTIK PORI
DAN PERFORMA KAPASITANSI KOMPOSIT
NANOPARTIKEL SILIKA-KARBON**

Nama : Azarine Atha Pandani
NRP : 0251164000087
Departemen : Teknik Material
Pembimbing I : Dian Mughni Fellicia, S.T., M.Sc.
Pembimbing II : Haniffudin Nurdiansah, S.T., M.T.

Abstrak

Sektor penyimpanan energi saat ini berkembang cukup pesat, salah satunya terkait performa kapasitansi elektroda baterai.. Indonesia merupakan salah satu negara dengan penghasil padi terbanyak di dunia, setelah Cina dan India. Sekam padi dapat diekstraksi menjadi silika dengan metode sol-gel. Dan menjadi karbon dengan metode hidrotermal karbonisasi. Metode Hydrothermal Carbonization (HTC) dipilih karena ramah lingkungan dan ekonomis. Silika dan karbon yang didapatkan dari sekam padi kemudian dibentuk menjadi komposit nanopartikel silika-karbon. Pada hidrotermal karbonisasi, variabel yang divariasikan adalah waktunya, yaitu 2, 4, 6, 8, 10, dan 12 jam masing-masing pada temperatur 250°C. Setelah itu, sampel diuji XRD, FTIR, SEM-EDX untuk mengetahui karakterisasinya, serta diuji CV untuk mengetahui kapasitansi spesifiknya. Didapatkan bahwa kapasitansi spesifik tertinggi berturut-turut dimiliki oleh waktu hidrotermal 12 jam (13,873 F/g), 8 jam (13,336 F/g), 6 jam (11,693 F/g), 4 jam (4,601 F/g), dan 2 jam (0,672 F/g) dimana seiring dengan bertambahnya waktu karbonisasi hidrotermal, bertambah pula kapasitansi spesifiknya.

Kata Kunci : *HTC, Karbon, Sekam padi, Silika, Silika-karbon.*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**ANALYSIS OF THE EFFECT OF HYDROTHERMAL
CARBONIZATION TIME ON PORE CHARACTERISTICS
AND CAPACITANCE PERFORMANCE OF SILICA-
CARBON NANOPARTICLE COMPOSITES**

Student Name : Azarine Atha Pandani
NRP : 0251164000087
Department : Material Engineering
Supervisor : Dian Mughni Fellicia, S.T., M.Sc.
Co-Supervisor : Haniffudin Nurdiansah, S.T., M.T.

Abstract

The energy storage sector is developing quite rapidly, one of which is related to battery capacitance performance.. Indonesia is one of the countries with the most rice producers in the world, after China and India. Rice husks can be extracted into silica by the sol-gel method and become carbon by hydrothermal carbonization method. The Hydrothermal Carbonization (HTC) method was chosen because it is environmentally friendly and economical. Silica and carbon obtained from rice husks are then formed into silica-carbon nanoparticle composites. In hydrothermal carbonization, the time is varied, which are 2, 4, 6, 8, 10, and 12 hours each at a temperature of 250°C. Then samples were tested by XRD, FTIR, SEM-EDX to determine their characteristics and CV for their specific capacitance. It was found that the highest specific capacitance was owned by the hydrothermal time 12 hours (13,873 F / g), 8 hours (13,336 F / g), 6 hours (11,693 F / g), 4 hours (4,601 F / g), and 2 hours (0.672 F / g).

Keywords : *Carbon, HTC, Rice husk, Silica, Silica-carbon.*

(This page is intentionally left blank)

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis ucapkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa berkat rahmat dan karunia-Nya penelitian Tugas Akhir dapat terlaksanakan dengan baik dan dapat selesai tepat pada waktunya. Tujuan dari penyusunan Laporan Tugas Akhir adalah untuk memenuhi salah satu syarat akademis yang wajib dipenuhi dalam kuliah program studi Departemen Teknik Material FTI-ITS, Surabaya.

Terselesaikannya Laporan Tugas Akhir tidak luput dari bantuan, motivasi serta partisipasi dari semua pihak, untuk itu pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan terima kasih sebesar-besarnya kasih kepada:

1. Orang tua dan keluarga yang selalu mendukung serta memberikan doa selama penelitian tugas akhir dan penyusunan laporan.
2. Ibu Dian Mughni Fellicia, S.T., M.Sc. dan Bapak Haniffudin Nurdiansah, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing Tugas Akhir atas bimbingannya selama pelaksanaan dan penyusunan Laporan Tugas Akhir.
3. Ibu Diah Susanti, S.T., M.T., Ph.D dan Ibu Hariyati Purwaningsih, S.Si., M.Si. selaku dosen pembimbing utama Tugas Akhir yang telah membimbing penulis dengan sabar.

Penulis menyadari penyusunan laporan ini masih jauh dari kesempurnaan. Untuk itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari pembaca. Semoga laporan ini dapat berguna bagi penulis dan semua pihak yang terkait.

Surabaya, 23 Januari 2020
Penulis

Azarine Atha Pandani

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xix
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Sekam Padi	5
2.2 Silika	6
2.3 Karbon	8
2.3.1 Hydrothermal Carbonization (HTC)	9
2.4 Komposit Nanopartikel Silika-Karbon	10
2.5 Elektroda Material	12
2.6 Penelitian Terdahulu (<i>State of The Art</i>)	14
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Bahan Penelitian	19
3.2 Bahan Penelitian	23
3.3 Alat Penelitian	23
3.4 Pengujian	27
3.4.1 Persiapan Bahan	27
3.4.2 Ekstraksi Silika dari Sekam Padi	27
3.4.3 Sintesis Karbon dari Sekam Padi	28
3.4.4 Pembuatan Komposit Nanopartikel Silika Karbon Mesopori	29
3.4.5 Pengujian X-Ray Diffraction (XRD)	29

3.4.6	Pengujian Scanning Electron Microscopy (SEM)	30
3.4.7	Pengujian Fourier Transform Infra Red (FTIR)	32
3.4.8	Uji Cyclic Voltametri (CV)	34
3.5	Rancangan Penelitian	37
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		
4.1	Hasil Uji X-Ray Diffraction (XRD)	39
4.2	Hasil Fourier Transform Infrared (FTIR)	45
4.3	Hasil Uji Scanning Electron Microscopy (SEM)	54
4.4	Pengujian Cyclic Voltammetry (CV)	59
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		
5.1	Kesimpulan	67
5.2	Saran	67
DAFTAR PUSTAKA		69
LAMPIRAN		75
UCAPAN TERIMA KASIH		91
BIODATA PENULIS		93

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Klasifikasi struktur karbon berpori berdasarkan ukuran pori menurut IUPAC	9
Gambar 2.2	Sintesis komposit silika-karbon.....	12
Gambar 2.3	Ilustrasi sel elektrokimia.....	12
Gambar 2.4	Hasil uji TEM dari A) komposit nanopartikel silika-karbon Si ₅₀ -C ₅₀ dan B) Silika (Si ₅₀ C ₅₀ -Si) dan C) Karbon (Si ₅₀ C ₅₀ -C) setelah penghilangan karbon dan silika	16
Gambar 3.1	Diagram alir ekstraksi silika dari sekam padi.....	20
Gambar 3.2	Diagram alir sintesis karbon dari sekam padi.....	21
Gambar 3.3	Diagram alir pembuatan komposit nanopartikel silika-karbon mesopori	22
Gambar 3.4	Timbangan digital.....	23
Gambar 3.5	<i>Hot plate</i> dan <i>magnetic stirrer</i>	24
Gambar 3.6	Kertas pH.....	24
Gambar 3.7	Kertas saring.....	25
Gambar 3.8	<i>Autoclave</i>	25
Gambar 3.9	<i>Tubular furnace</i>	26
Gambar 3.10	<i>Crucible furnace</i>	26
Gambar 3.11	<i>Muffle furnace</i>	27
Gambar 3.12	Alat uji XRD PANalytical.....	29
Gambar 3.13	Alat uji SEM-EDX FEI tipe Inspect S-50	30
Gambar 3.14	Skema alat uji SEM	32
Gambar 3.15	Alat uji FTIR	32
Gambar 3.16	Skema alat uji FTIR.....	34
Gambar 3.17	Alat uji CV	34
Gambar 3.18	Spesifikasi CorrTest	36
Gambar 4.1	Difraktogram hasil XRD (a) Sekam padi, (b) Sekam padi dengan <i>leaching</i> menggunakan HNO ₃ , (c) Abu sekam padi, dan (d) Ekstraksi silika	39

Gambar 4.2	Difraktogram hasil XRD karbon C-2 (a) sebelum dan (b) setelah aktivasi	41
Gambar 4.3	Difraktogram hasil XRD karbon C-4 (a) sebelum dan (b) setelah aktivasi	42
Gambar 4.4	Difraktogram hasil XRD karbon C-6 (a) sebelum dan (b) setelah aktivasi	42
Gambar 4.5	Difraktogram hasil XRD karbon C-8 (a) sebelum dan (b) setelah aktivasi	43
Gambar 4.6	Difraktogram hasil XRD: (a) SiO ₂ -C-2, (b) SiO ₂ -C-4, (c) SiO ₂ -C-6, (d) SiO ₂ -C-8, dan (e) SiO ₂ -C-12.....	44
Gambar 4.7	Spektra hasil pengujian FTIR: (a) Sekam padi, (b) Abu sekam padi, dan (c) Silika hasil ekstraksi sekam padi	45
Gambar 4.8	Spektra hasil Pengujian FTIR (a) sebelum dan (b) sesudah aktivasi karbon aktif dengan perlakuan hidrotermal 2 jam.....	47
Gambar 4.9	Spektra hasil pengujian FTIR (a) sebelum dan (b) sesudah aktivasi karbon aktif dengan perlakuan hidrotermal 4 jam.....	49
Gambar 4.10	Spektra hasil pengujian FTIR (a) sebelum dan (b) sesudah aktivasi karbon aktif dengan perlakuan hidrotermal 6 jam.....	50
Gambar 4.11	Spektra hasil pengujian FTIR (a) sebelum dan (b) sesudah aktivasi karbon aktif dengan perlakuan hidrotermal 8 jam.....	51
Gambar 4.12	Spektra hasil uji FTIR: (a) SiO ₂ -C-2, (b) SiO ₂ -C-4, (c) SiO ₂ -C-6, (d) SiO ₂ -C-8, dan (e) SiO ₂ -C-12	53
Gambar 4.13	Hasil pengujian SEM silika hasil ekstraksi sekam padi dengan perbesaran (a) 5000x dan (b) 20000x	55
Gambar 4.14	Hasil pengujian SEM karbon aktif dengan perlakuan hidrotermal 6 jam dengan perbesaran (a) 1000x dan (b) 5000x	56

Gambar 4.15	Hasil pengujian SEM karbon aktif dengan perlakuan hidrotermal 2 jam dengan perbesaran (a) 5000x dan (b) 25000x	56
Gambar 4.16	Hasil pengujian SEM karbon aktif dengan perlakuan hidrotermal 12 jam dengan perbesaran (a) 5000x dan (b) 25000x	57
Gambar 4.17	Hasil pengujian SEM komposit nanopartikel silika-karbon dengan waktu karbonisasi hidrotermal 2 jam dengan perbesaran (a) 5000x dan (b) 10000x.....	58
Gambar 4.18	Hasil pengujian SEM komposit nanopartikel silika-karbon dengan waktu karbonisasi hidrotermal 8 jam dengan perbesaran (a) 1000x, (b) 5000x	58
Gambar 4.19	Hasil pengujian SEM komposit nanopartikel silika-karbon dengan waktu karbonisasi hidrotermal 6 jam dengan perbesaran (a) 1000x, (b) 5000x, dan (c) mapping unsur	59
Gambar 4.20	Hasil pengujian CV pada: (a) C-2 dan (b) C-4.....	60
Gambar 4.21	Hasil pengujian CV pada: (a) C-6, (B) C-8, dan (c) C-12.....	61
Gambar 4.22	Hasil pengujian CV pada: (a) SiO ₂ -C-2, (b) SiO ₂ C-4, (c) SiO ₂ -C-6	62
Gambar 4.23	Hasil pengujian CV pada: (a) SiO ₂ -C-8, dan (b) SiO ₂ -C-12	63
Gambar 4.24	Hasil pengujian LSV komposit silika-karbon: (a) SiO ₂ -C-2, (b) SiO ₂ C-4, dan (c) SiO ₂ -C-6	65
Gambar 4.25	Hasil pengujian LSV komposit silika-karbon: (a) SiO ₂ -C-8, dan (b) SiO ₂ -C-12.....	66

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Kandungan sekam padi	5
Tabel 2.2	Kandungan abu sekam padi.....	6
Tabel 2.3	Karakterisasi hidrokar pada temperatur 200°C dan 300°C selama 2-16 jam.....	17
Tabel 2.4	Karakteristik komposit nanopartikel silika-karbon mesopori yang terbentuk	18
Tabel 3.1	Rancangan Penelitian	37
Tabel 4.1	Gugus fungsi sampel sekam padi, abu sekam padi, dan silika hasil ekstraksi.....	46
Tabel 4.2	Gugus fungsi sampel karbon sebelum dan setelah aktivasi dengan perlakuan hidrotermal selama 2 jam.....	48
Tabel 4.3	Gugus fungsi sampel karbon sebelum dan setelah aktivasi dengan perlakuan hidrotermal selama 4 jam.....	49
Tabel 4.4	Gugus fungsi sampel karbon sebelum dan setelah aktivasi dengan perlakuan hidrotermal selama 6 jam.....	51
Tabel 4.5	Gugus fungsi sampel karbon sebelum dan setelah aktivasi dengan perlakuan hidrotermal selama 8 jam.....	52

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan elektroda beberapa tahun terakhir sangatlah pesat. Hal ini tidak lain akibat dari semakin cepat berkembangnya teknologi. Seiring dengan berkembangnya teknologi, dibutuhkan elektroda dengan performa kapasitansi yang baik, terutama dengan meningkatnya standar kelayakan hidup, sehingga pemilihan material elektroda merupakan salah satu aspek yang sangat penting. Hal ini karena material berpengaruh besar terhadap sifat-sifat yang diinginkan. Karbon adalah salah satu material yang baik untuk dijadikan bahan dasar sebuah elektroda. Elektroda dengan bahan dasar karbon memiliki luas permukaan yang besar, rentang potensial yang besar, konduktivitas listrik yang baik, delokalisasi elektron yang baik, serta stabilitas kimia dan termal yang baik. Selain sifatnya yang cocok untuk dijadikan bahan dasar elektroda baterai, karbon juga memiliki banyak variasi alotropi, dari yang berbentuk kristalin (intan dan grafit) hingga amorf (karbon aktif, karbon hitam, dll).

Penelitian lebih lanjut mengenai sintesis karbon dengan menggunakan bahan-bahan alami seperti padi, tebu, kelapa sawit, dan beberapa material alami lainnya masih sangat perlu dikembangkan. Material-material alam dapat disintesis menjadi karbon, salah satunya dengan metode HTC (*Hydrothermal Carbonization*). Beberapa kelebihan dari proses HTC adalah temperatur karbonisasi yang rendah (130-250°C), prekursor yang tidak perlu dikeringkan karena terjadi di air pada tekanan yang menyesuaikan, terbentuk partikel mikro berbentuk bulat, pori yang dihasilkan mudah diatur, dan material yang dapat dikombinasi dengan komponen lain (Titirici dkk., 2012). Banyak faktor yang mempengaruhi hasil dari HTC, salah satunya adalah waktu karbonisasinya.

Di alam, karbon dan silika banyak ditemukan di beberapa bahan organik. Salah satunya adalah pada sekam padi. Pada sekam

padi, terdapat SiO_2 sebesar 10,6% dan 37,05% karbon (Shen, 2017). Sedangkan pada abu sekam padi, terdapat 89% SiO_2 . Selain silika, sekam padi juga mengandung 24,3% hemiselulosa, 34,4% selulosa, 19,2% lignin, 18,85% arang (Babaso, 2017).

Sekam padi merupakan salah satu produk sampingan yang diperoleh dari penggilingan beras. Pada setiap ton beras yang diproduksi, terdapat 0,23 ton sekam padi yang dihasilkan. (Prasad dkk., 2012). Indonesia merupakan salah satu penghasil beras terbesar di dunia (Suryana dkk., 2018), yaitu mencapai 32,42 juta ton beras (Badan Pusat Statistik, 2018).

Komposit silika-karbon mesopori termasuk material mesopori baru. Komposit silika-karbon memiliki struktur pori yang mudah diatur, permukaan yang luas, serta ukuran pori yang besar dan mudah diatur yang memudahkan terjadinya difusi reaktan dan produk di dalam pori. Selain itu, komposit silika-karbon juga bersifat hidrofobik dan dapat digunakan untuk banyak aplikasi pada katalisis, adsorpsi, alat optik, dan elektroda.

Kalderis, dkk pada tahun 2014 telah melakukan penelitian mengenai karakteristik hidrokarbon yang didapatkan dari hidrotermal karbonisasi sekam padi pada temperatur 200°C dan 300°C selama 2-16 jam. Pada kedua temperatur, setelah 6 jam, *yield* terlihat konstan, menandakan bahwa perubahan-perubahan besar serta penyusunan ulang struktur terjadi pada 6 jam pertama. Sehingga, setelah 6 jam, struktur telah stabil. Karbon yang dihasilkan pada waktu 16 jam mengalami kenaikan dari 36,1% menjadi 43% untuk temperatur 200°C dan 47% untuk temperatur 300°C (Kalderis dkk., 2014). Penelitian oleh Kalderis, dkk masih membahas mengenai pengaruh temperatur dan waktu karbonisasi hidrotermal terhadap karakteristik hidrokarbon, belum membahas mengenai pengaplikasiannya pada komposit nanopartikel silika-karbon mesopori sebagai elektroda baterai logam-udara. Zhong, dkk pada tahun 2015 telah melakukan penelitian tentang sintesis komposit nanopartikel silika-karbon mesopori dengan menggunakan TEOS sebagai prekursor silika, sukrosa sebagai prekursor karbon, dan F127 sebagai *template*. Didapatkan volume pori sebesar 0,22 cm^3g^{-1}

¹, volume mesopori $0,20 \text{ cm}^3\text{g}^{-1}$, ukuran pori $6,4 \text{ nm}$ dengan kadar karbon 19% (Zhong dkk., 2015). Pembuatan komposit nanopartikel silika-karbon mesopori dengan TEOS, sukrosa, dan F127 membutuhkan biaya yang cukup tinggi. Selain itu, TEOS dinilai memerlukan penanganan dan penyimpanan yang sulit serta mudah terbakar. Material organik dinilai lebih ekonomis dan ramah lingkungan. Salah satu material organik yang mendukung pembuatan silika, karbon, dan komposit nanopartikel silika-karbon mesopori adalah sekam padi.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh perbedaan waktu karbonisasi hidrotermal terhadap karakteristik pori dan luas spesifik komposit nanopartikel silika-karbon mesopori serta performa kapasitansinya.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan penjelasan latar belakang, maka dapat diambil rumusan masalah sebagai berikut.

1. Bagaimana pengaruh perbedaan waktu karbonisasi hidrotermal terhadap karakteristik pori dan luas spesifik komposit nanopartikel silika-karbon?
2. Bagaimana pengaruh perbedaan waktu karbonisasi hidrotermal terhadap performa kapasitansi komposit nanopartikel silika-karbon?

1.3 Batasan Masalah

Terdapat beberapa batasan masalah dalam penelitian ini, yaitu sebagai berikut.

1. Kualitas sekam padi dianggap sama.
2. Kondisi lingkungan dianggap tidak berpengaruh.
3. Fluktuasi dalam *furnace* dianggap konstan.
4. Tekanan dan kelembaban dianggap tetap.
5. Temperatur kamar dianggap konstan 25°C .

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Menganalisis pengaruh perbedaan waktu karbonisasi hidrotermal terhadap karakteristik pori dan luas spesifik komposit nanopartikel silika-karbon.
2. Menganalisis pengaruh perbedaan waktu karbonisasi hidrotermal terhadap performa kapasitansi komposit nanopartikel silika-karbon.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat dalam bidang nanomaterial dan penyimpanan energi, seperti pada elektroda baterai.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sekam Padi

Sekam padi merupakan salah satu produk sampingan yang diperoleh dari penggilingan beras. Pada setiap ton beras yang diproduksi, terdapat 0,23 ton sekam padi yang dihasilkan. (Prasad dkk., 2012). Indonesia merupakan salah satu penghasil beras terbesar di dunia (Suryana dkk., 2018), yaitu mencapai 32,42 juta ton beras (Badan Pusat Statistik, 2018).

Kadar SiO_2 terbesar pada padi terletak di sekamnya, yaitu sebesar 8,7%-12,1%, dengan rata-rata mencapai 10,6% (Shen, 2017). Sekam padi mengandung antara lain 24,3% hemiselulosa, 34,4% selulosa, 19,2% lignin, 18,85% arang, dan 3,25% unsur pendukung lainnya. Kandungan sekam padi dapat dilihat seperti pada Tabel 2.1. Hemiselulosa digunakan sebagai pembantu karbon aktivasi, xilosa, dan SiO_2 . Sekam padi memiliki *bulk density* 96-100 kg/m^3 dan kekerasan (skala Mohr) 5-6. Komposisi sekam padi bergantung pada banyak faktor, seperti variasi beras, tipe pupuk yang digunakan, kandungan kimia tanah, dan lokasi geografis (Babaso dkk., 2017).

Tabel 2.1 Kandungan sekam padi (Babaso dkk., 2017)

Kandungan Sekam Padi	Kadar Unsur (%)
Karbon	37,05
Oksigen	35,03
Nitrogen	11,06
Silikon	9,01
Hidrogen	8,00

Sekam padi memiliki kandungan abu yang cukup tinggi, antara 14-25%. Kandungan silika pada abu sekam padi bervariasi antara 83-98%. Kandungan silika yang cukup tinggi menjadikan abu sekam padi sebagai material yang bernilai dalam aplikasi

industri. Komposisi kimia abu sekam padi adalah seperti pada Tabel 2.2 (Babaso dkk., 2017).

