

TUGAS AKHIR – TL184834

ANALISIS PENGARUH TEMPERATUR KARBONISASI HIDROTERMAL TERHADAP KARAKTERISTIK PORI DAN KAPASITANSI KOMPOSIT NANOPARTIKEL SILIKA-KARBON

GABREIEL NATALIA KRISTIN NRP. 02511640000005

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 TEMPERATUR KARBONISASI HIDROTERMAL TERHADAP KARAKTERISTIK PORI DAN KAPASITANSI KOMPOSIT NANOPARTIKEL SILIKA-KARBON

GABREIEL NATALIA KRISTIN NRP. 02511640000005

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 TEMPERATURE OF HYDROTHERMAL CARBONIZATION ON THE PORE CHARACTERISTIC AND CAPACITANCE ON SILICA-CARBON COMPOSYTE NANOPARTICLE

GABREIEL NATALIA KRISTIN NRP. 02511640000005

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

METALLURGICAL AND MATERIALS ENGINEERING DEPARTMENT Faculty of Industrial Technology and Sistem Engineering Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya 2020 (*This page is intentionally left blank*)

ANALISIS PENGARUH TEMPERATUR KARBONISASI HIDROTERMAL TERHADAP KARAKTERISTIK PORI DAN PERFORMA ELEKTROKIMIA 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: GABREIEL NATALIA KRISTIN NRP. 02511640000005

Disetujui Oleh Tim Penguji Tugas Akhir:
 Dian Mughni Fellicia, S.T., M.Sc.
 Haniffudin Nurdiansah, S.T., M.T.
 (Pembimbing I)



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

ANALISIS PENGARUH TEMPERATUR KARBONISASI HIDROTERMAL TERHADAP KARAKTERISTIK PORI DAN KAPASITANSI KOMPOSIT NANOPARTIKEL SILIKA-KARBON MESOPORI

Nama	: Gabreiel Natalia Kristin
NRP	: 02511640000005
Departemen	: Teknik Material
Pembimbing I	: Dian Mughni Fellicia, S.T.,M.Sc
Pembimbing II	: Haniffudin Nurdiansah, S.T., M.T.

Abstrak

Material penghantar listrik dari bahan organik seperti sekam padi dapat digunakan sebagai pengganti bahan kimia. Sekam padi merupakan sumber karbon yang mana merupakan material penghantar listrik yang baik. Selain itu, sekam padi juga mengandung silika dengan struktur berpori. Pada penelitian ini, dilakukan sintesis silika dan karbon dari sekam padi. Silika diekstrak menggunakan metode sol gel dan karbon disintesis menggunakan metode karbonisasi hidrotermal. *Temperatur* hidrotermal divariasikan dari karbonisasi 150°C-350°C. Selanjutnya silika dan karbon diproses menjadi komposit silikakarbon. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh temperatur karbonisasi hidrotermal terhadap karakteristik pori dan kapasitansi komposit silika karbon agar dapat digunakan sebagai material penyimpan energi. Hasil uji XRD dan FTIR menunjukkan bahwa silika dan karbon berhasil disintesis. Hasil uji SEM menunjukkan bahwa sampel memiliki struktur berpori yang tidak teratur. Dari hasil uji CV, nilai kapasitansi tertinggi terdapat pada sampel SiO₂-C-350 dengan nilai sebesar 38.652 F/g. Material ini belum dapat diaplikasikan sebagai material penyimpan energi karena nilai kapasitansinya masih kecil.

Kata Kunci: Kapasitansi , karbon, komposit, pori, sekam padi, silika.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

ANALYSIS OF THE EFFECT OF TEMPERATURE OF HYDROTHERMAL CARBONIZATION ON THE PORE CHARACTERISTIC AND CAPACITANCE ON SILICA-CARBON COMPOSYTE NANOPARTICLE

Student Name	: Gabreiel Natalia Kristin
NRP	: 02511640000005
Department	: Material Engineering
Supervisor	: Dian Mughni Fellicia, S.T.,M.S
Co-supervisor	: Haniffudin Nurdiansah, S.T., M.T.