Tabel 2.2 Kandungan abu sekam padi (Babaso dkk., 2017)

Komposisi Kimia	Kadar (%)
SiO ₂	89,00
C	18,24
Fe ₂ O ₃	1,28
K ₂ O	1,22
Al ₂ O ₃	1,20
CaO	1,00

2.2 Silika

Silika merupakan material anorganik yang sangat penting dan banyak digunakan untuk komersil. Beberapa di antaranya adalah sebagai *molecular sieves*, katalis, dan aplikasi biomedis dan elektrik (Shen, 2017). Silika adalah senyawa hasil polimerisasi asam silikat, yang tersusun dari rantai satuan SiO₄ tetrahedral dengan formula umum SiO₂. Di alam, silika dapat ditemukan di beberapa bahan alam, seperti pasir, kuarsa, gelas, dan sebagainya. Silika yang ada di alam berstruktur kristalin dan bila sintesis adalah amorph. Silika dapat dibuat dari larutan silikat atau dari pereaksi silan (Sulastri dkk., 2010).

Silika gel merupakan bentuk silika sintesis yang bersifat amorph. Selain mudah diproduksi, kelebihan silika gel, yaitu: sangat inert, hidrofilik, mempunyai kestabilan termal dan mekanik yang tinggi serta relatif tidak mengembang dalam pelarut organik jika dibandingkan dengan padatan resin polimer organik. Hal ini menyebabkan silika gel dimanfaatkan sebagai adsorben. Kualitas silika gel berbeda-beda, dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti struktur internal, ukuran partikel, porositas, luas permukaan, ketahanan dan polaritasnya. Sifat sebagai penyerap yang disebut juga sifat adsorptif adalah karena adanya situs aktif pada permukaan (Sulastri dkk., 2010).

Silika gel dihasilkan melalui penggumpalan sol natrium silikat (NaSiO₂). Sol mirip agar-agar ini dapat didehidrasi

sehingga berubah menjadi padatan atau butiran mirip kaca yang bersifat tidak elastis. Sifat ini menjadikan silika gel dimanfaatkan sebagai zat penyerap, pengering, dan penopang katalis. Silika gel merupakan produk yang aman digunakan untuk menjaga kelembaban makanan, obat-obatan, bahan sensitif, elektronik, dan film sekalipun. Produk anti lembab ini menyerap lembab tanpa mengubah kondisi zatnya. Walaupun dipegang, butiran-butiran silika gel ini tetap kering (Handayani dkk., 2015).

Beberapa tahun terakhir, silika berpori banyak diteliti karena banyaknya potensi untuk diaplikasikan pada berbagai bidang. Beberapa aplikasi penting dari silika berpori adalah pada pembuangan polutan dalam air, pembuangan karbon organik yang mudah menguap, sebagai katalis atau penunjang katalis, biokatalis, penangkapan langsung CO₂, diagnosa medis, serta pengaliran obat. Sifat-sifat penting silika berpori adalah ukuran partikel dan distribusi ukuran partikel, morfologi dan struktur pori yang diinginkan, luas permukaan, diameter pori, dan kemurnian kimianya. Sifat-sifat tersebut penting untuk hidrotermal, koloid, suspensi, dan stabilitas dispersi partikel (Jadhav dkk., 2017).

Silikat yang dipolimerisasi dengan surfaktan larutan encer yang netral dapat menghasilkan silika mesopori (Mehmood dkk., 2017). Silika mesopori ini banyak digunakan sebagai *template* sintesis material lain pada sistem elektrokimia sebagai penyimpanan dan pengkonversi energi, seperti pada anoda dan katoda pada baterai Lithium. Silika mesopori ini berfungsi untuk menahan material elektroaktif pada proses pengisian/pengosongan disamping menyiapkan ruang untuk pemuain volume sebagai hasil dari reaksi dengan lithium atau senyawa lithium organik (Eftekhari, 2017).

MCM-41, MCM-48, dan SBA-15 merupakan silika mesopori yang paling banyak digunakan (Rahman dkk., 2015). MCM-41 (*Mobil Composition of Matter*) memiliki struktur mesopori yang seragam dan teratur yang berbentuk heksagonal seperti sarang lebah dengan dinding tipis silika amorf setebal 1-1,5

nm (Yunita, 2013). Ukuran luas permukaannya cukup besar, yaitu mencapai $1000 \text{ m}^2/\text{g}$ (Ahda, 2015).

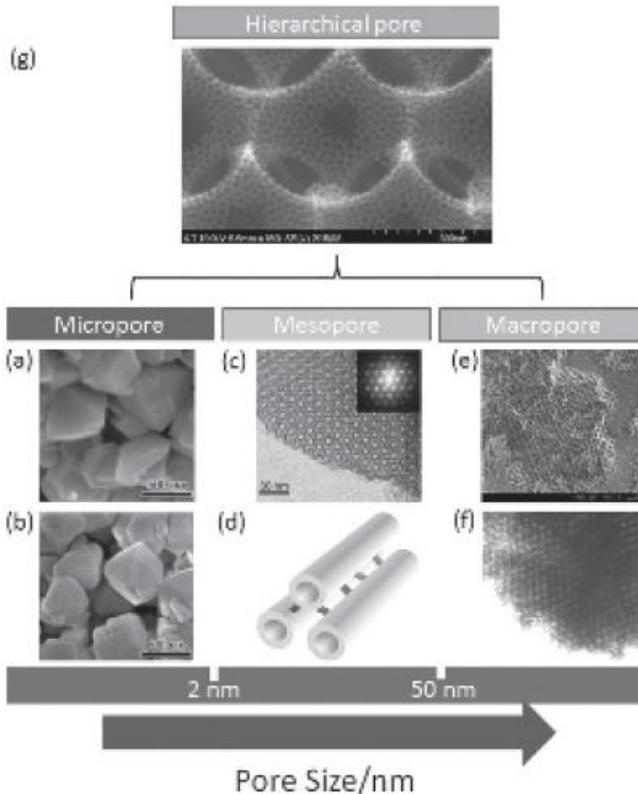
2.3 Karbon

Karbon adalah unsur terbanyak yang terdapat di kerak bumi dalam bentuk senyawa alami. Senyawa karbon alami sangat penting untuk pembentukan senyawa sintesis. Terdapat dua bentuk karbon yang dapat ditemukan sebagai mineral di bumi, yaitu grafit alami dan intan. Karbon juga merupakan unsur terbanyak di tata surya, setelah hidrogen, helium, dan oksigen, dalam bentuk hidrokarbon dan senyawa lain. Karbon saat ini banyak digunakan untuk pelumas (grafit alami), pemurnian gas dan pendukung katalis (*activated carbon*), komponen pesawat (karbon-komposit karbon), *coating* untuk *cutting tool* (*polycrystalline diamond*), mesin fotokopi (*carbon black*).

Karbon memiliki bermacam-macam alotropi. Masing-masing alotropinya memiliki bentuk molekul dan kristal yang berbeda. Perbedaan ini berpengaruh terhadap sifat dari *alotropi* karbon, seperti intan yang merupakan material terkeras, tembus cahaya (transparan) dan bersifat insulator elektrik, sedangkan grafit merupakan material terlunak, tidak tembus cahaya, dan bersifat konduktor. Perbedaan ini tidak hanya terjadi pada intan dan grafit, tetapi juga pada *alotropi* karbon lainnya (Pierson, 1993).

Menurut IUPAC, terdapat tiga macam karbon berpori berdasarkan ukurannya, yaitu mikropori dengan ukuran pori $< 2 \text{ nm}$, mesopori dengan ukuran pori $2\text{-}50 \text{ nm}$, serta makropori dengan ukuran pori $> 50 \text{ nm}$, seperti yang terlihat pada Gambar 2.1.

Karbon mesopori banyak digunakan sebagai pendukung katalis, elektroda, dan adsorben pewarna. Untuk menambah konduktivitas listriknya, dibutuhkan karbon mesopori dengan permukaan yang luas serta kekristalan grafit yang baik. Karbon mesopori dapat disintesis melalui metode sol-gel dengan silika sebagai prekursor. SBA-15 dapat digunakan untuk mendapatkan karbon mesopori dengan tingkat keteraturan yang tinggi dan diameter yang dapat diatur (Liu dan Jiang, 2017).



Gambar 2.1 Klasifikasi struktur karbon berpori berdasarkan ukuran pori menurut IUPAC (Liu dan Jiang, 2017)

2.3.1 Hydrothermal Carbonization (HTC)

HTC (*Hydrothermal Carbonization*) merupakan salah satu metode penting yang digunakan untuk sintesis material berkarbon (Titirici dan Antonetti, 2010). Dengan HTC, biomassa dapat diubah menjadi produk padatan seperti lignit (arang lembut berwarna hitam-kecoklatan) yang dipengaruhi oleh mediumnya. Pada umumnya HTC dilakukan pada temperatur yang relatif rendah (180-250°C) dengan tekanan otomatis dengan periode tertentu, menggunakan air murni pada wadah tertutup. Proses ini

menyebabkan menurunnya oksigen dan hidrogen dari bahan baku melalui dehidrasi dan dekarboksilasi. HTC menghasilkan tiga produk utama, yaitu residu padat, larutan aqueous (bio-oil yang tercampur air), dan sedikit gas (CO₂). Residu padat yang dihasilkan inilah yang disebut sebagai hidrocar. Hidrocar kaya akan karbon, serta bersifat hidrofobik dan rapuh, sehingga mudah untuk dipisahkan dari produk cair (Wang dkk., 2018).

Beberapa kelebihan dari HTC adalah: (i) temperatur karbonisasi rendah (130-250°C), (ii) prekursor tidak perlu dikeringkan, karena terjadi di air pada tekanan yang menyesuaikan, (iii) terbentuk partikel mikro berbentuk bulat, (iv) pori mudah diatur, dan (v) material dapat dikombinasi dengan komponen lain (Titirici dkk., 2012).

Grafit-kristalit dengan interstisi yang besar dapat terisi dengan zat seperti tar yang saat karbonisasi dapat menutup masuknya pori. Untuk membuka pori ini, perlu dilakukan aktivasi. Aktivasi adalah oksidasi parsial dimana residu karbon yang menutupi pori dihilangkan dengan pembakaran pada *superheated steam*, karbon dioksida, atau keduanya (Pierson, 1993).

Karbon aktivasi didapatkan melalui beberapa macam sintesis, seperti proses karbonisasi, aktivasi dengan zat kimia, dan pemanasan dengan *microwave*. Senyawa yang banyak digunakan sebagai perantara aktivasi karbon mikropori adalah NaOH dan KOH (Nguyen, 2012). Pada aktivasi karbon dengan zat kimia, terdapat dua tahapan yang berurutan, dimana agen kimia bercampur dengan prekursor, sebagai oksidan dan dehidrat. Pada temperatur aktivasi yang lebih rendah, maka dihasilkan struktur pori yang lebih baik (Tadda dkk., 2016).

2.4 Komposit Nanopartikel Silika-Karbon

Secara umum, komposit dianggap sebagai bahan multifase yang menunjukkan proporsi signifikan dari sifat kedua fase konstituen sehingga kombinasi sifat yang lebih baik dapat terwujud. Komposit dibuat untuk meningkatkan sifat mekaniknya, seperti kekakuan, ketangguhan, dan ketahanan terhadap temperatur

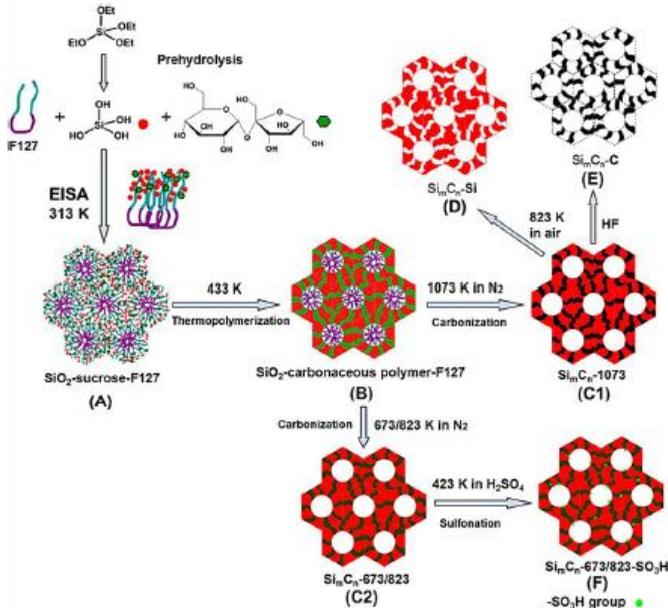
tinggi. Komposit kebanyakan tersusun atas dua fase, yaitu matriks, yang bersifat kontinu dan mengelilingi fase penguat.

Komposit dapat diklasifikasikan menjadi empat kelompok utama, yaitu *particle-reinforced*, *fiber-reinforced*, struktural, dan nanokomposit. Fasa penguat dari *particle-reinforced* adalah sama ke segala arah (*equiaxed*). Pada *fiber-reinforced*, fasa penguatnya berbentuk seperti serat (perbandingan panjang dan diameter yang besar). Komposit struktural memiliki banyak lapisan dan dirancang untuk memiliki densitas yang rendah dan ketuhan struktur yang tinggi. Nanokomposit memiliki fasa penguat yang berukuran nanometer (Callister dan Rethwisch, 2014).

Nanopartikel (1-100 nm) memiliki sifat fisikokimia yang unik yang tidak ada pada jumlah besar (>500 nm). Karena sifat uniknya, nanopartikel dapat dipakai dalam berbagai aplikasi, seperti *drug-delivery*, penyimpanan energi, pakaian, dan lain-lain (Singh, 2016).

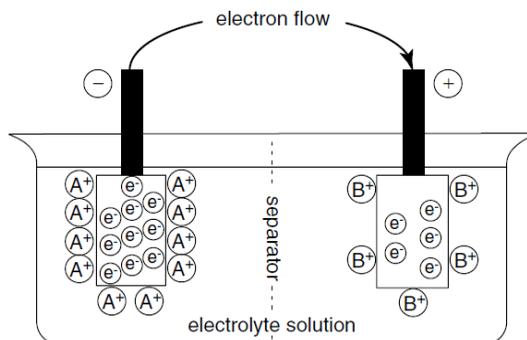
Komposit silika-karbon mesopori termasuk material mesopori baru. Komposit silika-karbon memiliki struktur pori yang mudah diatur, permukaan yang luas, serta ukuran pori yang besar dan mudah diatur yang memudahkan terjadinya difusi reaktan dan produk di dalam pori. Selain itu, komposit silika-karbon juga bersifat hidrofobik dan dapat digunakan untuk banyak aplikasi pada katalisis, adsorpsi, alat optik, dan elektroda.

Komposit silika-karbon diproduksi dengan infiltrasi prekursor karbon dalam silika mesopori dengan karbonisasi. Silika-karbon mesopori dapat pula diproduksi dengan karbonisasi organosilika/mesofase surfaktan atau silika mesopori/mesofase surfaktan, seperti ilustrasi pada Gambar 2.2 (Zhong dkk., 2015).



Gambar 2.2 Sintesis komposit silika-karbon (Zhong dkk., 2015)

2.5 Elektroda Material



Gambar 2.3 Ilustrasi sel elektrokimia (Daniel dan Besenhard, 2011)

Sel elektrokimia pada umumnya terdiri atas dua elektroda, yaitu anoda dan katoda seperti Gambar 2.3. Anoda adalah tempat terjadinya oksidasi, sementara katoda adalah tempat terjadinya reduksi (Fuller dan Harb, 2018). Penamaan ini berlaku pada reaksi pemakaian. Pada reaksi pengisian, berlaku sebaliknya (Daniel dan Besenhard, 2011). Elektron bergerak melalui sebuah sirkuit eksternal dengan konduktor elektronik yang menghubungkan anoda dengan katoda. Larutan yang berada di antara dua elektroda disebut dengan elektrolit. Elektrolit tidak membentuk elektron dan tidak mengandung elektron bebas, melainkan mengandung campuran ion negatif (anion) dan ion positif (kation) yang bebas bergerak sehingga mampu mengalirkan arus. Arus mengalir berlawanan arah jarum jam di sirkuit kontinu, termasuk larutan dan sirkuit eksternal. Arus mengalir dari elektrode menuju larutan (anoda) dan dari larutan menuju elektrode (katoda) (Fuller dan Harb, 2018). Arus elektron akan berhenti jika metal A telah terurai secara keseluruhan dan semua ion B⁺ telah mengendap. Oleh karena itu, ditambahkan garam terlarut pada elektrode positif untuk memperpanjang periodenya.

Sumber energi elektrokimia mengubah energi kimia menjadi energi listrik. Tipe sistem penyimpanan elektrokimia sangat bervariasi, tergantung pada reaksi kimia, struktur, dan desain. Sistem paling sederhana adalah sel galvanik. Sel galvanik menyediakan voltase sel yang relatif rendah, yaitu sebesar 0,5-5 V. Untuk mendapatkan voltase sel yang tinggi, dapat dihubungkan secara seri, sedangkan untuk mendapatkan kapasitas yang tinggi, dapat dihubungkan dengan paralel, yang keduanya disebut dengan baterai (Daniel dan Besenhard, 2011).

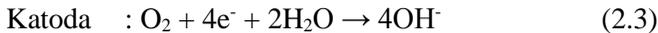
Kapasitas suatu baterai dipengaruhi oleh beberapa faktor, salah satunya luas elektroda yang digunakan. Semakin luas elektroda, maka bahan aktif yang dapat menghasilkan energi listrik juga semakin banyak. Sehingga besar kapasitas baterai juga semakin besar (Satriadi dkk., 2016).

Pada baterai Li-ion, porositas material elektrode sangat penting karena laju reaksinya ditentukan oleh difusi dalam keadaan

padat. Mesoporositas material elektroaktif dinilai dapat memperluas permukaan. Pada material mesopori, kemudahan terjadinya proses elektrokimia sangat dipengaruhi oleh struktur fisik dan kimia pori (Eftekhari, 2017).

Di antara beberapa tipe baterai logam-udara, larutan zinc-udara merupakan teknologi yang relatif lama dan meyakinkan untuk aplikasi energi di masa yang akan datang. Baterai zinc-udara memiliki densitas energi yang paling tinggi diantar sistem baterai primer lainnya.

Reaksi 2.1, reaksi 2.2, reaksi 2.3, dan reaksi 2.4 adalah reaksi-reaksi yang terjadi pada elektroda.



(Li dan Dai, 2014)

2.6 Penelitian Terdahulu (*State of The Art*)

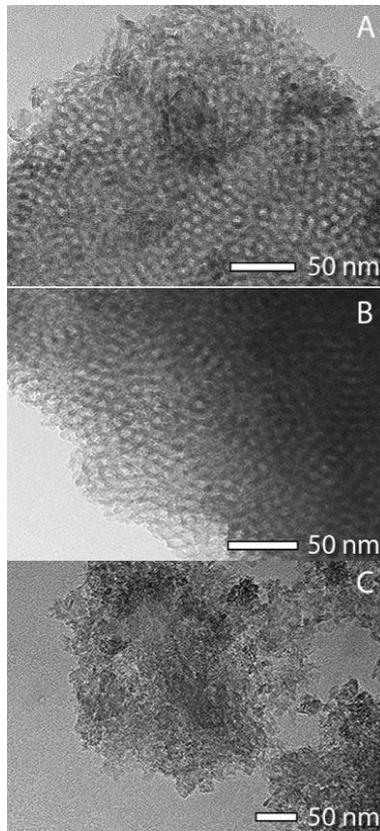
Kalderis, dkk pada tahun 2014 telah melakukan penelitian mengenai karakteristik hidrocar yang didapatkan dari hidrotermal karbonisasi sekam padi pada temperatur 200°C dan 300°C selama 2-16 jam. *Yield* yang dihasilkan pada 200°C berada pada rentang 66-58 wt%, sedangkan pada 300°C berada pada rentang 66-36 wt%. *Yield* yang dihasilkan semakin rendah seiring dengan naiknya temperatur dari 200°C dan 300°C. Hal ini diakibatkan oleh semakin berkurangnya kandungan oksigen dan hidrogen akibat dari reaksi deoksigenisasi yang terjadi. Pada kedua temperatur, setelah 6 jam, *yield* terlihat konstan, menandakan bahwa perubahan-perubahan besar serta penyusunan ulang struktur terjadi pada 6 jam pertama. Sehingga, setelah 6 jam, struktur sudah stabil.

Karbon yang dihasilkan pada waktu 16 jam untuk temperatur 200°C dan 300°C mengalami kenaikan dari 36,1% menjadi 43 dan 47%. Ini menunjukkan bahwa karbonisasi hanya berlangsung sebagian. Karbonisasi yang lebih sempurna mungkin didapatkan pada waktu karbonisasi yang lebih lama.

Konduktivitas listrik yang didapatkan sedikit meningkat pada 200°C dan 300°C, yakni sebesar 1 mS cm⁻¹ dan 1,2 mS cm⁻¹. Luas permukaan dan volume pori cukup rendah dan mirip untuk semua hidrokar. Kenaikan tren yang terjadi pada temperatur 200°C dapat terjadi akibat kekasaran permukaan, karena volume pori yang dihasilkan tetap sama. Pengaruh temperatur dan waktu dapat dilihat pada Tabel 2.3 (Kalderis dkk., 2014).

Pada tahun 2015, Zhong dkk telah melakukan penelitian tentang sintesis komposit nanopartikel silika-karbon mesopori dengan menggunakan TEOS sebagai prekursor silika, sukrosa sebagai prekursor karbon, dan F127 sebagai *template*.

Pada Gambar 2.4 terlihat bahwa komposit nanopartikel silika-karbon Si₅₀C₅₀-1073 memiliki mesostruktur heksagon yang sangat teratur. Berdasarkan uji TEM, jarak antar pori yang berdekatan adalah 10,9 nm dan rata-rata pori berukuran 6 nm dengan ketebalan dinding 5,3 nm. Data uji TEM ini sama dengan uji BET yang telah dilakukan, terlihat pada Tabel 2.4. Volume mesopori dari Si₅₀C₅₀-1073 dan Si₆₆C₃₃-1073 adalah sebesar 0,20 dan 0,22 cm³g⁻¹. Sedangkan, pada Si₃₃C₆₆-1073, volume porinya adalah sebesar 0,06 cm³g⁻¹ dan mesoporositasnya sangat sedikit, yaitu sebesar 0,01 cm³g⁻¹. Berdasarkan analisis TGA, kandungan karbon terbanyak dimiliki oleh Si₃₃C₆₆-1073, yaitu sebesar 49% lebih banyak dibandingkan dengan Si₅₀C₅₀-1073 dan Si₆₆C₃₃-1073 yang hanya sebesar 32% dan 19%. Hal ini yang menyebabkan sebagian besar mesoporinya tertutup (Zhong dkk., 2015).