Abstract

Electrically conducting materials from organic materials such as rice husks can be used instead of chemicals. Rice husk is a source of carbon which is a good conductor of electricity. In addition, rice husks also contain silica with a porous structure. In this research, silica and carbon synthesis from rice husk was carried out. Silica is extracted using the sol gel method and carbon is synthesized using the hydrothermal carbonization method. Hydrothermal carbonization temperature varies from 150 ° C-350 ° C. Furthermore, silica and carbon are processed into silica-carbon composites. This study aims to analyze the effect of hydrothermal carbonization temperature on pore characteristics and carbon silica composite capacitance so that it can be used as an energy storage material. XRD and FTIR test results showed that silica and carbon were successfully synthesized. SEM test results show that the sample has an irregular porous structure. From the CV test results, the highest capacitance value is found in the SiO2-C-350 sample with a value of 38,652 F / g. This material cannot be applied as an energy storage material because the capacitance value is still small.

Keywords: Capacitance, carbon, composite, pore, rice husk, silica.

(This page is intentionally left blank)

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis sampaikan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat-Nya penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir yang berjudul -ANALISIS PENGARUH TEMPERATUR KARBONISASI HIDROTERMAL **TERHADAP** KARAKTERISTIK PORI DAN KAPASITANSI KOMPOSIT NANOPARTIKEL SILIKA-KARBON MESOPORI". Laporan ini

disusun dan diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan studi di Jurusan Teknik Material, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Penulis menyampaikan terima kasih kepada :

- 1. Bapak Dr. Sigit Tri W.,S.Si.,M.Si selaku Ketua Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTIRS ITS
- 2. Bapak Ir. Moh. Farid,DEA selaku dosen wali yang telah membimbing, memberi saran dan arahan serta nasihat selama perkuliahan di Departemen Teknik Material.
- 3. Ibu Dian Mughni Fellicia, S.T.,M.Sc. sebagai dosen pembimbing I yang telah membimbing penulis selama mengerjakan tugas akhir dan menyusun laporan
- 4. Bapak Haniffudin Nurdiansah, S.T., M.T. sebagai dosen pembimbing II yang telah membimbing penulis selama mengerjakan tugas akhir dan menyusun laporan.
- 5. Ibu Hariyati Purwaningsih, S.Si., M.Si. selaku pembimbing utama yang membimbing saya dengan sabar selama mengerjakan tugas akhir.
- 6. Ibu Diah Susanti, S.T., M.T., Ph.D selaku koordinator laboratorium kimia material yang telah membimbing, memberi saran dan arahan serta nasihat dalam pelaksanaan tugas akhir dan penyusunan laporan tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa laporan ini masih mempunyai banyak kekurangan yang tidak penulis sadari. Oleh karena itu,

kritik dan saran yang membangun dari pembaca sangat kami harapkan agar karya berikutnya dapat lebih baik. Harapan penulis semoga laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat dan dimanfaatkan dengan sebaik-baiknya.

> Surabaya, 21 Januari 2020 Penulis

Gabreiel Natalia Kristin

DAFTAR ISI

HALAMA	N JUDULi
LEMBAR	PENGESAHANv
ABSTRAK	X vii
ABATRAC	CTix
DAFTAR]	ISIxiii
DAFTAR	GAMBARxv
DAFTAR '	TABELxix
BAB I PEN	NDAHULUAN
1.1	Latar Belakang1
1.2	Perumusan Masalah3
1.3	Batasan Masalah3
1.4	Tujuan Penelitian3
1.5	Manfaat Penelitian
BAB II TI	NJAUAN PUSTAKA
2.1	Sekam Padi5
2.2	Silika6
2.2	.1 Silika Mesopori8
2.2	.2 Sintesis Silika Mesopori9
2.3	Karbon11
2.4	Komposit Silika Karbon13
2.5	Elektroda Material14
2.6	Penelitian Terdahulu15
BAB III M	ETODOLOGI PENELITIAN
3.1	Diagram Alir19
3.2	Bahan Penelitian22
3.3	Alat Penelitian23
3.4	Metode Penelitian
3.4	.1 Ekstraksi Silika dari Sekam Padi27
3.4	.2 Sintesis Karbon dari Sekam Padi27
3.4	.3 Pembuatan Silika Karbon Mesopori
3.4	.4 Pengujian X-Ray Diffraction (XRD)28
3.4	.5 Pengujian Scanning Electron Microscopy
	(SEM)

3.4.	6 Pengujian Fourier Transform Infra	Red
	(FTIR)	
3.4.2	7 Uji Cyclic Voltammetry (CV)	32
3.5	Rancangan Penelitian	34
BAB IV HA	SIL DĂN PEMBAHASAN	
4.1	Hasil Uji X-Ray Diffraction (XRD)	35
4.2	Hasil Uji Fourier Transform Infrared (FTI	R)42
4.3	Hasil Uji Scanning Electron Microsopy (S	EM)53
4.4	Hasil Uji Cyclic Voltammetry (CV)	57
BAB V KES	SIMPULAN DAN SARAN	
5.1	Kesimpulan	71
5.2	Saran	71
DAFTAR P	USTAKA	73
LAMPIRA	N	75
UCAPAN T	TERIMA KASIH	89
BIODATA	PENULIS	91

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Sudut interior dan eksterior Si-O-Si	7
Gambar 2.2	Klasifikasi material berpori	9
Gambar 2.3	Pembuatan silika karbon mesopori dengan	
	metode Evaporation-induced triconstituent	
	assembly (EISA)	.14
Gambar 2.4	Hasil Pengujian TEM Silika Karbon	
	nanopartikel Si ₅₀ C ₅₀ -1073	.16
Gambar 3.1	Diagram alir sintesis silika dari sekam padi	.20
Gambar 3.2	Sintesis karbon dari sekam padi dengan	
	metode	.21
Gambar 3.3	Diagram alir pembuatan silika karbon	
	mesopori	.22
Gambar 3.4	Timbangan Digital	.23
Gambar 3.5	Hot plate dan magnetic stirrer	.24
Gambar 3.6	Spatula	.24
Gambar 3.7	Autoclave	.25
Gambar 3.8	Tubular <i>furnace</i>	.25
Gambar 3.9	Crucible furnace	.26
Gambar 3.10	Muffle furnace	.26
Gambar 3.11	Alat uji XRD PANalytical	.29
Gambar 3.12	Alat uji SEM-EDX FEI Tipe Inspect S-50	.30
Gambar 3.13	Skema Alat Uji SEM	.30
Gambar 3.14	Alat Uji FTIR	.31
Gambar 3.15	Skema Alat Uji FTIR	.32
Gambar 3.16	Alat cyclic voltammetry AutoLab PGSTAT	
	tipe 302N Metrohm	.33
Gambar 4.1	Difraktogram XRD (a) Sekam padi (b) sekam	1
	padi hasil leaching HNO3 (c) abu sekam pad	i
	(d) silika hasil ekstraksi	.35
Gambar 4.2	Difraktogram XRD (a) C-150 sebelum	
	aktivasi (b) C-150 setelah aktivasi	.36
Gambar 4.3	Difraktogram XRD (a) C-200 sebelum	
	aktivasi (b) C-200 setelah aktivasi	.37