Gambar 2.4 Hasil uji TEM dari A) komposit nanopartikel silika-karbon Si₅₀-C₅₀ dan B) Silika (Si₅₀C₅₀-Si) dan C) Karbon (Si₅₀C₅₀-C) setelah penghilangan karbon dan silika (Zhong dkk., 2015)

Tabel 2.3 Karakterisasi hidrocar pada temperatur 200°C dan 300°C selama 2-16 jam (Kalderis dkk, 2014)

Kode	Konduktivitas Listrik (mS)	C (%)	H (%)	Luas Permukaan (m ² g ⁻¹)	Volume Pori (cm ³ g ⁻¹)
H-200-2	0,98	37,82	4,82	14,6	0,034
H-200-4	1,01	39,83	4,51	19,4	0,056
H-200-6	1,02	40,81	4,31	20,7	0,064
H-200-8	1,01	42,60	4,17	21,5	0,076
H-200-12	0,99	44,08	4,06	22,6	0,092
H-200-16	0,98	43,13	3,83	29,7	0,128
H-300-2	1,18	41,87	2,97	14,5	0,065
H-300-4	1,23	42,43	3,55	24,9	0,082
H-300-6	1,35	45,56	3,20	20,3	0,074
H-300-8	1,17	46,01	3,26	19,1	0,069
H-300-12	1,34	46,19	3,26	23,3	0,073
H-300-16	1,36	47,32	3,13	18,7	0,049

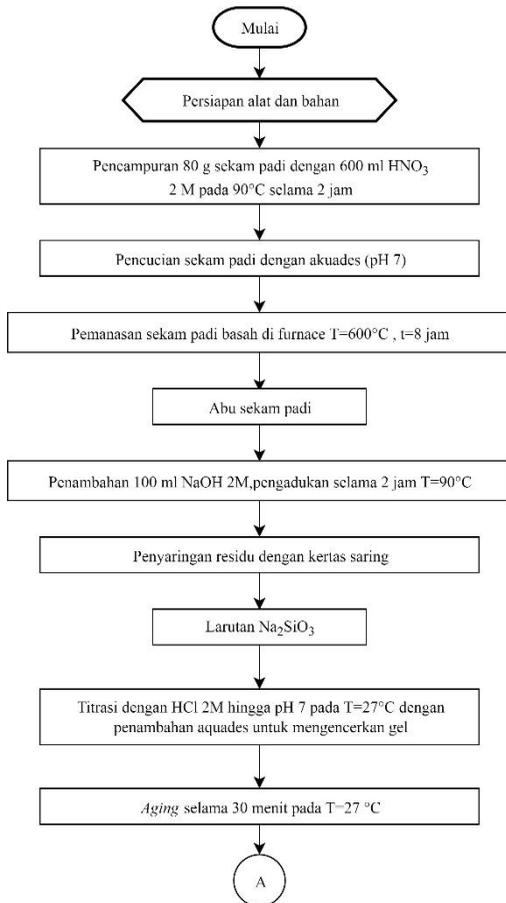
Tabel 2.4 Karakteristik komposit nanopartikel silika-karbon mesopori yang terbentuk (Zhong dkk., 2015)

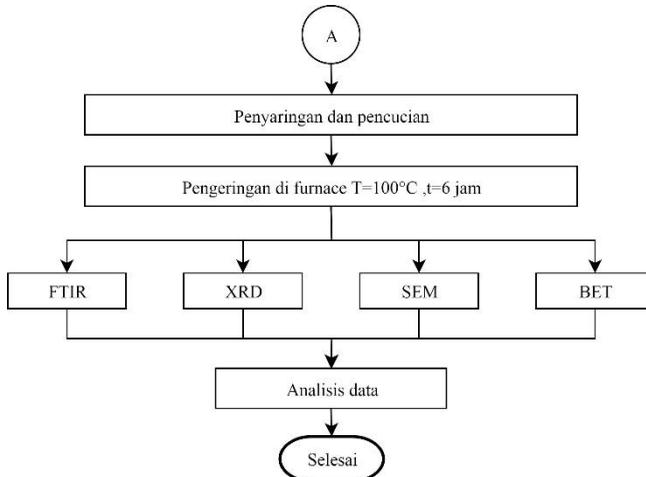
Sampel	C (%)	Luas Permukaan (m^2g^{-1})	Volume Pori (cm^3g^{-1})	Volume Mesopori (cm^3g^{-1})	Ukuran Pori (nm)
Si ₃₃ C ₆₆ -1073	49	155	0,06	0,01	5,2
Si ₅₀ C ₅₀ -1073	32	177	0,20	0,16	6,3
Si ₆₆ C ₃₃ -1073	19	156	0,22	0,20	6,4

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

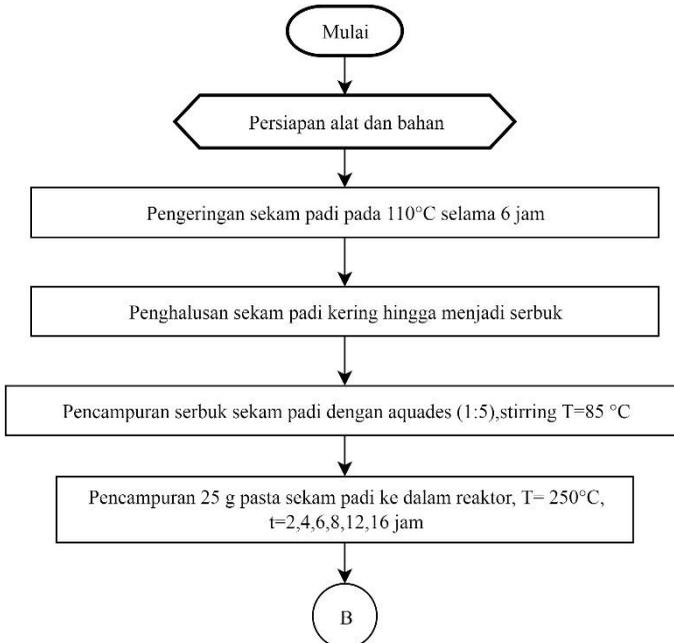
3.1 Bahan Penelitian

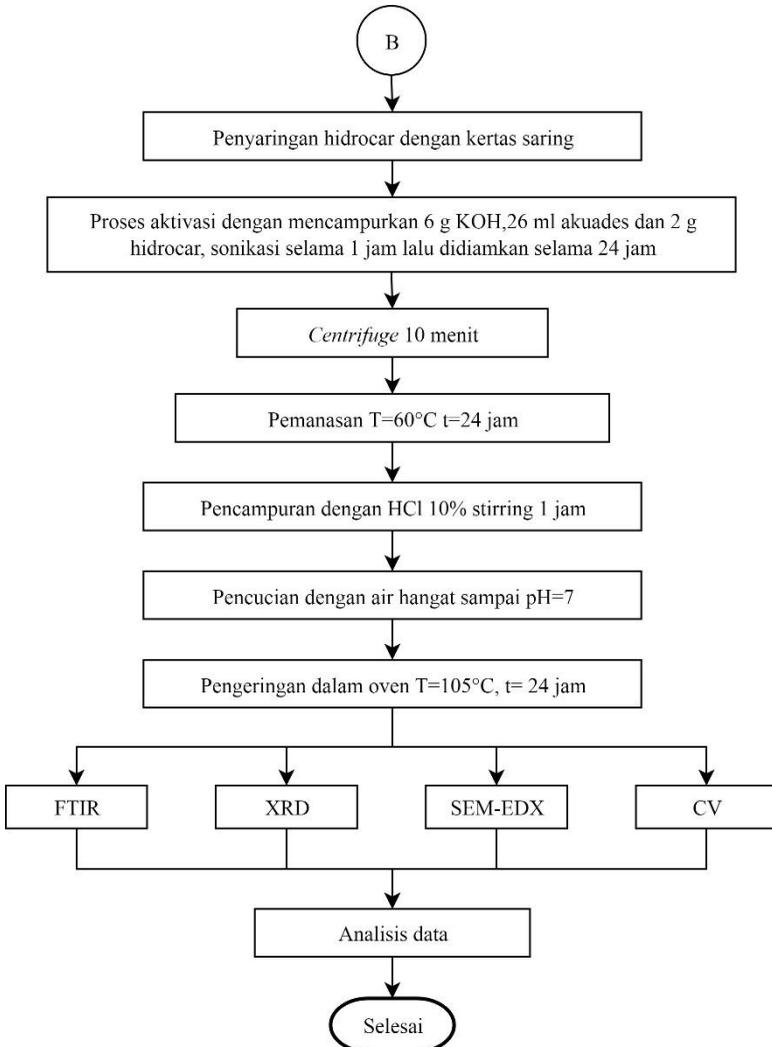
Pada penelitian ini terdapat tiga tahap percobaan, yaitu sintesis silika dari sekam padi (Gambar 3.1), sintesis karbon dari sekam padi (Gambar 3.2), dan pembuatan komposit nanopartikel silika-karbon mesopori (Gambar 3.3).



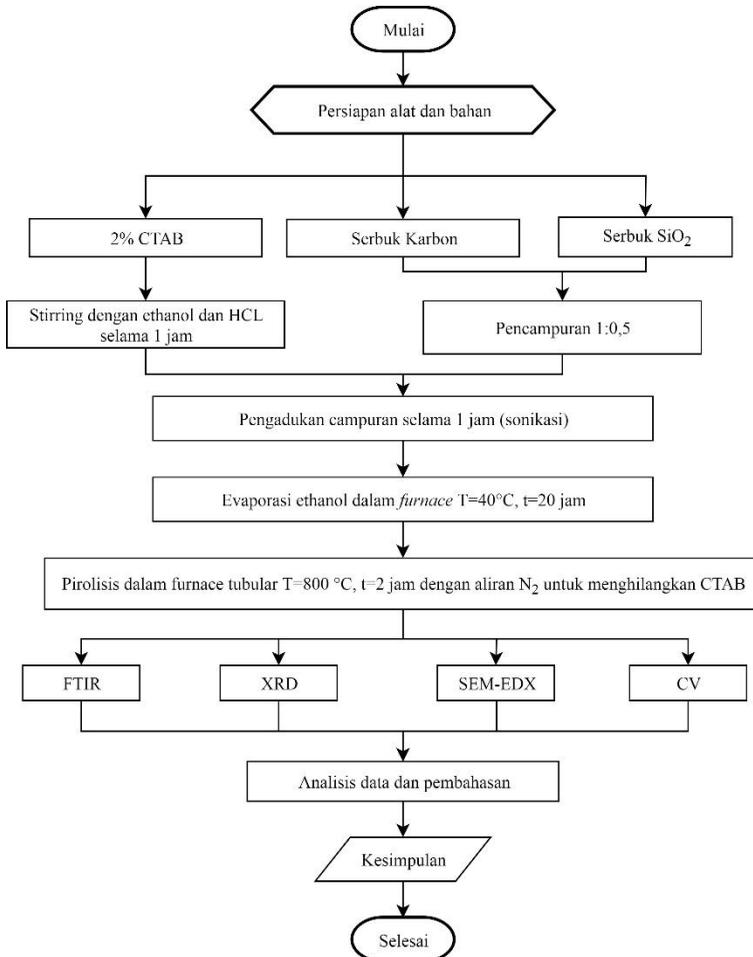


Gambar 3.1 Diagram alir ekstraksi silika dari sekam padi





Gambar 3.2 Diagram alir sintesis karbon dari sekam padi



Gambar 3.3 Diagram alir pembuatan komposit nanopartikel silika-karbon mesopori

3.2 Bahan Penelitian

Bahan yang dipakai pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Sekam padi
2. Aquades
3. Larutan Ethanol
4. Larutan Asam Nitrat (HNO_3) 65%
5. Serbuk Natrium Hidroksida (NaOH) 99%
6. Larutan Asam Klorida (HCl) 37%
7. Serbuk Cetryltrimetilammonium Bromida (CTAB) 99%
8. Kalium Hidroksida (KOH)

3.3 Alat Penelitian

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Timbangan digital

Timbangan digital digunakan untuk mengukur massa sekam padi dan bahan yang berupa serbuk.



Gambar 3.4 Timbangan digital

2. *Hot plate* dan *magnetic stirrer*

Hot plate dan *magnetic stirrer* digunakan pada proses *stirring* sampel dengan temperatur tertentu.



Gambar 3.5 Hot plate dan magnetic stirrer

3. Gelas beaker

Gelas beaker digunakan sebagai wadah sampel saat pencampuran, pengadukan, maupun pencucian dengan akuades.

4. Gelas ukur

Gelas ukur digunakan untuk mengukur volume bahan larutan yang digunakan.

5. Erlenmeyer

Erlenmeyer digunakan sebagai wadah bahan saat proses penyaringan dan pembuatan larutan.

6. Spatula

Spatula digunakan untuk mengambil bahan serbuk yang digunakan dan untuk mengaduk larutan.

7. Kertas pH

Kertas pH digunakan untuk mengukur pH larutan saat proses penyaringan dan titrasi.



Gambar 3.6 Kertas pH

8. Corong plastik

Corong plastik digunakan pada proses penyaringan sampel.

9. Kertas saring

Kertas saring digunakan untuk proses pencucian sampel setelah proses sol-gel dan untuk menyaring residu pada larutan.



Gambar 3.7 Kertas saring

10. Autoclave

Autoclave digunakan pada proses hidrotermal sampel.



Gambar 3.8 Autoclave

11. Tubular furnace

Tubular furnace digunakan dalam proses pirolisis.



Gambar 3.9 *Tubular furnace*

12. *Crucible furnace*

Crucible furnace digunakan sebagai wadah sampel pada proses pembakaran dan proses pengeringan sampel.



Gambar 3.10 *Crucible furnace*

13. *Muffle furnace*

Muffle furnace digunakan untuk proses pembakaran sekam padi, pengeringan sampel dan proses hidrotermal.



Gambar 3.11 *Muffle furnace*

14. Saringan 80 mesh
15. Alat pengujian: SEM, FTIR, XRD, BET, CV, FPP

3.4 Pengujian

Adapun prosedur pada penelitian ini dimulai dengan persiapan bahan, ekstraksi silika dari sekam padi, sintesis karbon dari sekam padi, dan pembentukan komposit nanopartikel silika-karbon mesopori. Untuk menganalisis hasil penelitian, digunakan beberapa karakterisasi material, seperti pengujian XRD (*X-Ray Diffraction*), FTIR (*Fourier-Transform Infra Red*), SEM (*Scanning Electron Microscopy*), BET (*Brunauer–Emmett–Teller*), CV (*Cyclic Voltammetry*), dan FPP (*Four-Point Probe*).

3.4.1 Persiapan Bahan

Persiapan bahan diawali dengan mencuci sekam padi agar kotoran yang masih menempel hilang. Kemudian, sekam padi dijemur di bawah sinar matahari hingga kering. Setelah itu, membuat larutan HNO_3 2M, HCl 2M, NaOH 2M.

3.4.2 Ekstraksi Silika dari Sekam Padi

Ekstraksi silika diawali dengan mencampurkan 80 g sekam padi dengan 600 ml larutan HNO_3 2M yang kemudian

dipanaskan pada temperatur 90°C selama 2 jam. Jika telah selesai, sekam padi dicuci hingga pH 7. Sekam padi yang telah dicuci dimasukkan ke dalam krusibel *furnace* dan dibakar dalam *furnace* pada temperatur 600°C selama 8 jam. Selanjutnya, hasil dari pembakaran (*rice husk ash*/abu sekam padi) ditimbang sebanyak 6 g dan dicampur dengan 100 ml NaOH 2M, lalu di-*stirring* pada temperatur 90°C selama 2 jam. Larutan campuran *rice husk ash* (RHA) dan NaOH kemudian disaring menggunakan kertas saring untuk memisahkan residunya, lalu dititrasikan dengan larutan HCl 2M hingga mencapai pH 7 dan membentuk gel. Gel selanjutnya di-*aging* selama 30 menit. Setelah itu, dilakukan penyaringan dengan kertas saring dan dicuci dengan aquades. Gel kemudian dimasukkan ke dalam krusibel *furnace* dan dikeringkan dalam *furnace* pada temperatur 100°C selama 6 jam. SiO₂ kemudian diuji dengan pengujian XRD, FTIR, SEM, dan SEM.

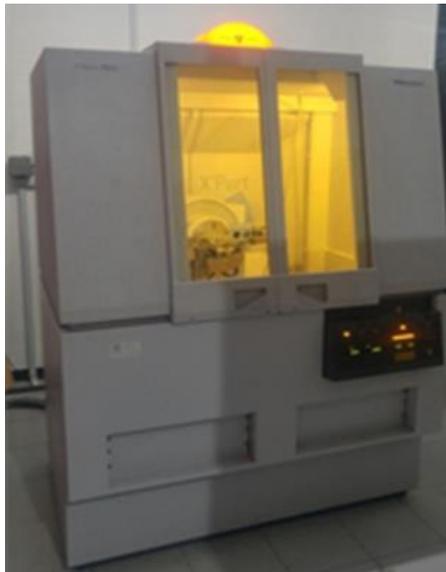
3.4.3 Sintesis Karbon dari Sekam Padi

Sintesis karbon diawali dengan mengeringkan sekam padi pada temperatur 110°C selama 6 jam. Sekam padi yang sudah kering kemudian dihaluskan hingga menjadi serbuk. Serbuk diayak dengan saringan 80 mesh dan dicampur dengan aquades dengan perbandingan 1:5. Setelah homogen, pasta sekam padi dimasukkan ke dalam *autoclave* dan dipanaskan dalam *furnace* dengan temperatur 250°C selama waktu yang bervariasi antara 2-12 jam. Hidrokarbon yang dihasilkan selanjutnya disaring dengan kertas saring untuk selanjutnya dilakukan proses aktivasi. Aktivasi dilakukan dengan mencampurkan 6 g KOH, 26 ml aquades, dan 2 g hidrokarbon dengan sonikasi selama 1 jam dan didiamkan selama 24 jam. Untuk memisahkan endapannya, larutan yang terbentuk dimasukkan ke dalam *centrifuge* selama 10 menit. Residu kemudian dipanaskan pada temperatur 60°C. Setelah dipanaskan, endapan di-*stirring* dengan HCl 10%. Lalu, di-*centrifuge* kembali dengan air hangat hingga mencapai pH 7. Jika telah mencapai pH 7, karbon dikeringkan dalam *furnace* pada temperatur 105°C selama 24 jam. Karbon kemudian diuji FTIR, XRD, SEM, dan CV.

3.4.4 Pembuatan Komposit Nanopartikel Silika Karbon

Pembuatan komposit nanopartikel silika-karbon mesopori dilakukan dengan mencampurkan antara campuran 6,4 g CTAB, 32 g ethanol, dan 0,3 g HCl 37% yang diaduk dengan *magnetic stirrer* selama 1 jam; 5,7 g karbon yang dilarutkan dalam aquades; dan 8,32 g SiO₂. Campuran ini kemudian diaduk hingga homogen selama 1 jam menggunakan *ultrasonic cleaner*. Selanjutnya, dimasukkan ke dalam krusibel *furnace* dan dipanaskan dalam *furnace* pada temperatur 40°C selama 20 jam untuk mengevaporasi ethanol. Selanjutnya, dilakukan pirolisis dalam *tubular furnace* pada temperatur 800°C selama 2 jam menggunakan aliran N₂ untuk menghilangkan CTAB. Komposit nanopartikel silika-karbon kemudian diuji menggunakan XRD, FTIR, SEM, dan CV.

3.4.5 Pengujian X-Ray Diffraction (XRD)



Gambar 3.12 Alat uji XRD PANalytical

Karakterisasi ini dilakukan pada semua spesimen uji untuk melihat fasa-fasa yang terbentuk dari silika, karbon, maupun

komposit nanopartikel silika-karbon. Uji difraksi Sinar-X (XRD), Gambar 3.12, dilakukan menggunakan seperangkat alat yang disebut difraktrometer Sinar-X. Karakterisasi ini dilakukan pada semua spesimen uji untuk melihat struktur kristal dan fase-fase yang terbentuk.

Tahap pertama yang dilakukan dalam analisis sinar-X adalah melakukan analisis pemeriksaan terhadap sampel yang belum diketahui strukturnya. Sampel ditempatkan pada titik fokus hamburan sinar-X yaitu tepat di tengah-tengah *plate* yang digunakan sebagai tempat sampel. *Plate* tempat sampel berupa plat tipis berlubang di tengah yang ukurannya sesuai dengan sampel (*serbuk*) dengan perekat pada sisi baliknya. Analisis yang dilakukan pada hasil XRD penelitian ini adalah analisis kualitatif dengan menggunakan cara manual, yakni pencocokan puncak kurva dari data terukur hasil XRD dengan data *hanawalt card* dan piranti lunak *highscore plus analysis*

3.4.6 Pengujian Scanning Electron Microscopy (SEM)



Gambar 3.13 Alat uji SEM-EDX FEI tipe Inspect S-50

Pengujian SEM dilakukan terhadap nanopartikel silika mesopori dan silika hasil ekstraksi dari sekam padi untuk mengetahui morfologi dari material tersebut. Pada prinsipnya

Scanning Electron Mikroskop (SEM), Gambar 3.13, berfungsi sebagai *tools* (peralatan) untuk melihat struktur permukaan material dengan resolusi tinggi. Skema alat uji SEM ditunjukkan pada Gambar 3.14. Adapun cara kerja dari SEM adalah *electron gun* memproduksi *electron beam*, anoda menangkap *electron beam* untuk kemudian diarahkan ke sampel kemudian serangkaian lensa magnetik memfokuskan beam ini dan menembakkan ke sampel, *scanner* membaca struktur permukaan sampel selanjutnya menangkap sinyal dari *secondary* dan *back scattered electron* untuk dikirim ke sistem kontrol sehingga dapat dilihat gambarnya pada monitor dan dapat dicetak bila diperlukan.