Gambar 4.4	Difraktogram XRD (a) C-250 sebelum				
	aktivasi (b) C-250 setelah aktivasi				
Gambar 4.5	Difraktogram XRD (a) C-300 sebelum				
	aktivasi (b) C-300 setelah aktivasi				
Gambar 4.6	Difraktogram XRD (a) C-350 sebelum				
	aktivasi (b) C-350 setelah aktivasi40				
Gambar 4.7	Difraktogram XRD (a) SiO ₂ -C-150 (b)				
	SiO ₂ -C-200 (c) SiO ₂ -C-250 (d) SiO ₂ -C-300				
	(e) SiO ₂ -C-35041				
Gambar 4.8	Spektra hasil uji FTIR (a) Sekam padi (b)				
	sekam padi hasil leaching HNO3 (c) abu				
	sekam padi (d) silika hasil ekstraksi42				
Gambar 4.9	Spektra hasil uji FTIR (a) C-150 sebelum				
	aktivasi (b) C-150 setelah aktivasi45				
Gambar 4.10	Spektra hasil uji FTIR (a) C-200 sebelum				
	aktivasi (b) C-200 setelah aktivasi46				
Gambar 4.11	Spektra hasil uji FTIR (a) C-250 sebelum				
	aktivasi (b) C-250 setelah aktivasi47				
Gambar 4.12	Spektra hasil uji FTIR (a) C-300 sebelum				
	aktivasi (b) C-300 setelah aktivasi48				
Gambar 4.13	Spektra hasil uji FTIR (a) C-350 sebelum				
	aktivasi (b) C-350 setelah aktivasi49				
Gambar 4.14	Spektra hasil uji FTIR (a) SiO ₂ -C-150 (b)				
	SiO ₂ -C-200 (c) SiO ₂ -C-250 (d) SiO ₂ -C-300				
	(e) SiO ₂ -C-35051				
Gambar 4.15	Hasil SEM silika hasil ekstraksi53				
Gambar 4.16	Hasil SEM C-250 (a) perbesaran 1000 kali				
	(b) perbesaran 5.000 kali53				
Gambar 4.17	Hasil SEM C-300 (a) perbesaran 10.000				
	kali (b) perbesaran 20.000 kali54				
Gambar 4.18	Hasil SEM SiO ₂ -C-250 (a) perbesaran				
	1000 kali (b) perbesaran 5.000 kali (c)				
	mapping unsur55				

Gambar 4.19	Hasil SEM sampel SiO ₂ -C-200 (a)	
	perbesaran 5.000 kali (b) perbesaran	
	10.000 kali	56
Gambar 4.20	Hasil SEM sampel SiO ₂ -C-300 (a)	
	perbesaran 5.000 kali (b) perbesaran	
	10.000 kali	56
Gambar 4.21	Hasil SEM sampel SiO ₂ -C-350 (a)	
	perbesaran 5.000 kali (b) perbesaran	
	10.000 kali	56
Gambar 4.22	Hasil uji CV nickel foam	57
Gambar 4.23	Hasil uji CV sampel (a) C-150 (b) -C-200	58
Gambar 4.24	Hasil uji CV sampel (a) C-300 (b) C-350	59
Gambar 4.25	Hasil uji CV sampel (a) SiO ₂ -C-150	60
Gambar 4.26	Hasil uji CV sampel (a) SiO ₂ -C-250 (b)	
	SiO ₂ -C-300 (c) SiO ₂ -C-350	61
Gambar 4.27	Plot kurva nilai densitas energi dan	
	densitas <i>power</i>	64
Gambar 4.28	Plot ragone untuk sampel SiO ₂ -C	65
Gambar 4.29	Hasil uji LSV sampel (a) C-150 (b) -C-200	66
Gambar 4.30	Hasil uji LSV sampel (a) C-250 (b) -C-300	67
Gambar 4.31	Hasil uji LSV sampel (a) SiO ₂ -C-150 (b)	
	SiO ₂ -C-200	68
Gambar 4.32	Hasil uji LSV sampel (a) SiO ₂ -C-250 (b)	
	SiO ₂ -C-300 (c) SiO ₂ -C-350	69

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Karakteristik Sekam Padi	.6
Tabel 2.2	Karakteristik Abu Sekam padi	.6
Tabel 2.3	Bentuk Kristal Utama Silika	.8
Tabel 2.5	Daftar Beberapa Jenis Nanopartikel Silika	
	Mesopori dan Karakteristiknya	.10
Tabel 2.6	Konduktivitas Listrik Hidrocar Berbagai	
	Temperatur	.16
Tabel 2.7	Hasil Pengujian Komposit Silika Karbon	.17
Tabel 3.1	Rancangan penelitian	.34
Tabel 4.1	Gugus sekam padi, sekam padi hasil leaching	
	HNO ₃ ,abu sekam padi dan silika hasil ekstraksi.	.44
Tabel 4.2	Gugus dan bilangan gelombang C-150, C-200, G	Z-
	250, C-300, C-350	.50
Tabel 4.3	Gugus dan bilangan gelombang SiO ₂ -C-150, SiO	D ₂ -
	C-200, SiO ₂ -C-250, SiO ₂ -C-300, SiO ₂ -C-350	.52