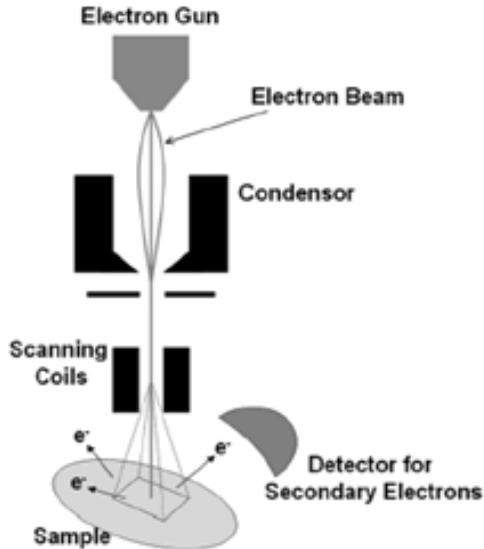
Pengujian SEM dilakukan terhadap silika, karbon, dan komposit nanopartikel silika-karbon untuk mengetahui morfologi dari material tersebut. Pengujian SEM dilakukan dalam 2 tahap:

1. Tahap preparasi

Sampel berupa serbuk diletakkan pada *holder* yang telah disiapkan.

2. Tahap pengujian

Serbuk yang telah diletakkan pada *holder* dimasukkan ke dalam mesin uji, kemudian gambar muncul pada layar komputer.



Gambar 3.14 Skema alat uji SEM (Haji dkk., 2019)

3.4.7 Pengujian Fourier Transform Infra Red (FTIR)

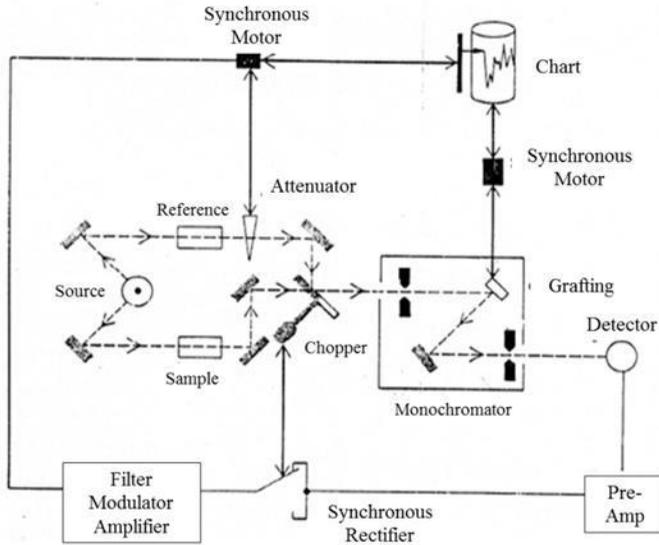


Gambar 3.15 Alat uji FTIR

Tujuan pengujian ini adalah untuk mengetahui gugus fungsi dari sekam padi, hasil ekstraksi silika, hasil sintesis karbon,

dan komposit nanopartikel silika-karbon. Sistem optik *Spektrofotometer Fourier Transform Infra Red* (FTIR), Gambar 3.15, ini dilengkapi dengan cermin yang bergerak tegak lurus dan cermin yang diam. Dengan demikian radiasi inframerah akan menimbulkan perbedaan jarak yang ditempuh menuju cermin yang bergerak (M) dan jarak cermin yang diam (F). Perbedaan jarak tempuh radiasi tersebut adalah 2 yang selanjutnya disebut sebagai retardasi (δ). Hubungan antara intensitas radiasi IR yang diterima detektor terhadap retardasi disebut sebagai interferogram. Sedangkan sistem optik dari *Spektrofotometer Infra Red* yang didasarkan atas bekerjanya interferometer disebut sebagai sistem optik *Fourier Transform Infra Red*.

Pada sistem optik *Fourier Transform Infra Red* digunakan radiasi LASER (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*) yang berfungsi sebagai radiasi yang diinterferensikan dengan radiasi inframerah agar sinyal radiasi inframerah yang diterima oleh detektor secara utuh dan lebih baik. Detektor yang digunakan dalam *Spektrofotometer Fourier Transform Infra Red* adalah *Tetra Glycerine Sulphate* (TGS) atau *Mercury Cadmium Telluride* (MCT). Detektor MCT lebih banyak digunakan karena memiliki beberapa kelebihan dibandingkan detektor TGS, yaitu memberikan respon yang lebih baik pada frekuensi modulasi tinggi, lebih sensitif, lebih cepat, tidak dipengaruhi oleh temperatur, dan sangat selektif terhadap energi vibrasi yang diterima dari radiasi inframerah. Skema alat uji FTIR ini ditunjukkan pada Gambar 3.16.



Gambar 3.16 Skema alat uji FTIR (Haji dkk., 2019)

3.4.8 Uji Cyclic Voltametri (CV)



Gambar 3.17 Alat uji CV

Voltammetry merupakan suatu metode elektroanalisis yang didasarkan pada prinsip elektrolisis dari suatu larutan yang mengandung analit elektroaktif dan reaksi terjadi pada elektroda logam dengan larutan elektrolitnya. Elektroda pada sel elektrokimia terdiri dari elektroda kerja, elektroda pembanding dan elektroda bantu. Elektroda kerja adalah tempat terjadinya reaksi elektrokimia yang diamati seperti arus yang dihasilkan. Elektroda kerja yang umumnya berasal dari logam, bahan semikonduktor dan karbon. Fungsi elektroda pembanding adalah sebagai pembanding beda potensial pada elektroda dalam sel elektrokimia, biasanya menggunakan SCE kalomel dan Ag/AgCl 1,0 M. Elektroda bantu merupakan elektroda yang berperan sebagai tempat berkumpulnya elektron sehingga arus dapat dilewatkan melalui sel tetapi tidak mempengaruhi reaksi pada elektroda kerja (elektroda bantu harus bersifat inert).

Pada pengujian ini hasil yang didapat adalah grafik *cyclic voltammetry* dan untuk menghitung besarnya kapasitansi spesifik digunakan Persamaan 3.1 (Ratha dkk., 2015). Di samping itu, data dari CV menggambarkan sifat kapasitif elektrokimia dari elektroda kerjanya.

$$C = \frac{\int IdV}{2 \Delta E m v} \quad (3.1)$$

Dimana,

C = Kapasitansi Spesifik (F/gram)

$\int IdV$ = Luas area dibawah kurva CV

m = Massa Elektroda (gram)

v = *Scan Rate* (mV/s)

ΔE = *Potential Window* (Volt)

Dari hasil pengujian CV juga dapat diketahui nilai Densitas Energi Spesifik (E) dan Densitas Daya Spesifik (P) dengan menggunakan Persamaan 3.2 dan Persamaan 3.3 (Peng dkk., 2014).

$$E = \frac{(0.5)CV^2}{3.6} \quad (3.2)$$

$$P = \frac{E \times 3600}{t} \quad (3.3)$$

Dimana,

E = Densitas Energi (Wh/kg)

C = Kapasitansi (Farad/gram)

V = *Potential Window* (Volt)

P = Densitas *Power* (W/kg)

t = Waktu *discharge* (sekon)



<http://www.cortest.com.cn> Email: sales2@cortest.com.cn Tel: (+86) 27 67849450

Address: International Enterprise Center, Optics valley Ave., East Lake High-tech Development Zone, Wuhan, China

Specifications

Support 2-, 3- or 4-electrode system	CV and LSV scan rate: 0.001mV~10,000V/s
Potential control range: ±10V	CA and CC pulse width: 0.0001~65,000s
Current control range: ±2A	Current increment during scan: 1mA@1A/ms
Potential control accuracy: 0.1%×full range±1mV	Potential increment during scan: 0.076mV@1V/ms
Current control accuracy: 0.1%×full range	SWV frequency: 0.001~100 kHz
Potential resolution: 10μV (>100Hz), 3μV (<10Hz)	DPV and NPV pulse width: 0.0001~1000s
Current sensitivity: 1pA	AD data acquisition: 16bit@1 MHz, 20bit@1 kHz
Rise time: <1μs (<10mA), <10μs (<2A)	DA Resolution: 16bit, setup time: 1μs
Reference electrode input impedance: 10 ¹² Ω 20pF	Minimum potential increment in CV: 0.075mV
Current range: 2nA~2A, 10 ranges	IMP frequency: 10μHz~1MHz
Compliance voltage: ±21V	Low-pass filters: covering 8-decade
Maximum current output: 2.0A	Potential and current range: automatic

Gambar 3.18 Spesifikasi CorrTest (International Enterprise Center n.d.)

3.5 Rancangan Penelitian

Adapun rancangan penelitian yang akan dilakukan, yaitu :

Tabel 3.1 Rancangan Penelitian

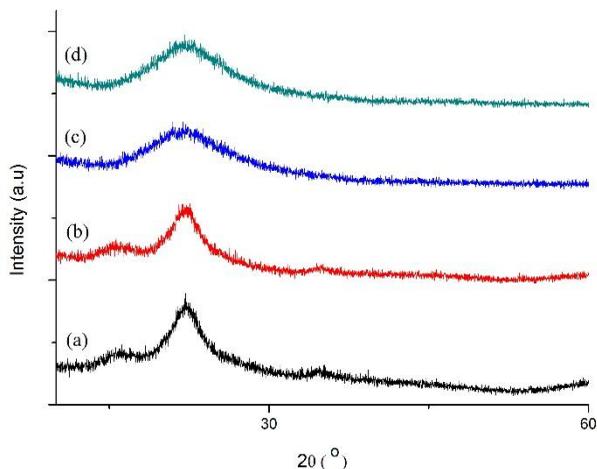
Sampel	Uji XRD	Uji FTIR	Uji SEM	Uji CV
Sekam padi	√	√	√	-
Abu sekam padi	√	√	√	-
SiO ₂	√	√	√	-
C-2	√	√	√	√
C-4	√	√	√	√
C-6	√	√	√	√
C-8	√	√	√	√
C-12	√	√	√	√
SiO ₂ -C-2	√	√	√	√
SiO ₂ -C-4	√	√	√	√
SiO ₂ -C-6	√	√	√	√
SiO ₂ -C-8	√	√	√	√
SiO ₂ -C-12	√	√	√	√

Keterangan : pada C-xx dan Si-C-xx, xx menunjukkan variasi waktu (jam) yang digunakan dalam penelitian.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Uji X-Ray Diffraction (XRD)



Gambar 4.1 Difraktogram hasil XRD (a) Sekam padi, (b) Sekam padi dengan *leaching* menggunakan HNO_3 , (c) Abu sekam padi, dan (d) Ekstraksi silika

Pada Gambar 4.1 (a) merupakan difraktogram hasil pengujian XRD sekam padi, dengan *peak* difraksi 2θ sebesar $22,1727^\circ$. Kemudian, pada Gambar 4.1 (b) terlihat bahwa sekam padi dengan *leaching* menggunakan HNO_3 memiliki *peak* difraksi 2θ sebesar $21,5102^\circ$ dan $22,6103^\circ$. Sedangkan, pada Gambar 4.1 (c) terlihat abu sekam padi yang dihasilkan memiliki *peak* difraksi 2θ di $22,0155^\circ$. Difraktogram XRD silika hasil ekstraksi dapat dilihat pada Gambar 4.1 (d) yang memiliki *peak* difraksi 2θ sebesar $22,7162^\circ$.

Peak $22,1727^\circ$ pada sekam padi mengindikasikan adanya kandungan selulosa, seperti yang tertera pada JCPDS 03-0026. *Peak* yang lancip berarti selulosa pada sekam padi berbentuk

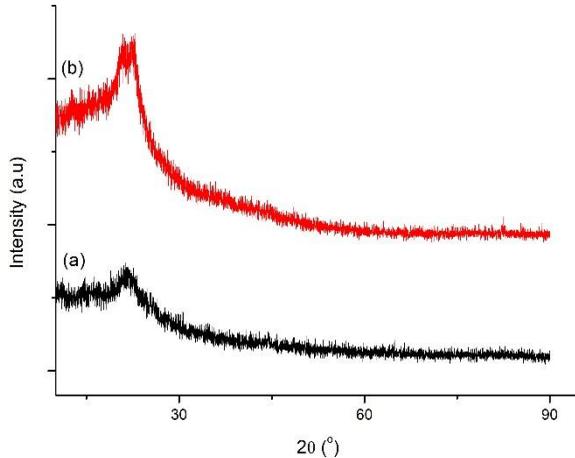
kristalin. Dengan adanya penambahan HNO_3 , dapat dilihat bahwa terjadi perubahan *peak* selulosa dari $22,1727^\circ$ menjadi $21,5102^\circ$ serta adanya pelebaran yang menandakan bahwa struktur selulosa berubah dari kristalin menjadi amorf.

Selain selulosa, pada hasil difraktogram XRD sekam padi *peak* $22,1727^\circ$ dan sekam padi dengan proses *leaching* menggunakan HNO_3 *peak* $22,6103^\circ$ juga menandakan adanya silika, sesuai dengan ICDD #00-001-0424.

Pada abu sekam padi, terlihat *peak* $22,0155^\circ$ yang merupakan *peak* silika sesuai dengan ICDD #00-001-0424. *Peak* selulosa pada abu sekam padi telah hilang karena adanya proses pembakaran pada temperatur 600°C . *Peak* abu sekam padi juga lebih lebar dibandingkan sekam padi. Hal ini akibat selulosa pada sekam padi yang terdekomposisi dan menghasilkan silika amorf. Hasil ini sesuai dengan penelitian Raharjo, dkk pada 2018 yang menghasilkan silika amorf dengan presentase silika 99% melalui pembakaran pada temperatur 600°C (Raharjo dkk, 2018).

Pengujian XRD untuk karbon dengan waktu karbonisasi hidrotermal 2 jam adalah seperti pada Gambar 4.2. Sebelum dilakukan aktivasi (Gambar 4.2 (a)), tidak ditemukan *peak* yang

signifikan. Hal ini diakibatkan struktur material yang sangat amorf. Sedangkan setelah dilakukan aktivasi, muncul *peak* di $21,8846^\circ$.

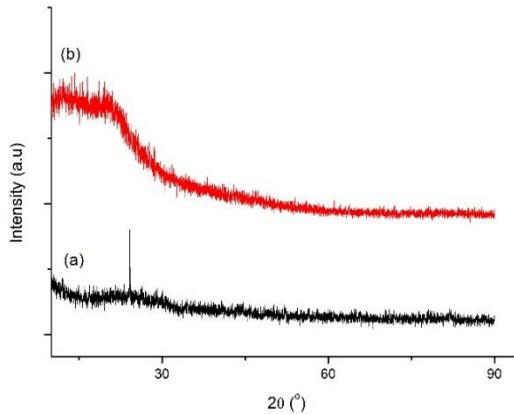


Gambar 4.2 Difraktogram hasil XRD karbon C-2 (a) sebelum dan (b) setelah aktivasi

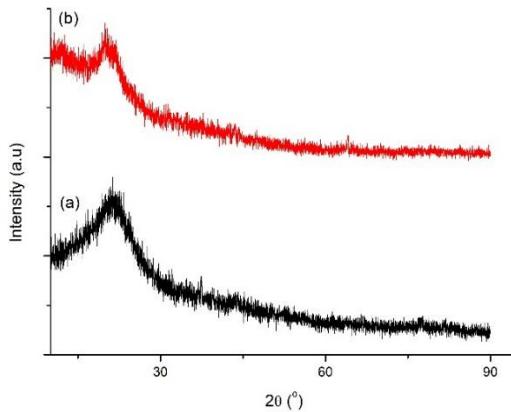
Pada Gambar 4.3 (a) terlihat bahwa karbon sebelum aktivasi dengan perlakuan karbonisasi hidrotermal selama 4 jam memiliki *peak* di $24,1687^\circ$ dengan intensitas 22,22% yang bisa dikategorikan sebagai pengotor Fe. Sedangkan setelah dilakukan aktivasi, tidak terdapat *peak* yang signifikan, seperti yang terlihat pada Gambar 4.3 (b). Tidak adanya *peak* yang signifikan disebabkan oleh karbon yang bersifat sangat amorf.

Difraktogram hasil XRD karbon dengan perlakuan karbonisasi hidrotermal selama 6 jam dapat dilihat pada Gambar 4.4. Gambar 4.4 (a) menampilkan difraktogram XRD sebelum karbon diaktivasi. Terlihat bahwa karbon yang dihasilkan bersifat amorf, serta memiliki *peak* di $22,6537^\circ$ dan $24,4157^\circ$. Setelah dilakukan aktivasi, tidak ditemui *peak* yang signifikan, seperti pada

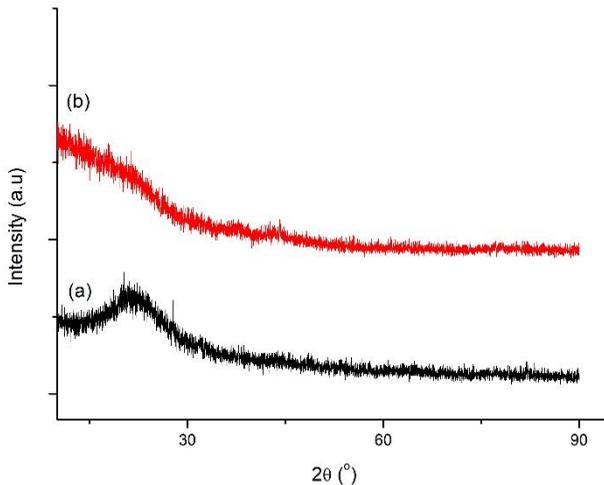
Gambar 4.4 (b). Hal ini diakibatkan oleh struktur karbon yang sangat amorf.



Gambar 4.3 Difraktogram hasil XRD karbon C-4 (a) sebelum dan (b) setelah aktivasi



Gambar 4.4 Difraktogram hasil XRD karbon C-6 (a) sebelum dan (b) setelah aktivasi

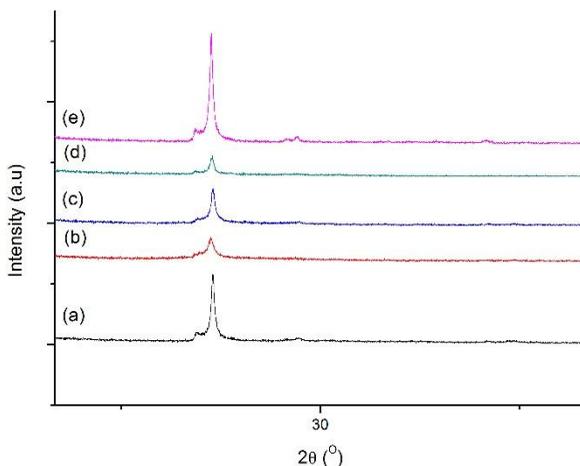


Gambar 4.5 Difraktogram hasil XRD karbon C-8 (a) sebelum dan (b) setelah aktivasi

Pada Gambar 4.5 (a), karbon dengan perlakuan karbonisasi hidrotermal selama 8 jam memiliki *peak* di $27,7958^{\circ}$. Sedangkan setelah aktivasi (Gambar 4.5 (b)), tidak terlihat adanya *peak* yang signifikan. Tidak adanya *peak* yang signifikan ini diakibatkan oleh struktur karbon yang sangat amorf.

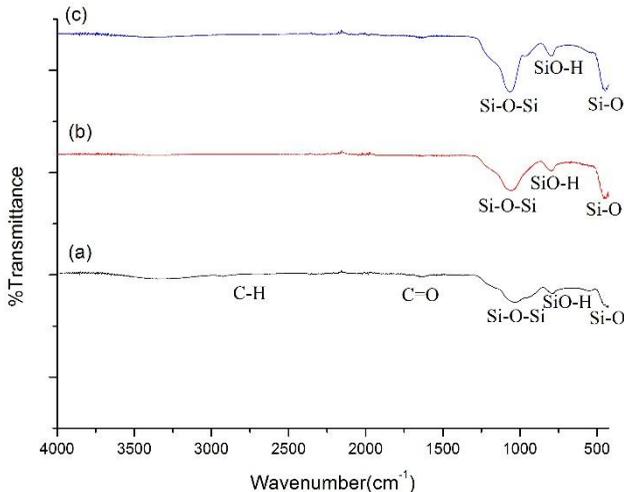
Gambar 4.6 menjelaskan difraktogram hasil XRD dari komposit silika karbon untuk masing-masing variabel waktu karbonisasi hidrotermal (2, 4, 6, 8, dan 12 jam). Terlihat pada komposit dengan karbonisasi hidrotermal selama 2 jam (Gambar 4.6(a)) memiliki *peak* pada $21,9353^{\circ}$ dan $20,6111^{\circ}$. Pada komposit dengan karbonisasi hidrotermal selama 4 jam (Gambar 4.6 (b)), *peak* yang muncul tidak setinggi *peak* C-2, yaitu pada $21,7622^{\circ}$ dan $20,6422^{\circ}$. Komposit dengan perlakuan karbonisasi hidrotermal selama 6 jam (Gambar 4.6 (c)) memiliki *peak* yang lebih tinggi daripada C-4, namun lebih rendah dibandingkan dengan C-2, yaitu pada $21,8834^{\circ}$. Komposit dengan perlakuan karbonisasi

hidrotermal selama 8 jam (Gambar 4.6 (d)) memiliki tinggi *peak* yang lebih rendah dibandingkan dengan C-2, C-4, dan C-6, yaitu *peak* sebesar $21,8926^\circ$ dan $20,6074^\circ$. Sedangkan untuk komposit dengan karbonisasi hidrotermal 12 jam (Gambar 4.6 (e)) memiliki *peak* sebesar $21,7853^\circ$ dan $20,5859^\circ$. *Peak* yang tinggi dan tajam pada hasil difraktogram XRD ini menunjukkan struktur komposit yang kristalin.