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam kehidupan sehari-hari, listrik merupakan kebutuhan yang penting untuk menunjang bernagai macam aktivitas. Energy listrik dapat disimpan dalam berbagai media seperti baterai dan kapasitor. Sebagai contoh, baterai menyimpan energi listrik didalam bahan kimia penyusun baterai. Bahan kimia tersebut akan diubah menjadi energi listrik saat dibutuhkan. Material penyimpan energi harus memiliki kemampuan yang baik dalam menyimpan dan menghantarkan listrik. Kebanyakan material yang sering digunakan sebagai media penghantar listrik diperoleh melalui sintesis bahan kimia. Pengggunaan bahan kimia ini dapat memberikan pengaruh yang kurang baik terhadap lingkungan. Dewasa ini, banyak peneliti yang melakukan penelitian untuk melakukan sintesis material penghantar listrik dari bahan organik seperti sekam padi karena lebih ramah lingkungan.

Sekam padi merupakan bagian luar yang keras yang melindungi bulir-bulir beras selama proses pertumbuhan. Sekitar 20% dari berat tanaman padi merupakan sekam padi. Sekam padi merupakan limbah agrikultural yang berlimpah, sekitar 545 juta ton sekam padi dihasilkan setiap tahun. Sekam padi mengandung 74% kandungan organik dan 26% kandungan inorganik. Kandungan organik meliputi selulosa, hemiselulosa, lignin, L-arabinosa, asam metilglukuronik, D-galaktosa, protein dan juga vitamin. Sedangkan kandungan inorganik meliputi SiO2 (80%), alumina (3.93%), sulfur trioksida (0.78%), besi oksida (0.41%), kalsium oksida (3.84%), magnesium oksida (0.25%),natrium oksida (0.67%) dan kalium oksida (1.45%) (Uddin dan Rahaman, 2017).

Sekam padi dapat diolah kembali menjadi *eco-material* seperti silikon,silika,silikon karbida, silikon nitrida dan lain-lain. Salah satu zat organik yang terdapat pada sekam padi adalah silika. Sejak penemuan material silika mesopori pada tahun 1990, material ini mendapat banyak perhatian dari para peneliti.

2



Material ini banyak digunakan dalam bidang katalisis, adsorpsi, proses pemisahan, pembawa obat dan lain-lain (Zhong dkk,2015). Nanopartikel silika mesopori merupakan silika yang memiliki ukuran pori antara 5-50 nm sesuai kategori yang ditentukan IUPAC. Material ini memiliki luas permukaan yang besar karena adanya pori.

Sekam padi juga merupakan sumber karbon. Material berbasis karbon,mulai dari karbon aktif, karbon *nanotube* sampai grafena merupakan material fungsional penting yang banyak digunakan sebagai katalisis, proses pemisahan dan bidang penyimpanan energi. Hingga saat ini telah dikembangkan berbagai macam metode untuk menghasilkan material berbasis karbon ,salah satunya adalah metode karbonisasi hidrotermal (*Hidrothermal Carbonization*/HTC). Metode HTC ini merupakan metode yang paling ramah lingkungan dan efektif. Selain itu,proses ini juga murah karena biomassa yang jumlahnya melimpah dapat digunakan dalam proses ini. Karbon juga memiliki struktur berpori namun bentuk porinya tidak teratur.

dan karbon dapat digunakan sebagai bahan Silika penyimpan energi. Karbon merupakan material yang memiliki konduktivitas listrik yang baik sedangkan silika merupakan bahan elektrokatalisis yang baik. Kedua material ini dapat digabungkan menjadi komposit silika karbon. Pada penelitian sebelumnya, Ervianto dkk (2018) melakukan sintesis silika mesopori dari sekam padi menggunakan templat Cetyltrimethyl Ammonium Bromide (CTAB). Silika yang dihasilkan memiliki struktur berpori yang berbentuk heksagonal. Sedangkan, Kurniati dkk (2017) membuat material karbon dari ampas tebu dengan metode karbonisasi hidrotermal. Penelitian ini menghasilkan material karbon dengan konduktivitas listrik 1.1 (Sm⁻¹) untuk proses karbonisasi pada temperatur 300 °C. Zhong dkk pada tahun 2015.membuat nanokomposit silika-karbon untuk aplikasi katalisis asam dengan memakai Tetra Ethyl Ortho Silicate (TEOS) sebagai prekursor silika dan sukrosa sebagai prekursor karbon.