Gambar 4.6 Difraktogram hasil XRD: (a) SiO₂-C-2, (b) SiO₂-C-4, (c) SiO₂-C-6, (d) SiO₂-C-8, dan (e) SiO₂-C-12

4.2 Hasil Fourier Transform Infrared (FTIR)



Gambar 4.7 Spektra hasil pengujian FTIR: (a) Sekam padi, (b) Abu sekam padi, dan (c) Silika hasil ekstraksi sekam padi

Berdasarkan pengujian FTIR yang telah dilakukan, didapatkan spektra sekam padi, abu sekam padi, dan silika hasil ekstraksi sekam padi seperti pada Gambar 4.7 untuk mengetahui gugus fungsi yang terkandung di dalamnya.

Terlihat pada spektra hasil pengujian sekam padi terdapat gugus fungsi Si-O pada bilangan gelombang $430,88 \text{ cm}^{-1}$, SiO-H pada bilangan gelombang $786,91 \text{ cm}^{-1}$, Si-O-Si pada bilangan gelombang $1031,39 \text{ cm}^{-1}$. Adanya gugus fungsi Si-O, SiO-H, dan Si-O pada sekam padi menandakan bahwa terdapat kandungan silika di dalam sekam padi. Selain itu, ditemukan pula gugus fungsi C=O pada 1637 cm^{-1} dan C-H pada $2906,32 \text{ cm}^{-1}$. Gugus fungsi C-H merupakan petunjuk bahwa terdapat senyawa organik di dalam sekam padi (Chandra dkk, 2012).

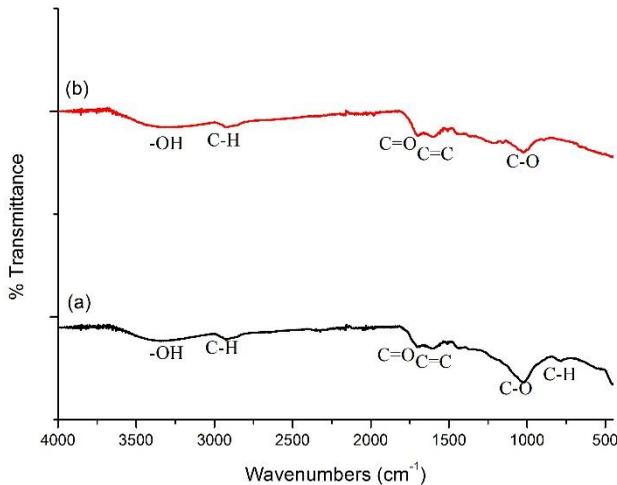
Sedangkan, pada hasil pengujian FTIR untuk abu sekam padi, terdapat gugus fungsi Si-O pada bilangan gelombang $438,74$

cm^{-1} , SiO-H pada bilangan gelombang $795,04 \text{ cm}^{-1}$, gugus fungsi Si-O-Si pada $1053,37 \text{ cm}^{-1}$. Hilangnya gugus fungsi C=O dan C-H menunjukkan bahwa karbon telah terdekomposisi dengan perilaku leaching HNO_3 dan pemanasan pada temperatur 600°C .

Kemudian, dapat dilihat pada silika hasil ekstraksi sekam padi bahwa terdapat gugus fungsi Si-O pada panjang gelombang $447,72 \text{ cm}^{-1}$, SiO-H pada $796,31 \text{ cm}^{-1}$, Si-O pada $1054,75 \text{ cm}^{-1}$, dan SiO-H pada $1412,88 \text{ cm}^{-1}$.

Tabel 4.1 Gugus fungsi sampel sekam padi, abu sekam padi, dan silika hasil ekstraksi

Sampel	Bilangan Gelombang (cm^{-1})	Gugus Fungsi
Sekam padi	430,88	Si-O
	786,91	SiO-H
	1031,39	Si-O-Si
	1637,26	C=O
	2906,32	C-H
Abu sekam padi	438,74	Si-O
	795,04	SiO-H
	1053,37	Si-O-Si
Silika hasil ekstraksi sekam padi	447,72	Si-O
	796,31	SiO-H
	1054,75	Si-O
	1412,88	SiO-H



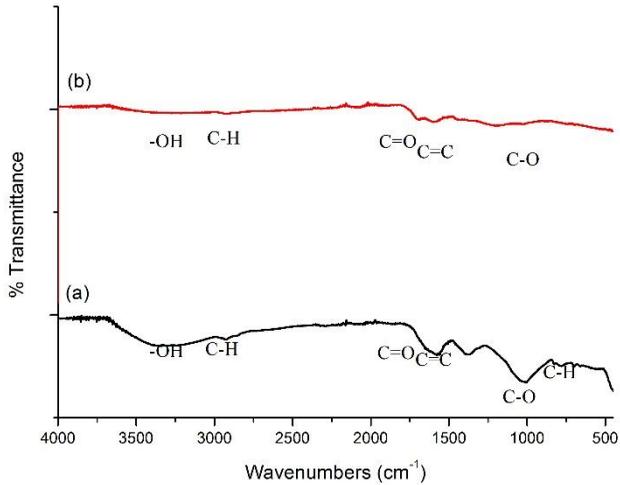
Gambar 4.8 Spektra hasil Pengujian FTIR (a) sebelum dan (b) sesudah aktivasi karbon aktif dengan perlakuan hidrotermal 2 jam

Seperti yang terlihat pada Gambar 4.8 (a), karbon sebelum aktivasi dengan perlakuan hidrotermal 2 jam memiliki gugus fungsi C-H, C-O, C=C, C=O, dan -OH yang ditunjukkan dengan terdapatnya bilangan gelombang pada 780,64 cm⁻¹, 1019,03 cm⁻¹, 1604,02 cm⁻¹, 1701,02 cm⁻¹, 2924,74 cm⁻¹, dan 3336,27 cm⁻¹. Sedangkan, karbon setelah aktivasi dengan perlakuan hidrotermal 2 jam pada Gambar 4.8 (b) menghasilkan bilangan gelombang 1022,47 cm⁻¹, 1600,45 cm⁻¹, 1697,10 cm⁻¹, 2923,41 cm⁻¹, dan 3337,97 cm⁻¹, yang berturut-turut menunjukkan gugus fungsi C-O, C=C, C=O, C-H, dan -OH.

Tabel 4.2 Gugus fungsi sampel karbon sebelum dan setelah aktivasi dengan perlakuan hidrotermal selama 2 jam

Sampel		Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)	Gugus Fungsi
Karbon aktivasi	sebelum	780,64	C-H
		1019,03	C-O
		1604,02	C=C
		1701,02	C=O
		2924,74	C-H
		3336,27	-OH
Karbon aktivasi	setelah	1022,47	C-O
		1600,45	C=C
		1697,10	C=O
		2923,41	C-H
		3337,91	-OH

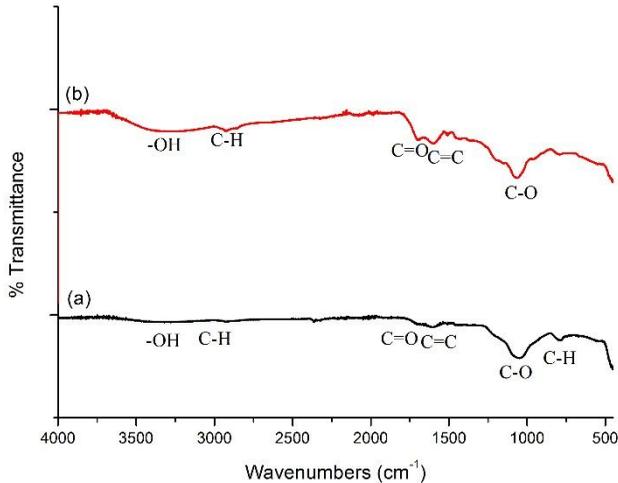
Gambar 4.9 (a) menunjukkan bahwa karbon sebelum aktivasi dengan perlakuan hidrotermal 4 jam memiliki gugus fungsi C-H, C-O, C=C, C=O, dan -OH yang ditunjukkan dengan terdapatnya bilangan gelombang pada 780,16 cm⁻¹, 1007,00 cm⁻¹, 1577,53 cm⁻¹, 1700,02 cm⁻¹, 2925,60 cm⁻¹, dan 3337,67 cm⁻¹. Sedangkan, karbon setelah aktivasi dengan perlakuan hidrotermal 4 jam pada Gambar 4.9 (b) menghasilkan bilangan gelombang 1203,20 cm⁻¹, 1596,32 cm⁻¹, 1685,83 cm⁻¹, 2918,31 cm⁻¹, dan 3214,51 cm⁻¹, yang berturut-turut menunjukkan gugus fungsi C-O, C=C, C=O, C-H, dan -OH.



Gambar 4.9 Spektra hasil pengujian FTIR (a) sebelum dan (b) sesudah aktivasi karbon aktif dengan perlakuan hidrotermal 4 jam

Tabel 4.3 Gugus fungsi sampel karbon sebelum dan setelah aktivasi dengan perlakuan hidrotermal selama 4 jam

Sampel		Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)	Gugus Fungsi
Karbon aktivasi sebelum		780,16	C-H
		1007,00	C-O
		1577,53	C=C
		1700,02	C=O
		2925,60	C-H
Karbon aktivasi setelah		3337,67	-OH
		1203,20	C-O
		1596,32	C=C
		1685,83	C=O
		2918,31	C-H
	3214,51	-OH	

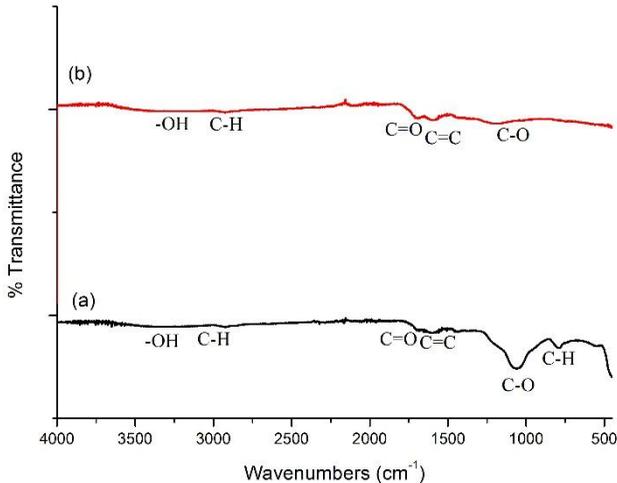


Gambar 4.10 Spektra hasil pengujian FTIR (a) sebelum dan (b) sesudah aktivasi karbon aktif dengan perlakuan hidrotermal 6 jam

Gambar 4.10 (a) menunjukkan bahwa karbon sebelum aktivasi dengan perlakuan hidrotermal 6 jam memiliki gugus fungsi C-H, C-O, C=C, C=O, dan -OH yang ditunjukkan dengan terdapatnya bilangan gelombang pada 787,50 cm⁻¹, 1046,38 cm⁻¹, 1603,19 cm⁻¹, 1854,14 cm⁻¹, 2927,80 cm⁻¹, dan 3346,98 cm⁻¹. Sedangkan, karbon setelah aktivasi dengan perlakuan hidrotermal 6 jam pada Gambar 4.10 (b) menghasilkan bilangan gelombang 1200,41 cm⁻¹, 1596,26 cm⁻¹, 1697,06 cm⁻¹, 2924,56 cm⁻¹, dan 3332,00 cm⁻¹, yang berturut-turut menunjukkan gugus fungsi C-O, C=C, C=O, C-H, dan -OH.

Tabel 4.4 Gugus fungsi sampel karbon sebelum dan setelah aktivasi dengan perlakuan hidrotermal selama 6 jam

Sampel		Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)	Gugus Fungsi
Karbon aktivasi sebelum		787,50	C-H
		1046,38	C-O
		1603,19	C=C
		1854,14	C=O
		2927,80	C-H
		3346,98	-OH
Karbon aktivasi setelah		1200,41	C-O
		1596,26	C=C
		1697,06	C=O
		2924,56	C-H
		3332,00	-OH



Gambar 4.11 Spektra hasil pengujian FTIR (a) sebelum dan (b) sesudah aktivasi karbon aktif dengan perlakuan hidrotermal 8 jam

Seperti yang terlihat pada Gambar 4.11 (a), karbon sebelum aktivasi dengan perlakuan hidrotermal 8 jam memiliki gugus fungsi C-H, C-O, C=C, C=O, dan -OH yang ditunjukkan dengan terdapatnya bilangan gelombang pada $790,50\text{ cm}^{-1}$, $1058,04\text{ cm}^{-1}$, $1596,08\text{ cm}^{-1}$, $1654,08\text{ cm}^{-1}$, $2925,49\text{ cm}^{-1}$, dan $3649,91\text{ cm}^{-1}$. Sedangkan, karbon setelah aktivasi dengan perlakuan hidrotermal 8 jam pada Gambar 4.11 (b) menghasilkan bilangan gelombang $1200,27\text{ cm}^{-1}$, $1596,08\text{ cm}^{-1}$, $1690,71\text{ cm}^{-1}$, $2927,92\text{ cm}^{-1}$ yang berturut-turut menunjukkan gugus fungsi C-O, C=C, C=O, C-H.

Tabel 4.5 Gugus fungsi sampel karbon sebelum dan setelah aktivasi dengan perlakuan hidrotermal selama 8 jam

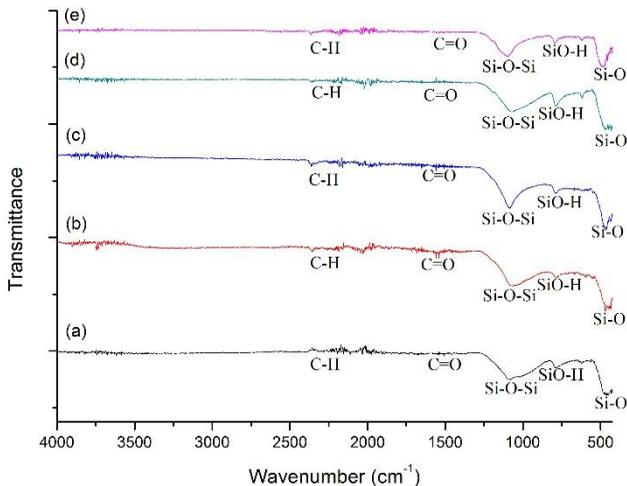
Sampel	Bilangan Gelombang (cm^{-1})	Gugus Fungsi
Karbon sebelum aktivasi	790,50	C-H
	1058,04	C-O
	1596,08	C=C
	1654,0	C=O
	2925,49	C-H
Karbon setelah aktivasi	3649,91	-OH
	1200,27	C-O
	1596,08	C=C
	1690,71	C=O
	2927,92	C-H
	-	-OH

Pada komposit silika-karbon dengan waktu hidrotermal 2 jam (Gambar 4.12 (a)), terdapat gugus fungsi Si-O, SiO-H, Si-O-Si, dan C=O. Gugus fungsi tersebut ditunjukkan berturut-turut oleh bilangan gelombang $477,32\text{ cm}^{-1}$, $789,54\text{ cm}^{-1}$, $1088,82\text{ cm}^{-1}$, dan $1507,47\text{ cm}^{-1}$.

Untuk komposit silika-karbon dengan waktu hidrotermal 4 jam (Gambar 4.12 (b)), terdapat bilangan gelombang $468,48\text{ cm}^{-1}$, $786,93\text{ cm}^{-1}$, $1065,86\text{ cm}^{-1}$, $1558,03\text{ cm}^{-1}$, dan $2032,03\text{ cm}^{-1}$ yang

menunjukkan adanya gugus fungsi Si-O, SiO-H, Si-O-Si, C=O, dan C-H.

Sedangkan, komposit silika-karbon dengan waktu hidrotermal 6 jam (Gambar 4.12 (c)), terdapat bilangan gelombang 470,48 cm^{-1} , 788,89 cm^{-1} , 1083,33 cm^{-1} , 1559,54 cm^{-1} , dan 2031,72 cm^{-1} yang menunjukkan gugus fungsi Si-O, SiO-H, Si-O-Si, C=O, C-H, dan -OH.



Gambar 4.12 Spektra hasil uji FTIR: (a) SiO₂-C-2, (b) SiO₂-C-4, (c) SiO₂-C-6, (d) SiO₂-C-8, dan (e) SiO₂-C-12

Komposit silika-karbon dengan waktu hidrotermal 8 jam (Gambar 4.12 (d)) menunjukkan gugus fungsi Si-O, SiO-H, Si-O-Si, dan C-H. Gugus fungsi tersebut ditemukan pada bilangan gelombang 471,21 cm^{-1} , 787,13 cm^{-1} , 1071,92 cm^{-1} , 2020,15 cm^{-1} , dan 3670,03 cm^{-1} .

Untuk komposit silika-karbon dengan waktu hidrotermal 12 jam (Gambar 4.12 (e)) didapatkan bilangan gelombang 480,46 cm^{-1} , 795,30 cm^{-1} , 1096,61 cm^{-1} , dan 2182,51 cm^{-1} yang menunjukkan adanya gugus fungsi Si-O, SiO-H, Si-O-Si, dan C-H.

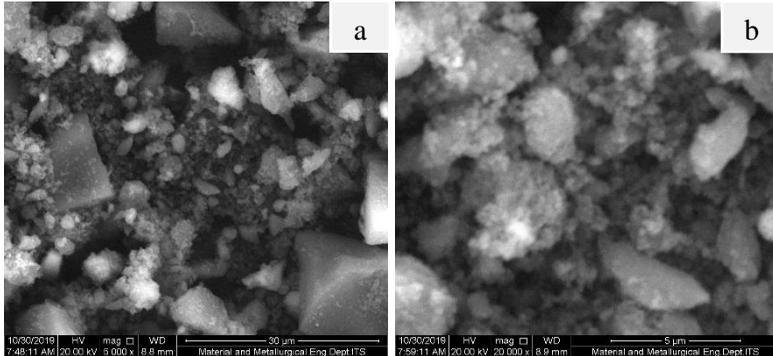
Tabel 4.6 Gugus fungsi sampel komposit silika-karbon

Sampel	Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)	Gugus Fungsi
SiO ₂ -C-2	477,32	Si-O
	789,54	SiO-H
	1088,82	Si-O-Si
	1507,47	C=O
	-	C-H
SiO ₂ -C-4	468,48	Si-O
	786,93	SiO-H
	1065,86	Si-O-Si
	1558,03	C=O
	2032,03	C-H
SiO ₂ -C-6	470,488	Si-O
	788,89	SiO-H
	1083,33	Si-O-Si
	1559,54	C=O
	2031,72	C-H
SiO ₂ -C-8	471,21	Si-O
	787,13	SiO-H
	1071,92	Si-O-Si
	-	C=O
	2020,52	C-H
SiO ₂ -C-12	480,46	Si-O
	795,32	SiO-H
	1096,61	Si-O-Si
	-	C=O
	2182,51	C-H

4.3 Hasil Uji Scanning Electron Microscopy (SEM)

Pengujian SEM dilakukan untuk mengetahui morfologi suatu sampel. Pengujian SEM dilakukan pada tiga sampel, yaitu silika dari sekam padi, karbon aktif dengan perlakuan hidrotermal selama 6 jam dan komposit nanopartikel silika karbon dengan

perlakuan 6 jam. Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, didapatkan hasil pengujian sebagai berikut.



Gambar 4.13 Hasil pengujian SEM silika hasil ekstraksi sekam padi dengan perbesaran (a) 5000x dan (b) 20000x

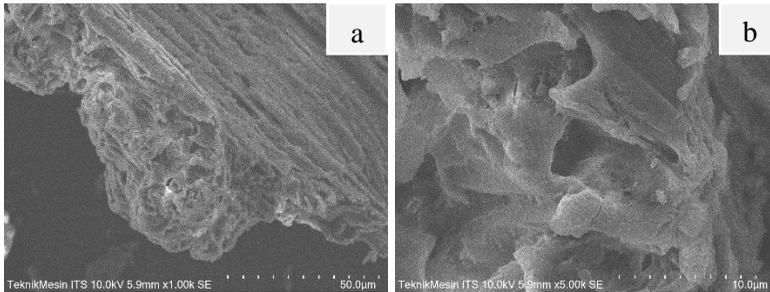
Struktur morfologi silika yang amorf dapat terlihat melalui Gambar 4.13 (a). Pori pada silika merupakan akibat dari dekomposisi termal sekam padi (Deshmukh dkk, 2011).

Berdasarkan Gambar 4.14 (a) menunjukkan morfologi karbon aktif dengan perlakuan hidrotermal selama 6 jam dengan perbesaran 1000x. Dapat dilihat bahwa terdapat pori yang cukup seragam pada karbon aktif. Perlakuan hidrotermal pada temperatur 250°C mampu mengubah struktur selulosa menjadi karbon yang berpori (Alcaraz dkk, 2018). Untuk memperbesar pori, maka dilakukanlah aktivasi dengan perbandingan KOH dan karbon 3:1 didapatkan struktur pori yang . Perbandingan jumlah KOH:C yang cukup besar menyebabkan aktivasi yang terjadi semakin kuat (Puccini dkk, 2017). Struktur pori karbon diperjelas lagi pada Gambar 4.14 (b) dengan perbesaran 5000x.

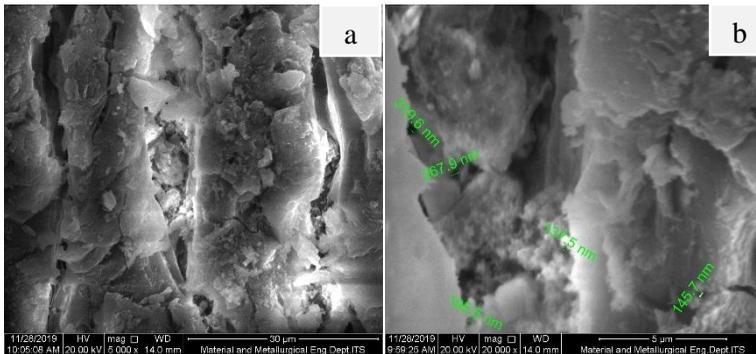
Pada Gambar 4.15 (a) hasil pengujian SEM untuk sampel C-2, terlihat bahwa terbentuk pori. Pengukuran pori secara kasar dapat dilihat pada 4.15 (b) dengan rata-rata besar pori sebesar 213,24 nm. Berdasarkan pengukuran sementara dengan

menggunakan hasil SEM, didapatkan bahwa karbon yang terbentuk termasuk dalam golongan karbon makropori.