Pada penelitian ini, dipelajari proses ekstraksi silika dan karbon dari sekam padi untuk mengetahui pembentukan pori dan kapasitansi spesifik komposit silika-karbon

1.2 Perumusan Masalah

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

- 1. Bagaimana pengaruh temperatur pada proses karbonisasi hidrotermal terhadap pembentukan pori dan luas permukaan spesifik komposit nanopartikel silika-karbon ?
- 2. Bagaimana pengaruh temperatur pada proses karbonisasi hidrotermal terhadap kapasitansi komposit nanopartikel silika-karbon ?

1.3 Batasan Masalah

Untuk menganalisis permasalahan dalam penelitian ini,terdapat batasan masalah sebagai berikut:

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

1.4 Tujuan Penelitian

Dari rumusan masalah yang ada, maka tujuan dari penelitian ini adalah:

- 1. Menganalisis pengaruh temperatur pada proses karbonisasi hidrotermal terhadap pembentukan pori dan luas permukaan spesifik komposit nanopartikel silika-karbon ?
- 2. Menanalisis pengaruh temperatur pada proses karbonisasi hidrotermal terhadap kapasitansi material elektroda.

1.5 Manfaat Penelitian

Dengan adanya penelitian ini diharapkan dapat diperoleh komposit nanopartikel silika-karbon mesopori yang memenuhi prasyarat nilai kapasitansi sebagai material elektroda. Selain itu, 4



penelitian ini juga dapat dikembangkan untuk aplikasi yang lebih luas kedepannya, khususnya dalam bidang penyimpanan energi seperti baterai dll.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sekam Padi

Beras yang berasal dari tanaman padi merupakan sumber makanan utama di berbagai negara di dunia, khususnya di Indonesia. Bulir-bulir beras dibungkus oleh lapisan luar yang keras vang disebut sekam padi. Sekam padi melindungi bulir beras selama proses pertumbuhan. Sekitar 20% dari berat tanaman padi merupakan sekam padi. Sekam padi merupakan limbah agrikultural yang berlimpah, sekitar 545 juta ton sekam padi dihasilkan setiap tahun. Abu sekam padi dihasilkan dari proses pembakaran sekam padi. Abu sekam padi juga mengandung karbon. Sekam padi mengandung 74% kandungan organik dan 26% kandungan inorganik. Kandungan organik meliputi selulosa, hemiselulosa, lignin, L-arabinosa, asam metilglukuronik, D-galaktosa, protein dan juga vitamin. Sedangkan kandungan inorganik meliputi SiO2 (80%), alumina (3.93%), sulfur trioksida (0.78%), besi oksida (0.41%), kalsium oksida (3.84%), magnesium oksida (0.25%), natrium oksida (0.67%) dan kalium oksida (1.45%). Sementara itu, abu sekam padi dapat diperoleh melalui pembakaran sekam padi. Abu sekam padi mengandung sejumlah karbon. Selain itu, abu sekam padi juga dapat digunakan sebagai bahan aditif dalam pembuatan semen dan logam. Melalui proses dekomposisi termal juga dapat dihasilkan biocar dengan aliran gas oksigen dan pada temperatur dibawah 700° C. Sekam padi yang terkarbonisasi terbentuk melalui pembakaran yang tidak sempurna dan dapat digunakan sebagai karbon aktif (Uddin dan Rahaman, 2017). Untuk karakteristik sekam padi dijelaskan pada Tabel 2.1 dan Tabel 2.2.