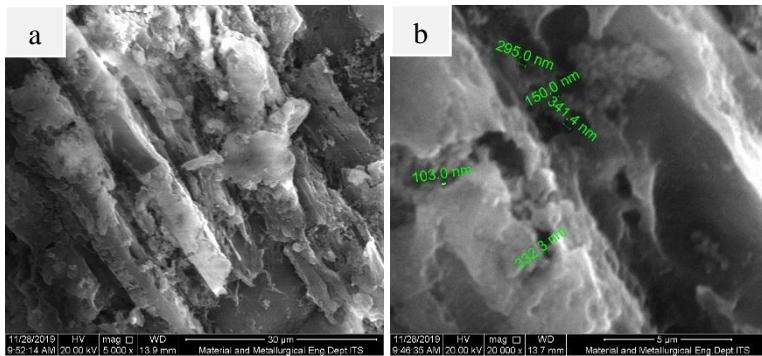
Begitu juga seperti yang terlihat pada Gambar 4.16 (a) dimana terlihat bahwa karbon yang dihasilkan memiliki pori. Hasil pengukuran besar pori dari SEM yang didapatkan dapat dilihat pada Gambar 4.16 (b) dengan rata-rata 244,34 nm. Pori dengan ukuran 244,34 nm dapat dikategorikan sebagai makropori.



Gambar 4.14 Hasil pengujian SEM karbon aktif dengan perlakuan hidrotermal 6 jam dengan perbesaran (a) 1000x dan (b) 5000x



Gambar 4.15 Hasil pengujian SEM karbon aktif dengan perlakuan hidrotermal 2 jam dengan perbesaran (a) 5000x dan (b) 25000x



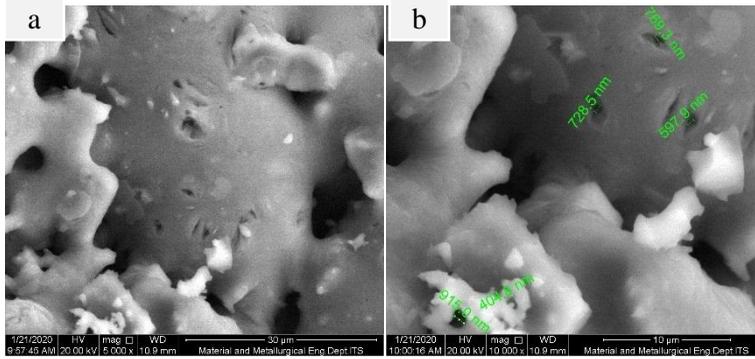
Gambar 4.16 Hasil pengujian SEM karbon aktif dengan perlakuan hidrotermal 12 jam dengan perbesaran (a) 5000x dan (b) 25000x

Silika dan karbon hasil ekstraksi sekam padi kemudian beraglomerasi membentuk komposit SiO_2/C . Morfologi SiO_2/C yang dihasilkan dapat dilihat pada Gambar 4.17, Gambar 4.18, Gambar 4.19. Gambar 4.17 (a) menggambarkan morfologi komposit $\text{SiO}_2\text{-C-2}$ dengan perbesaran 5000x dimana terlihat beberapa pori. Rata-rata ukuran dari pori yang terukur oleh pengukuran kasar SEM adalah sebesar 683,1 nm, seperti yang terlihat pada Gambar 4.17 (b).

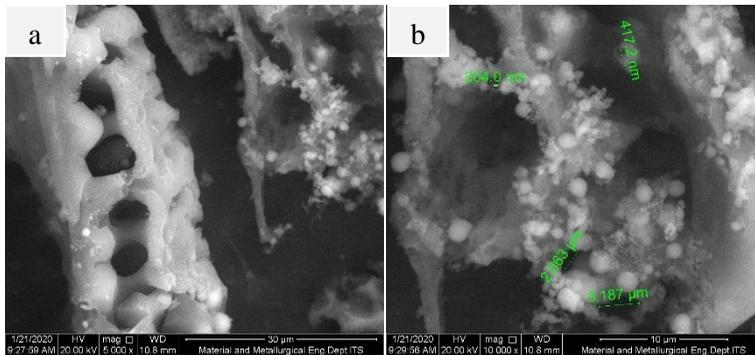
Gambar 4.18 (a) menunjukkan morfologi $\text{SiO}_2\text{-C-8}$ dimana juga terdapat beberapa pori yang dapat diukur secara kasar dengan SEM, seperti yang terlihat pada Gambar 4.18 (b). Secara kasar, didapatkan rata-rata besar pori yang didapatkan sebesar 1467,8 nm.

Gambar 4.19 (a) menunjukkan morfologi komposit SiO_2/C dengan perbesaran 1000x. Terlihat bahwa komposit yang dihasilkan memiliki persebaran pori yang cukup seragam. Persebaran ini juga terlihat pada perbesaran 5000x melalui Gambar 4.19 (b). Selain pengujian SEM, dilakukan pula pengujian EDX-Mapping untuk mengetahui unsur yang terdapat pada komposit SiO_2/C dengan perbesaran 1000x. Didapatkan hasil bahwa komposit SiO_2/C mengandung 45% silika yang ditandai dengan warna pink, 35% silika yang ditandai dengan warna hijau, dan 20%

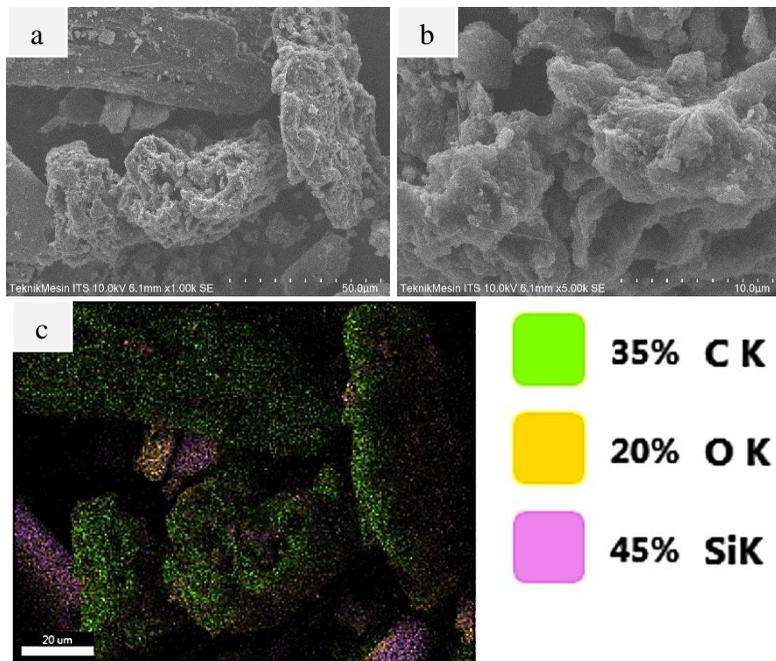
O yang ditandai dengan warna kuning seperti pada Gambar 4.19 (c).



Gambar 4.17 Hasil pengujian SEM komposit nanopartikel silika-karbon dengan waktu karbonisasi hidrotermal 2 jam dengan perbesaran (a) 5000x dan (b) 10000x



Gambar 4.18 Hasil pengujian SEM komposit nanopartikel silika-karbon dengan waktu karbonisasi hidrotermal 8 jam dengan perbesaran (a) 5000x, (b) 10000x

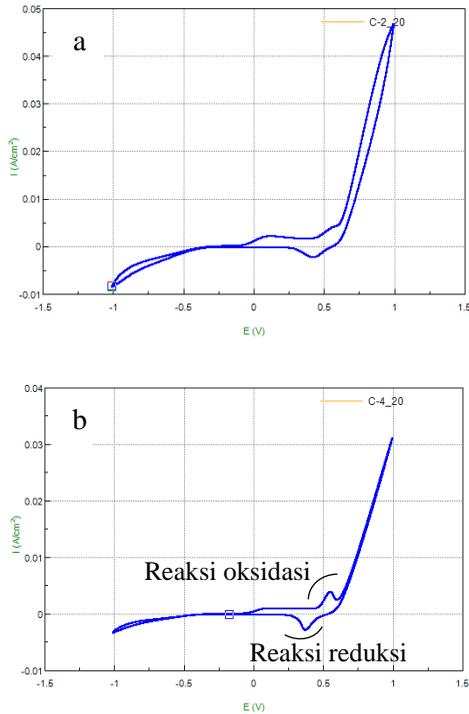


Gambar 4.19 Hasil pengujian SEM komposit nanopartikel silika-karbon dengan waktu karbonisasi hidrotermal 6 jam dengan perbesaran (a) 1000x, (b) 5000x, dan (c) mapping unsur

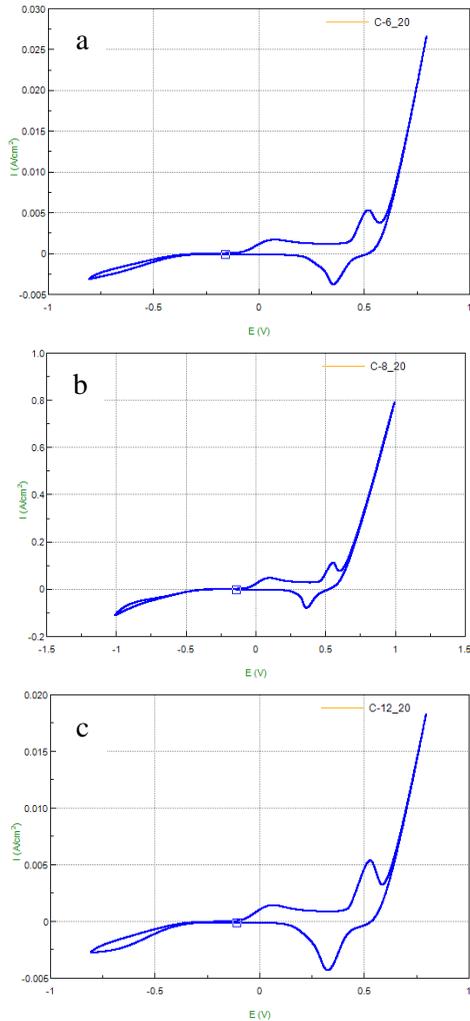
4.4 Pengujian Cyclic Voltammetry (CV)

Pengujian CV dilakukan pada karbon dengan karbonisasi hidrotermal selama 2, 4, 6, 8, dan 12 jam serta komposit silika-karbon dengan karbonisasi hidrotermal selama 2, 4, 6, 8, dan 12 jam. Pada pengujian CV, digunakan larutan KOH 0,1 M sebagai larutan elektrolit, grafit sebagai *counter electrode*, dan elektroda Ag/AgCl 1,0 M sebagai elektroda pembanding. Pengujian CV dilakukan dengan *scan rate* 0,02 V/s dengan rentang potensial dari -1,0 hingga 1,0. Hasil uji *Cyclic Voltammetry* (CV) yang ditunjukkan oleh Gambar 4.20 dan Gambar 4.21 menunjukkan bahwa terjadi

aktivitas katalitik reaksi reduksi oksigen pada lembah bagian bawah dan reaksi oksidasi pada puncak bagian atas. Reaksi reduksi yang terjadi secara umum adalah seperti pada reaksi 3.1



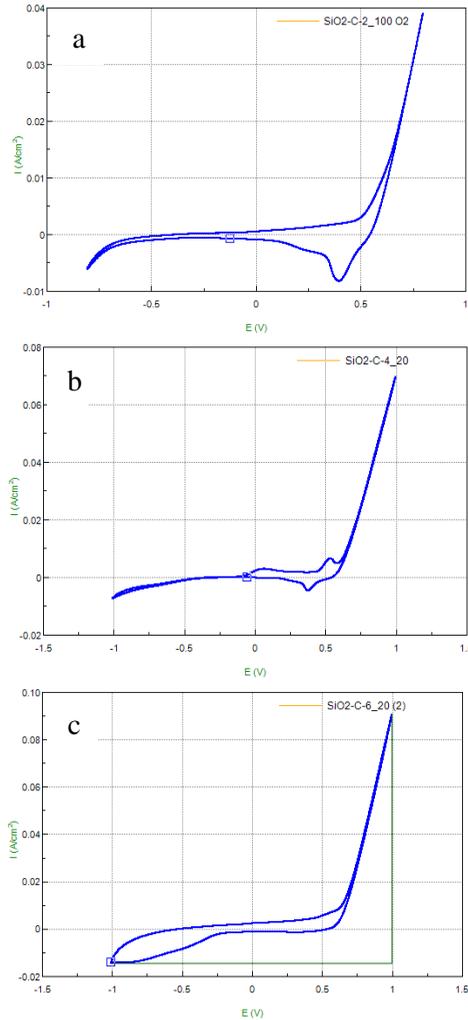
Gambar 4.20 Hasil pengujian CV pada: (a) C-2 dan (b) C-4



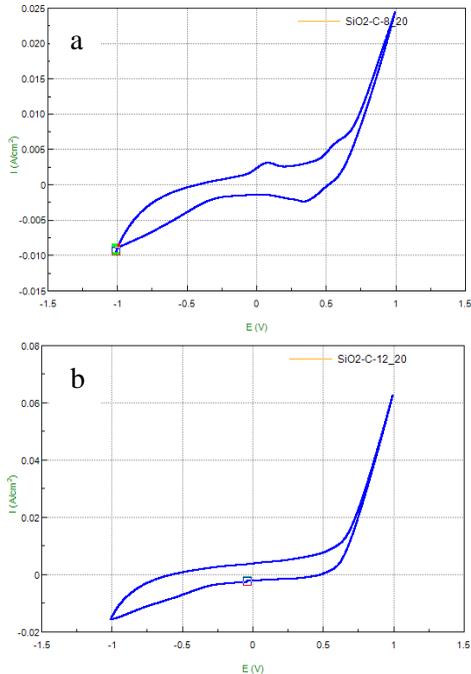
Gambar 4.21 Hasil pengujian CV pada: (a) C-6, (B) C-8, dan (c) C-12

Pada karbon C-2 (Gambar 4.21 (a)), C-4 (Gambar 4.21 (b)), C-6 (Gambar 4.22 (a)), C-8 (Gambar 4.22 (b)), dan C-12 (Gambar 4.22 (c)) terlihat jelas adanya lembah yang berarti terjadi reduksi

dan bukit yang berarti ada terjadinya oksidasi. Reduksi pada karbon didapatkan melalui oksigen jenuh yang telah dialirkan pada KOH sebelum dilakukannya pengujian.



Gambar 4.22 Hasil pengujian CV pada: (a) $\text{SiO}_2\text{-C-2}$, (b) $\text{SiO}_2\text{-C-4}$, (c) $\text{SiO}_2\text{-C-6}$



Gambar 4.23 Hasil pengujian CV pada: (a) SiO₂-C-8, dan (b) SiO₂-C-12

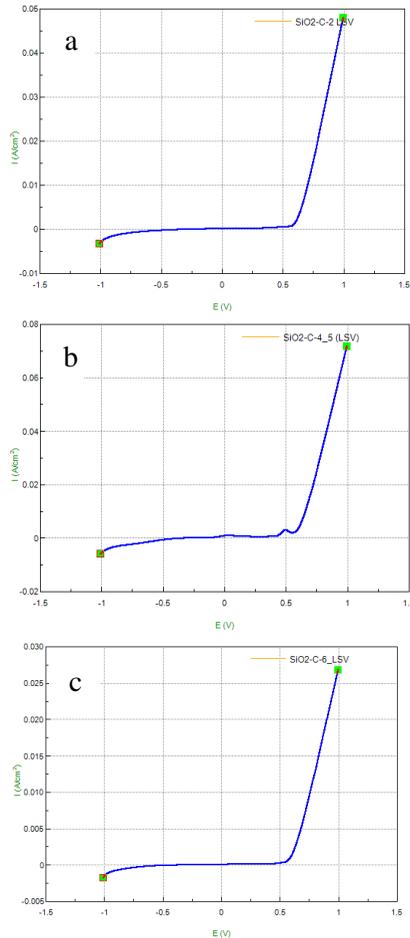
Gambar 4.23 (a), Gambar 4.23 (b), Gambar 4.23 (c), Gambar 4.24 (a), Gambar 4.24 (b) berturut-turut merupakan hasil pengujian CV dari komposit silika-karbon SiO₂-C-2, SiO₂-C-4, SiO₂-C-6, SiO₂-C-8, dan SiO₂-C-12. Layaknya hasil pengujian CV pada karbon, pada komposit silika-karbon juga didapatkan lembah reduksi dan bukit oksidasi.

Tabel 4.7 Hasil Pengujian CV

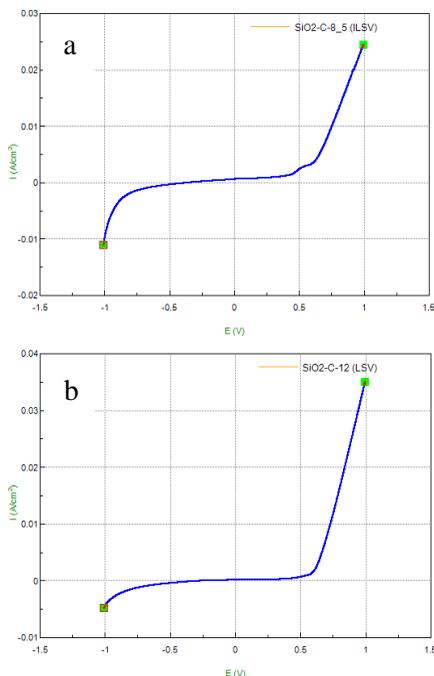
Sampel	Nilai Kapasitansi (F)	Cs (F/g)	Densitas Energi (Wh/Kg)	Densitas Power (W/Kg)
C-2	0,0617	1,350	0,751	4,859
C-4	0,0201	3,085	1,716	11,106
C-6	0,0356	6,352	3,533	22,866
C-8	0,0593	6,444	3,584	23,200
C-12	0,0361	6,805	3,785	24,498
SiO ₂ -C-2	0,0112	0,672	0,374	2,421
SiO ₂ -C-4	0,0396	4,601	2,559	16,563
SiO ₂ -C-6	0,1333	11,693	6,503	42,095
SiO ₂ -C-8	0,0840	13,336	7,417	48,010
SiO ₂ -C-12	0,1484	13,873	7,716	49,942

Tabel 4.7 menunjukkan data hasil pengujian CV pada karbon dan komposit silika-karbon. Pada sampel karbon, didapatkan nilai kapasitansi spesifik tertinggi pada karbon dengan waktu karbonisasi hidrotermal selama 12 jam, yaitu sebesar 3,785 F/g. Sedangkan, kapasitansi spesifik terendah pada karbon dengan waktu karbonisasi hidrotermal selama 2 jam, yaitu sebesar 0,751 F/g. Begitu juga pada sampel komposit yang telah diuji. Didapatkan nilai kapasitansi spesifik tertinggi pada komposit dengan waktu karbonisasi hidrotermal selama 12 jam, yaitu 7,716 F/g dan nilai kapasitansi spesifik terendah pada komposit dengan karbonisasi hidrotermal selama 2 jam, yaitu 0,374 F/g. Dapat diketahui bahwa seiring dengan meningkatnya kapasitansi karbon, maka kapasitansi komposit silika-karbon juga akan meningkat. Meningkatnya kapasitansi salah satunya disebabkan oleh semakin luasnya pori seiring dengan naiknya waktu karbonisasi hidrotermal yang dilakukan.

Selain pengujian CV, dilakukan pula pengujian LSV dengan *scan rate* 0,05 V/s. Hasil pengujian LSV untuk dapat dilihat pada Gambar 4.18 berikut.



Gambar 4.24 Hasil pengujian LSV komposit silika-karbon: (a) SiO₂-C-2, (b) SiO₂-C-4, dan (c) SiO₂-C-6



Gambar 4.25 Hasil pengujian LSV komposit silika-karbon: (a) $\text{SiO}_2\text{-C-8}$, dan (b) $\text{SiO}_2\text{-C-12}$

Pada kurva LSV tersebut, terdapat bukit kecil yang menandakan adanya reaksi oksidasi. Reaksi oksidasi ini memiliki puncak yang sama dengan reaksi reduksi (Leclerc dkk, 2018).

Dari pengujian LSV pada $\text{SiO}_2\text{-C-2}$ (Gambar 4.24 (a)) didapatkan puncak pada 0,99872 V dan 0,034687 A/cm^2 . Sedangkan pada $\text{SiO}_2\text{-C-4}$ (Gambar 4.24 (b)) didapatkan puncak pada 0,99881 V dan 0,070803 A/cm^2 . Pada $\text{SiO}_2\text{-C-6}$ (Gambar 4.24 (c)) terdapat puncak 0,99885 V dan 0,026605 A/cm^2 . Pada $\text{SiO}_2\text{-C-8}$ (Gambar 4.25 (a)) terdapat puncak 0,99888 V dan 0,04764 A/cm^2 . Pada $\text{SiO}_2\text{-C-12}$ (Gambar 4.25 (b)) terdapat puncak di 0,99892 V dan 0,022838 A/cm^2 .

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

1. Komposit silika-karbon dengan proses karbonisasi hidrotermal selama 2, 4, 6, 8, dan 12 jam yang telah dilakukan menghasilkan pori yang berukuran makro.
2. Komposit silika-karbon yang terbentuk memiliki kapasitas spesifik berturut-turut dari yang terbesar, yaitu pada waktu hidrotermal 12 jam (13,873 F/g), 8 jam (13,336 F/g), 6 jam (11,693 F/g), 4 jam (4,601 F/g), dan 2 jam (0,672 F/g) yang artinya semakin lama waktu perlakuan karbonisasi hidrotermal, semakin besar pula kapasitas spesifiknya.

5.2 Saran

Adapun saran untuk penelitian yang telah dilakukan adalah sebagai berikut.

1. Menambahkan pengujian FPP (*Four-Point Probe*) untuk mengetahui konduktivitas listrik yang dihasilkan material.
2. Menambahkan pengujian CV dan LSV dengan menggunakan RDE (*Rotating Disc Electrode*).
3. Menambahkan pengujian BET untuk mengetahui karakteristik pori yang lebih spesifik.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- Ahda, Mustofa. 2015. "Aplikasi Silika MCM-41 Sebagai Material Berpori dalam Adsorpsi Ibuprofen". **Media Farmasi**, September 2015, 12(2), 152-162
- Alcaraz, L., López Fernández, A., García-Díaz, I., López, F. A. 2018. "Preparation and characterization of activated carbons from winemaking wastes and their adsorption of methylene blue". **Adsorption Science & Technology**, 36(5–6), 1331–1351
- Babaso, P. Nita dan H Sharanagouda 2017. "Rice Husk and Its Applications: Review". **Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci**, 2017, 6(10), 1144-1156
- Badan Pusat Statistik. 2018. **Luas Panen dan Produksi Beras 2018**. Jakarta: Badan Pusat Statistik Indonesia
- Callister, William D., dan David G. Rethwisch. 2014. **Materials Science and Engineering: An Introduction**. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc
- Chandra, Andy., Miryanti, Arry., Widjaja, Livia Budyanto., Pramudita, Andika. 2012. **Isolasi dan Karakterisasi Silika dari Sekam Padi**. Bandung : Universitas Katolik Prahayangan
- Chandrasekhar, S., dkk. 2003. "Review: Processing, Properties, and Applications of Reactive Silica from Rice Husk". **Journal of Material Science**, 2003, 38, 3159-3168
- Chiew, Yi Ling dan Kuan Yew Cheong. 2011. "A Review on The Synthesis of SiC From Plant-Based Biomass". **Materials Science and Engineering B**, 2011, 176, 951-964
- Daniel, Claus dan Jürgen O. Besenhard. 2011. **Handbook of Battery Materials: 2nd Edition**. Weinheim: Wiley-VCH Verlag & Co.
- Deshmukh, Dr. Pallavi., Bhatt, Jatin., Peshwe, D., Pathak, Shaikumar. 2011. "Determination of Silica Activity Index and XRD, SEM and EDS Studies of Amorphous SiO₂

-
- Extracted From Rice Husk Ash". **Transactions of the Indian Institute of Metals**, 2011, 65(1), 63-70
- Eftekhari, Ali. 2017. "Ordered Mesoporous Materials for Lithium-Ion Batteries". **Microporous and Mesoporous Materials**, 2017, 243, 355-369
- Fuller, Thomas F. dan John N. Harb. 2018. **Electrochemical Engineering**. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc
- Handayani, Prima A., dkk. 2015. "Pemanfaatan Limbah Sekam Padi Menjadi Silika Gel". **Jurnal Bahan Alam Terbarukan**, 2015, 4(2), 55-59
- International Enterprise Center. **CorrTest Instrument**. Wuhan, t.thn.
- Jadhav, Sushilkumar A., dkk. 2017. "Porous Silica Particles: Synthesis, Physicochemical Characterization and Evaluation of Suspension Stability". **Phys Chem Ind J**, 2017, S1, 102
- Kalderis, D., Kotti, M.S., Mendez, A., Gasco, G. 2014. "Characterization of Hydrochars Produced by Hydrothermal Carbonization of Rice Husk". **Solid Earth**, 5, 477-483
- Leclerc, N., Legeai, S., Balva, M., Hazotte, C., Comel, J., Lapique, F., Billy, E., Meux, E. 2018. "Recovery of Metals from Secondary Raw Materials by Coupled Electroleaching and Electrodeposition in Aqueous or Ionic Liquid Media". **Metals**, 2018, 8, 556
- Li, Yanguang dan Hongjie Dai. 2014. "Recent Advances in Zinc-Air Batteries". **ChemSocRev**, 43, 5257
- Liu, Jian dan San Ping Jiang. 2017. **Mesoporous Materials for Advanced Energy Storage and Conversion Technologies**. Boca Raton: CRC Press
- Mauger, Alain, dkk. 2019. "Recent Progress on Organic Electrodes Materials for Rechargeable Batteries and Supercapacitors". **Materials**, 2019, 12, 1770
- Mehmood, Asad, dkk. 2017. "Mesoporous Silica Nanoparticles: A Review". **J. Develop Drugs**, 2017, 6(2), 174
-

-
- Murti, Cahyaning Fajar Kresna. 2017. **Penumbuhan Lapisan Tipis Silikon dan Amorf Terhidrogenasi (a-Si:H) Tipe-N dengan Pengenceran H₂ Menggunakan Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition (PECVD)**. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- Nguyen, Tuan Dung, dkk. 2012. "Synthesis of Activated Carbon from Rice Husk Using Microwave Heating Induced KOH Activation". **Korean Journal of Materials Research**, 22(6), 321-327
- Peng, C., Lang, J., Xu, S., & Wang, X. 2014. "Oxygen-enriched activated carbons from pomelo peel in high energy density supercapacitors". **RSC Adv.**, 4(97), 54662–54667
- Prasad, Ram dan Monika Pandey. 2012. "Rice Husk Ash as a Renewable Source for The Production of Value Added Silica Gel and its Application: An Overview". **Bulletin of Chemical Reaction Engineering & Catalysis**, 2012, 7(1), 1-25
- Puccini, Monica., Stefanelli, Eleonora., Hiltz, Martin., Seggiani, Maurizia., Vitolo, Sandra. 2017. "Activated Carbon from Hydrochar Produced by Hydrothermal Carbonization of Wastes". **Chemical Engineering Transactions**, 2017, 57
- Raharjo S, Purwaningsih H, Susanti D, Pratiwi VM. 2018. **Analisis Pengaruh Temperatur Perlakuan Hidrotermal terhadap Pembentukan Silika Mesopori MCM-41 dari Sekam Padi**. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- Ratha, S., Marri, S. R., Lanzillo, N. A., Moshkalev, S., Nayak, S. K., Behera, J. N., & Rout, C. S. 2015. "Supercapacitors based on patronite–reduced graphene oxide hybrids: experimental and theoretical insights". **Journal of Materials Chemistry A**, 3(37), 18874–18881
- Rahman, Nurul Barakah Ab, dkk. 2015. "Synthesis and Characterization of Mesoporous Silica MCM-41 and SBA-15 From Power Plant Bottom Ash". **Malaysian Journal of Analytical Science**, 2016, 20(3), 539-545
-

-
- Satriadi, Aditia, dkk. 2016. "Pengaruh Luas Elektroda Terhadap Karakteristik Baterai LiFePO_4 ". **Jurnal Material dan Energi Indonesia**, 6(2), 43-48
- Sayari, Abdelhamid dan Yong Yang. 2005. "SBA-15 Templated Mesoporous Carbon: New Insights into the SBA-15 Pore Structure". **Chem. Mater.** 2005, 1, 6108-6113
- Shen, Yafei. 2017. "Rice Husk Silica Derived Nanomaterials for Sustainable Applications". **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 2017, 80, 453-366
- Singh, Ashok K. 2016. **Engineered Nanoparticles: Structure, Properties, and Mechanisms of Toxicity**. London: Elsevier Inc
- Sulastri, Siti dan Susila Kristianingrum. 2010. "Berbagai Macam Senyawa Silika: Sintesis, Karakterisasi, dan Pemanfaatan". **Prosiding Seminar Nasional Penelitian, Pendidikan dan Penerapan MIPA**. Universitas Negeri Yogyakarta, 15 Mei 2010, 211-216
- Suryana, R., IrianI, Y., Nurosyid, F., dan Fasquelle, D. 2018. "Characteristics of Silica Rice Husk Ash from Mojogedang Karanganyar Indonesia". **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, 367, 012008
- Tadda, M.A., dkk. 2016. "A Review on Activated Carbon: Process, Application, and Prospects". **Journal of Advanced Civil Engineering Practice and Research**, 2016, 2(1), 7-13
- Titirici, Maria-Magdalena., White, Robin J., Falco, Camillo., dan Sevilla, Marta. 2012. "Black perspectives for a green future: hydrothermal carbons for environment protection and energy storage". **Energy Environ. Sci.**, 2012, 5, 6796-6822
- Wang, Tengfei, dkk. 2018. "A Review of The Hydrothermal Carbonization of Biomass Waste for Hydrocharformation: Process Conditions, Fundamentals, and Physicochemical Properties". **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 2018, 90, 223-247
- Yunita, Isti. 2013. "Kajian Sintesis, Karakterisasi dan Modifikasi MCM-41". **Prosiding Seminar Nasional Kimia 2013**
-

Zhong, Ruyi., Peng, Li., de Clippel, Filip., Gommel, Cedric., Goderis, Bart., Ke, Xiaoxing., Van Tendeloo, Gustaaf., Jacobs, Pierre A., dan Sels, Bert F. 2015. "An Eco-friendly Soft Template Synthesis of Mesostructured Silica-Carbon Nanocomposites for Acid Catalysis". **ChemCatChem**, 2015, 7, 3047-3049

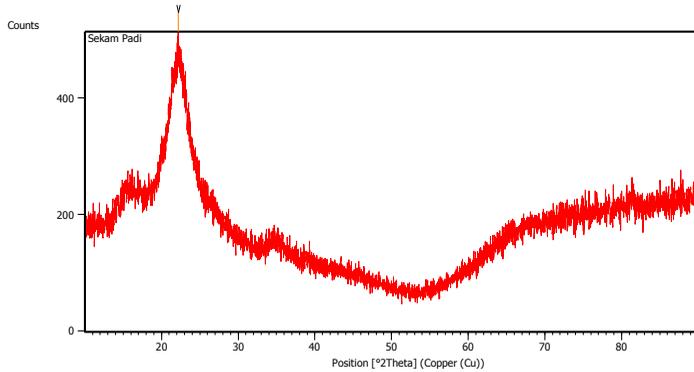
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN

Lampiran 1

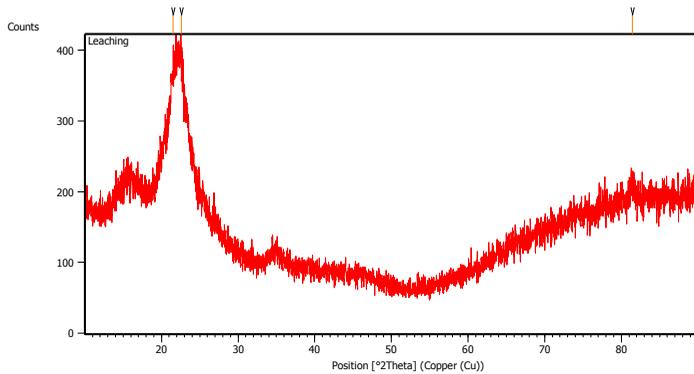
Hasil Pengujian XRD

a. Sekam padi



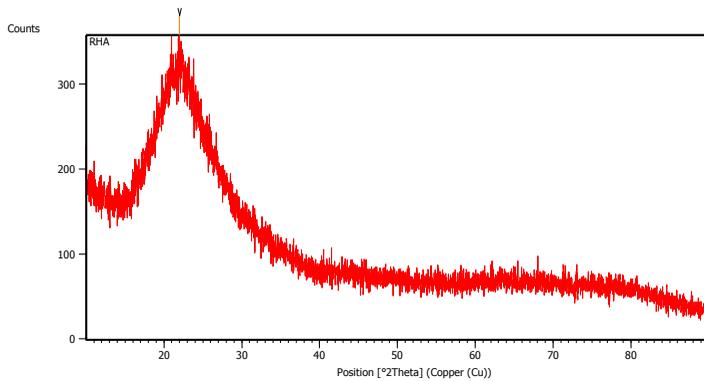
Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
22.1727	137.06	0.6528	4.00596	100.00

b. Sekam padi dengan perlakuan leaching HNO₃



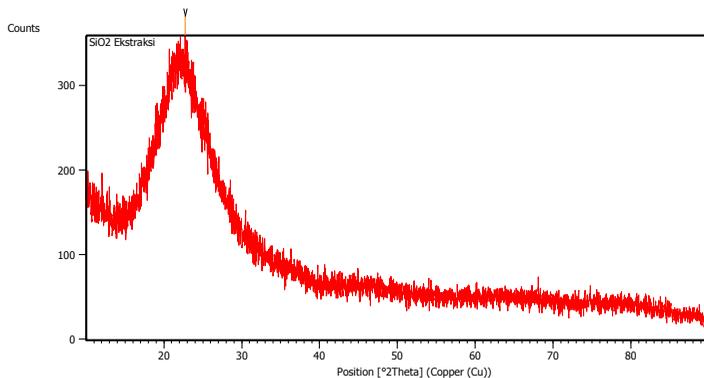
Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
21.5102	129.25	0.9368	4.13124	86.85
22.6103	148.82	0.5353	3.93267	100.00

c. Arang sekam padi



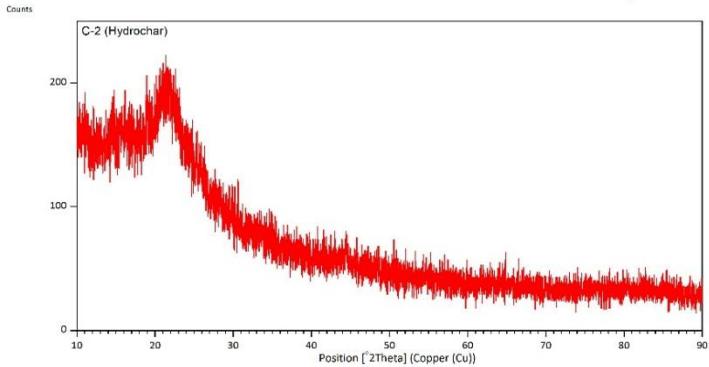
Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
22.0155	43.95	0.0900	4.03420	100.00

d. Silika

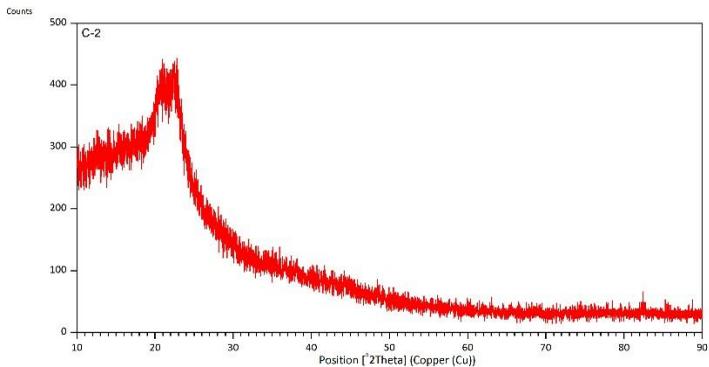


Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
22.7162	56.85	0.0900	3.91133	100.00

e. Karbon C-2 sebelum aktivasi

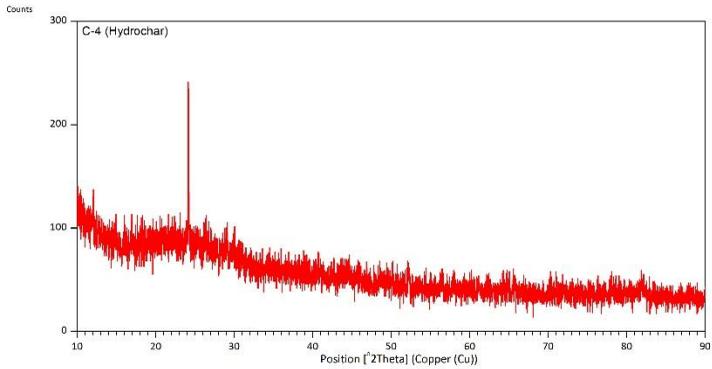


f. Karbon C-2 setelah aktivasi



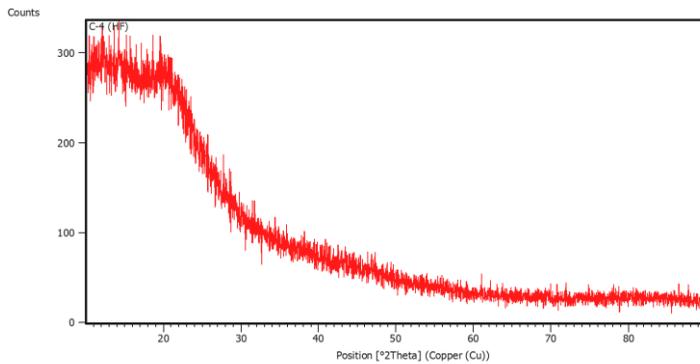
Pos. [$^{\circ}$ 2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [$^{\circ}$ 2Th.]	d-spacing [\AA]	Rel. Int. [%]
21.8846	111.42	0.9368	4.06141	18.01

g. Karbon C-4 sebelum aktivasi

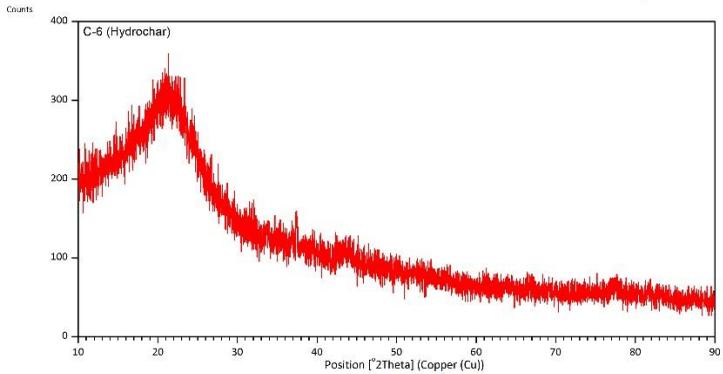


Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
24.1687	154.06	0.0502	3.68249	22.22

h. Karbon C-4 setelah aktivasi

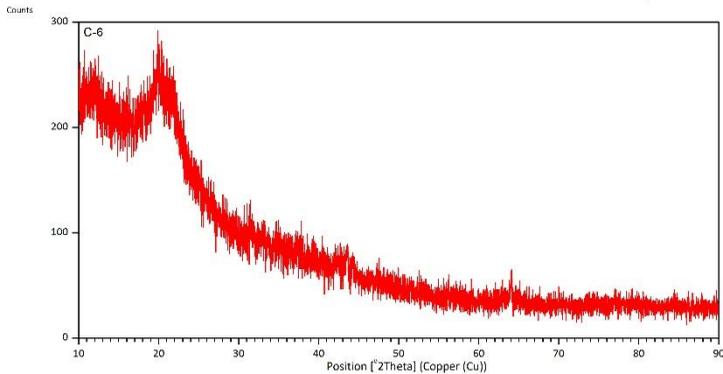


i. Karbon C-6 sebelum aktivasi

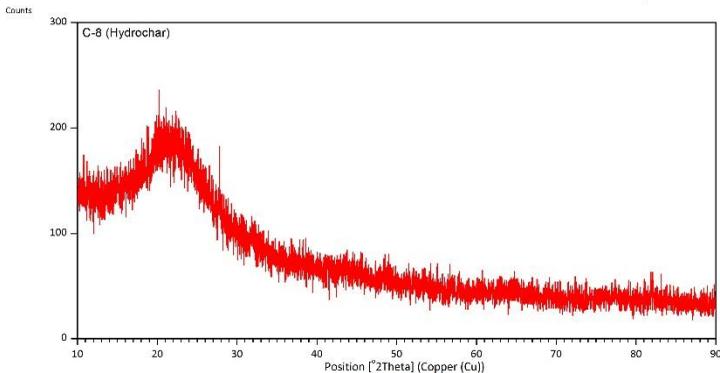


Pos. [$^{\circ}2\text{Th.}$]	Height [cts]	FWHM Left [$^{\circ}2\text{Th.}$]	d-spacing [\AA]	Rel. Int. [%]
22.6537	19.43	0.8029	3.92522	1.84
24.4157	11.64	0.8029	3.64581	1.10

j. Karbon C-6 setelah aktivasi

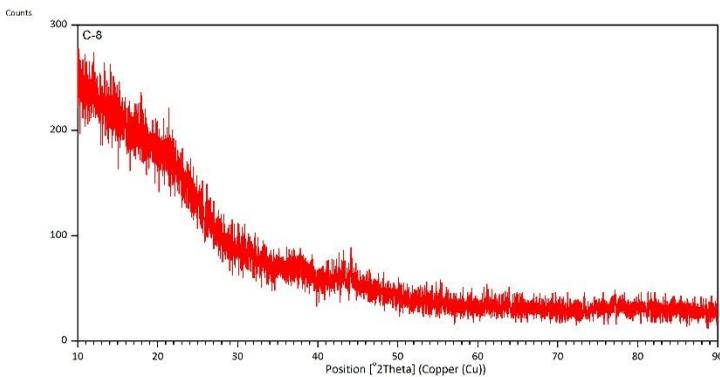


k. Karbon C-8 sebelum aktivasi

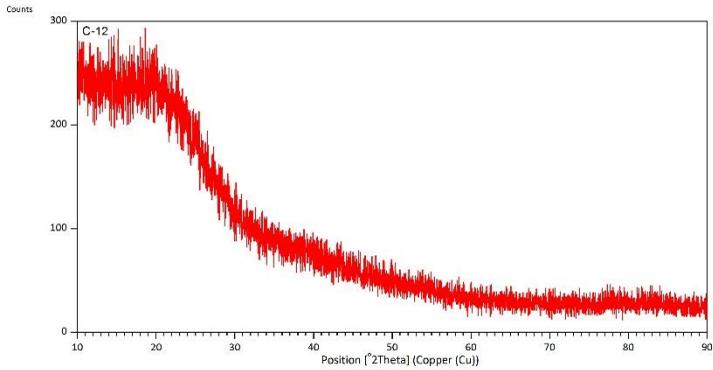


Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
27.7958	59.03	0.0502	3.20966	6.98

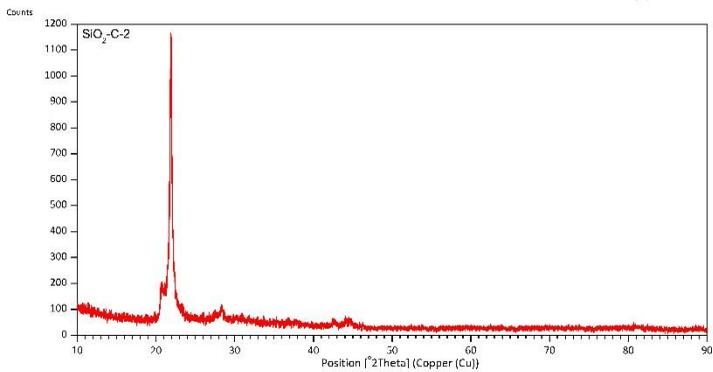
l. Karbon C-8 setelah aktivasi



m. Karbon C-12 setelah aktivasi

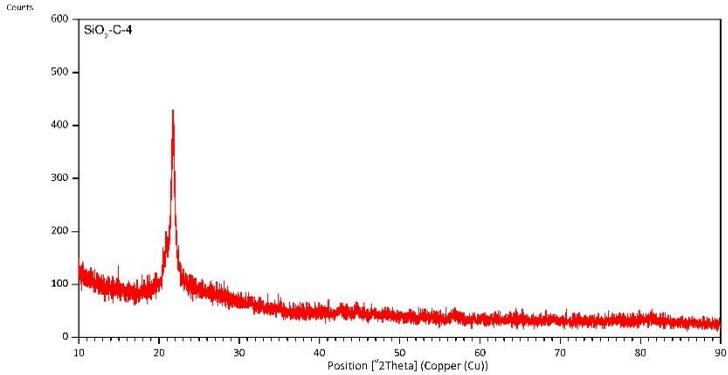


n. SiO₂-C-2



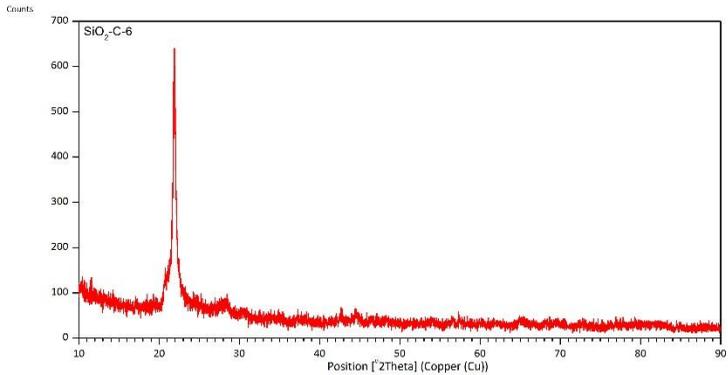
Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
20.6111	99.06	0.3011	4.30939	9.82
21.9353	1008.96	0.1673	4.05213	100.00
28.3826	47.07	0.2676	3.14463	4.67
42.6441	15.27	0.4015	2.12023	1.51
44.1354	23.61	0.2007	2.05199	2.34

o. SiO₂-C-4



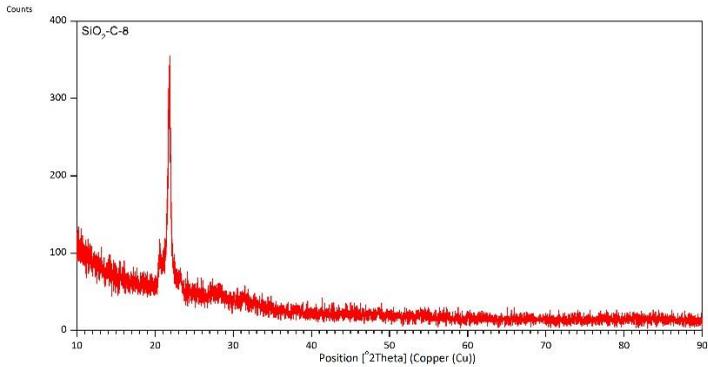
Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
20.6422	59.42	0.2342	4.30295	12.18
21.7622	307.19	0.2676	4.08397	62.98

p. SiO₂-C-6



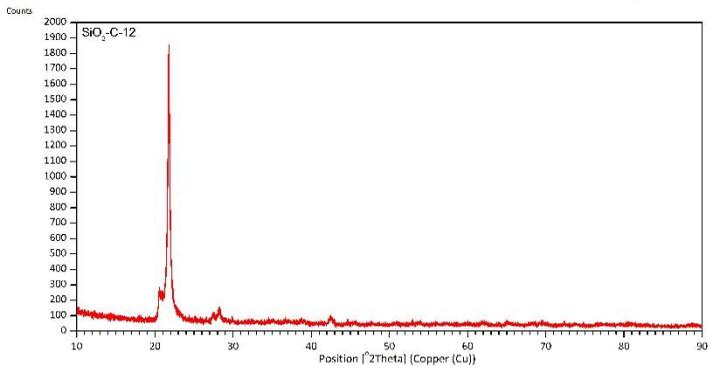
Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
21.8834	524.02	0.2007	4.06163	100.00
28.4168	21.57	0.4015	3.14092	4.12

q. $\text{SiO}_2\text{-C-8}$

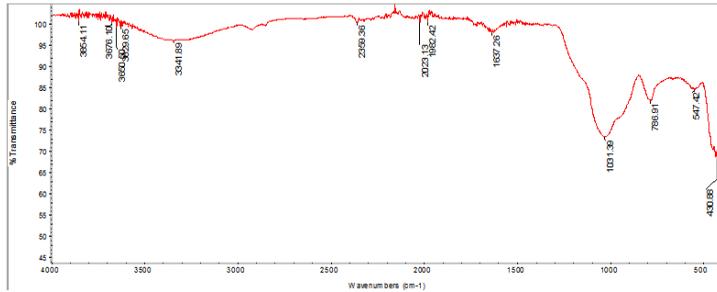
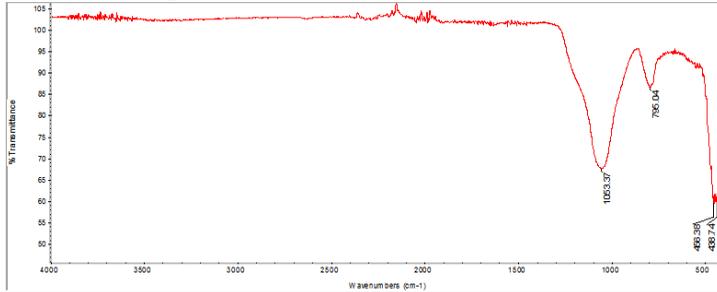
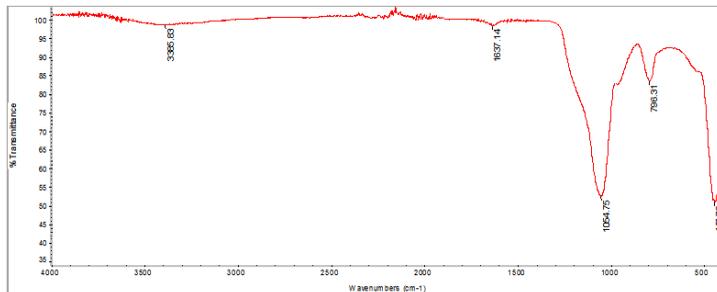


Pos. [$^{\circ}2\text{Th.}$]	Height [cts]	FWHM Left [$^{\circ}2\text{Th.}$]	d-spacing [\AA]	Rel. Int. [%]
20.6074	45.28	0.2007	4.31014	17.98
21.8926	251.88	0.2676	4.05993	100.00
23.2866	20.72	0.4015	3.81996	8.23

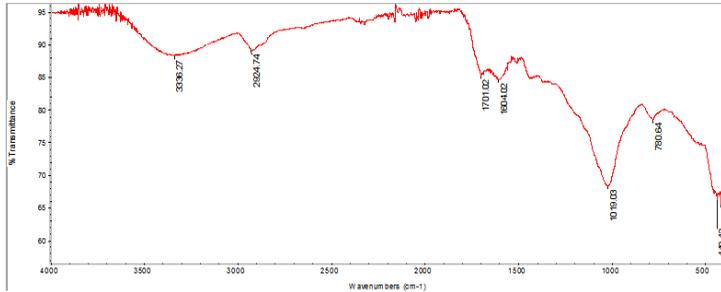
r. $\text{SiO}_2\text{-C-12}$



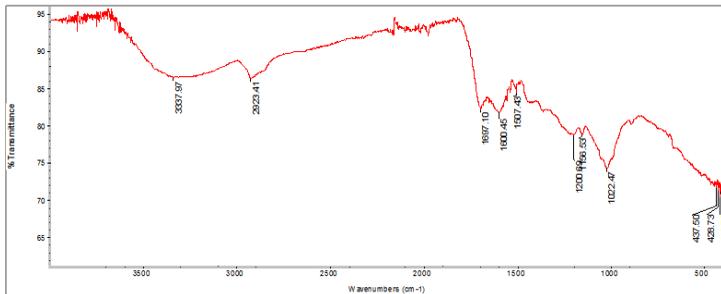
Pos. [$^{\circ}2\text{Th.}$]	Height [cts]	FWHM Left [$^{\circ}2\text{Th.}$]	d-spacing [\AA]	Rel. Int. [%]
20.5859	193.78	0.1004	4.31459	9.60
21.7853	1763.89	0.1004	4.07969	87.38
42.5090	37.94	0.3346	2.12666	1.88
44.6459	32.66	0.5712	2.02803	1.62

Lampiran 2**Hasil Pengujian FTIR****a. Sekam padi****b. Arang sekam padi****c. Silika**

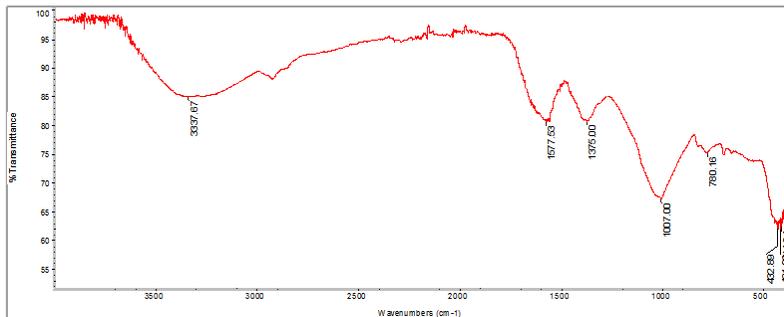
d. Karbon C-2 sebelum aktivasi



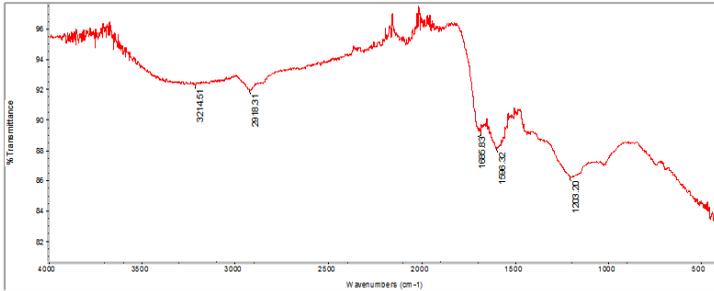
e. Karbon C-2 setelah aktivasi



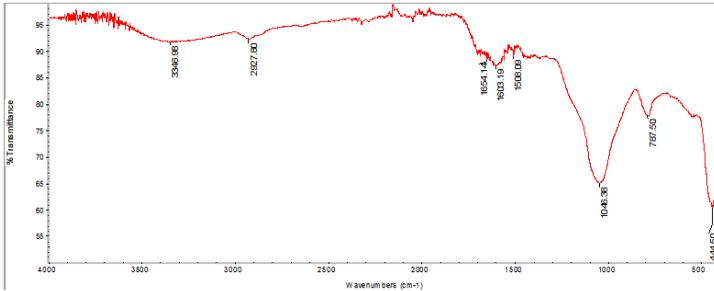
f. Karbon C-4 sebelum aktivasi



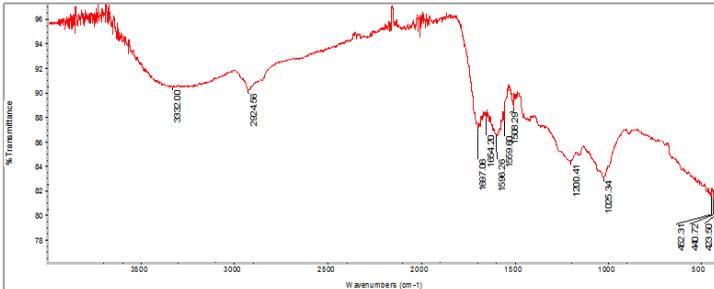
g. Karbon C-4 setelah aktivasi



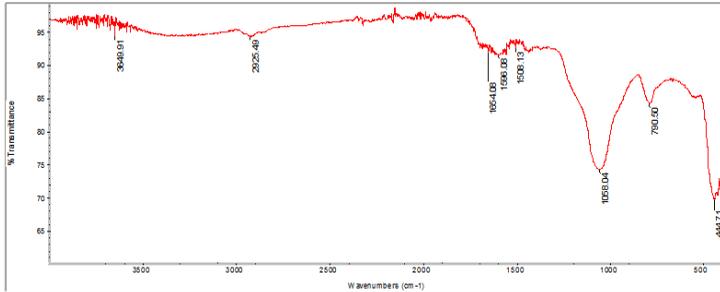
h. Karbon C-6 sebelum aktivasi



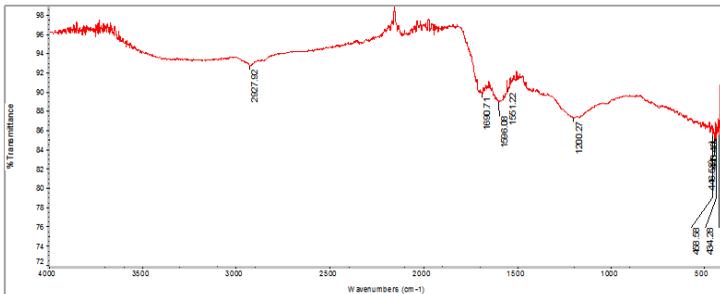
i. Karbon C-6 setelah aktivasi



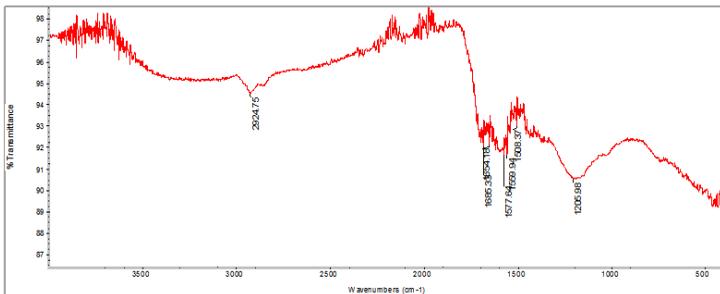
j. Karbon C-8 sebelum aktivasi



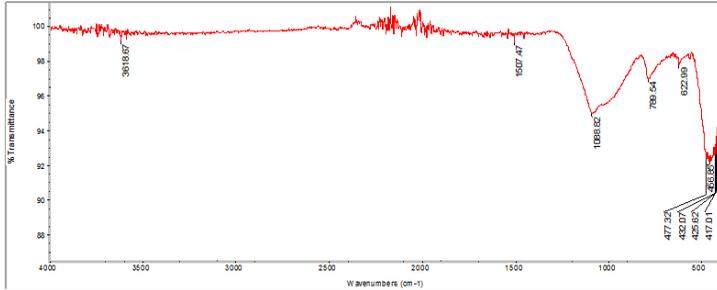
k. Karbon C-8 setelah aktivasi



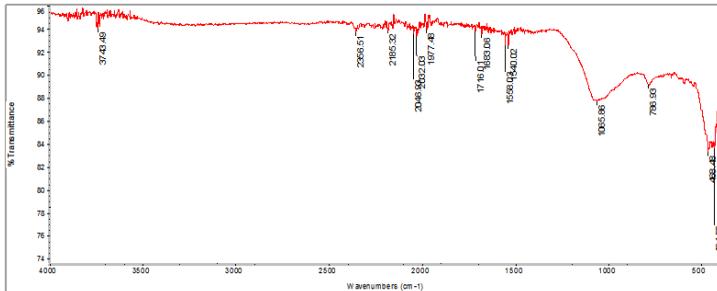
l. Karbon C-12 setelah aktivasi



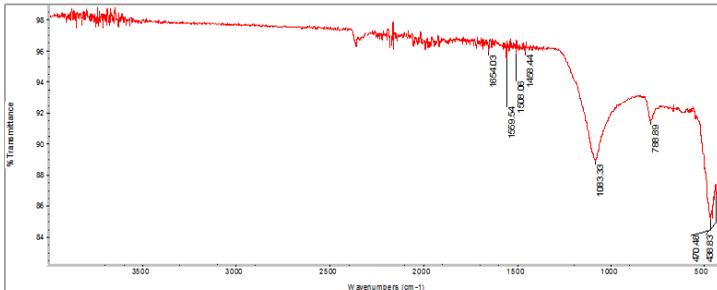
m. SiO₂-C-2



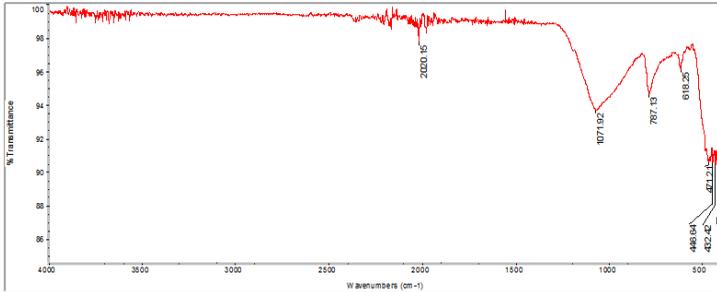
n. SiO₂-C-4



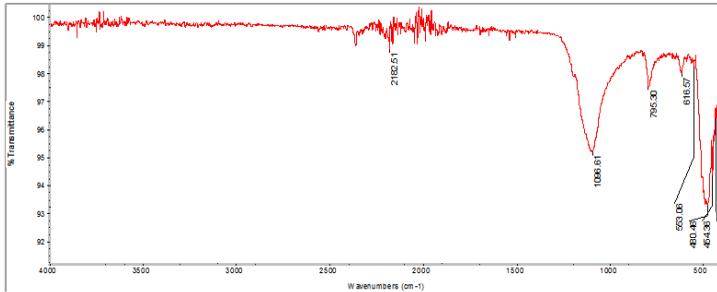
o. SiO₂-C-6



p. $\text{SiO}_2\text{-C-8}$



q. $\text{SiO}_2\text{-C-12}$



Lampiran 3

Perhitungan Uji CV

Sampel	Massa Sebelum (g)	Massa Sesudah (g)	Massa yang terdeposit (g)	Nilai Kapasitansi (F)	Nilai Kapasitansi Spesifik (F/g)	Densitas Energi (Wh/Kg)	Densitas Power (W/Kg)
C-2	0,3305	0,3762	0,0457	0,0617	1,350	0,751	4,859
C-4	0,3758	0,3823	0,0065	0,0201	3,085	1,716	11,106
C-6	0,3277	0,3333	0,0056	0,0356	6,352	3,533	22,866
C-8	0,3927	0,4019	0,0092	0,0593	6,444	3,584	23,200
C-12	0,3035	0,3088	0,0053	0,0361	6,805	3,785	24,498
SiO ₂ -C-2	0,3425	0,3592	0,0167	0,0112	0,672	0,374	2,421
SiO ₂ -C-4	0,3104	0,319	0,0086	0,0396	4,601	2,559	16,563
SiO ₂ -C-6	0,3345	0,3459	0,0114	0,1333	11,693	6,503	42,095
SiO ₂ -C-8	0,4119	0,4182	0,0063	0,0840	13,336	7,417	48,010
SiO ₂ -C-12	0,3759	0,3866	0,0107	0,1484	13,873	7,716	49,942

UCAPAN TERIMA KASIH

Sebagai penutup penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Tuhan Yang Maha Esa yang selalu menjadi sumber perlindungan dan kekuatan bagi penyusun dalam melaksanakan penelitian Tugas Akhir.
2. Orang tua dan keluarga yang selalu mendukung serta memberikan doa selama penelitian Tugas Akhir dan penyusunan laporan.
3. Ibu Dian Mugni Fellicia, S.T., M.Sc dan Bapak Haniffudin Nurdiansah, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing Tugas Akhir atas bimbingannya selama pelaksanaan dan penyusunan Laporan Tugas Akhir.
4. Ibu Diah Susanti, S.T., M.T., Ph.D dan Ibu Hariyati Purwaningsih, S.Si., M.Si. , selaku dosen pembimbing utama Tugas Akhir atas bimbingannya selama pelaksanaan dan penyusunan Laporan Tugas Akhir.
5. Mbak Yeni selaku asisten Laboratorium Kimia Material atas bantuannya selama mengerjakan Tugas Akhir.
6. Gabreiel Natalia Kristin sebagai *partner* tugas akhir penulis yang sudah membantu dan memberi semangat selama mengerjakan Tugas Akhir.
7. Teman-teman anggota Laboratorium Kimia Material (Laras, Alvia, Riska, Ade, Triska, Ali, Wardhana, Dayyan) yang telah memberikan hiburan, bantuan dan semangat selama mengerjakan Tugas Akhir.
8. Teman-teman Teknik Material dan Metalurgi angkatan 2016 yang telah memberikan dukungan selama mengerjakan Tugas Akhir.
9. Semua pihak yang secara langsung maupun tidak langsung memberikan dukungan dan membantu kelancaran proses pengerjaan Tugas Akhir ini.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Azarine Atha Pandani. Lahir dari pasangan Gagak Panenta dengan Utari Kusuma Wardani di Kota Surabaya pada tanggal 17 Desember 1999. Penulis merupakan anak pertama dari tiga bersaudara. Penulis menempuh pendidikan formal di SDN Ketabang I, SMPN 1 Surabaya, dan SMAN 5 Surabaya. Penulis kemudian melanjutkan pendidikan di Perguruan Tinggi Negeri, tepatnya di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Departemen Teknik Material dan Metalurgi Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem pada tahun 2016 melalui jalur SBMPTN. Selama menjadi mahasiswa, penulis sempat menjadi staff divisi materi UKM ITS Astronomi Club pada 2017/2018. Penulis melakukan Kerja Praktik di PT. Bhirawa Steel selama kurang lebih dua bulan. Penulis mengakhiri studi S1-nya dengan mengambil bidang Material Inovatif, khususnya pada material terbarukan. Penulis dapat dihubungi melalui alamat e-mail dan nomor telepon: azarineapandani@gmail.com dan 082141476525