Kandungan Sekam Padi	Jumlah
Moisture (%)	4.2
Ash content (%)	16.1
Carbon (%)	36.1
Fixed carbon (%)	17.7
<i>Higher heating value</i> (MJ kg-1)	15.1
Volatile matter (%)	62

Tabel 2.1 Karakteristik sekam padi (Kalderis, 2014)

Tabel 2.2 Karakteristik abu sekam padi (Kalderis, 2014)

Kandungan Abu Sekam Padi	Wt %
SiO ₂	84.7
K ₂ O	2.51
CaO	0.74
Al_2O_3	0.36
Na ₂ O	0.20
MgO	0.76
P_2O_5	0.62
SO ₃	0.38
Fe_2O_3	0.28
Cl	0.18

2.2 Silika

Silikon (Si) merupakan unsur yang terletak di golongan IVA pada tabel periodik unsur. dan diperkirakan sebagai unsur kedua yang paling banyak ditemukan di kerak bumi,setelah oksigen,sekitar 25,7% dari massa kerak bumi. Silikon diklasifikasikan sebagai metaloid yang memiliki sifat diantara logam dan non logam (semikonduktor).

Silikon tidak ditemukan dalam bentuk unsur bebas melainkan berikatan dengan unsur lain membentuk senyawa. Silikon yang berikatan dengan oksigen (silikat) paling banyak ditemui. Silika (SiO₂) adalah satu-satunya oksida dari silikon yang terjadi terutama sebagai kuarsa, kalsedon, batu akik dan batu



api. Sebagai unsur golongan IVA, silikon membentuk tetrahedron SiO_4 dengan silikon sebagai pusatnya (Duffin,2006). Struktur tetrahedron silika dijelaskan Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Sudut interior dan eksterior Si-O-Si (Polyakova,2014)

Silika dapat dijumpai dalam bentuk amorf maupun kristalin. Bentuk kristal utama silika dijelaskan pada Tabel 2.3. Silika gel merupakan senyawa silika yang berstruktur amorf yang mengandung gugus silanol (\equiv Si-OH) dan siloksan (\equiv Si-O-Si \equiv). Gugus – gugus ini memungkinkan terjadinya modifikasi untuk memperoleh berbagai macam senyawa silika yang lainnya (Sulastri,2010). SiO₂ merupakan silika amorf yang tidak mempunyai struktur kristal sesuai dengan pengujian XRD. Silika amorf bersifat tidak beracun dan terkadang ditemukan di dalam air minum. Hal ini berbeda dengan silika kristalin yang bersifat beracun sehingga penggunaannya dibatasi (Waddel,2006).



Bentuk	Rentang stabilitas	Modifikasi	Kerapatan
Kristobalit	1470–1723 (m.p.)	β-Kubik	2210
		α-Tetragonal	2330
Tridimit	870-1470	β-Heksagonal	2300
		α-Ortorombik	2270
Kuarsa	<870	β-Heksagonal	2600
		α -Trigonal	2650

Tabel 2.3 Bentuk kristal utama silika (Smallman dan
Bishop,1999)

2.2.1 Silika Mesopori

Material yang memiliki lubang kecil baik lubang yang teratur maupun yang tidak teratur disebut material berpori. Bagian yang membentuk pori disebut rangka atau frame. Material berpori contohnya kayu, beton, karet, nanopartikel silika berpori dan nanopartikel karbon berpori. International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC) mengklasifikasikan material berpori dalam tiga kategori yang dijelaskan pada Gambar 2.2 (Kumar dkk,2016). Silika mesopori merupakan material yang memiliki pori dengan diameter 2-50 nm. Sejak tahun 1990, silika mesopori menjadi topik yang menarik setelah penemuan M41S. MCM-41, MCM-48 and SBA-15 merupakan jenis silika mesopori yang sering ditemui dengan ukuran pori 2 -10 nm dan struktur 2Dheksagonal dan 3D-kubik. Nanopartikel silika mesopori memiliki karakteristik unik seperti ukuran vang partikel, porositas, morfologi yang dapat diatur serta kestabilan kimia yang tinggi sehingga membuat nanopartikel ini menarik digunakan sebagnai pembawa obat, katalis diagnostik, dan proses pemisahan. (Mehmood dkk,2017). Beberapa jenis silika mesopori dijelaskan pada Tabel 2.4.



LAPORAN TUGAS AKHIR TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI



Gambar 2.2 Klasifikasi material berpori

2.2.2 Sintesis Silika Mesopori

Metode sol-gel merupakan metode kimia dalam lingkungan basah yang sering digunakan dalam ilmu material. Metode ini diawali dengan pembuatan suspensi koloid (sol) untuk pertumbuhan jaringan inorganik dan selanjutnya membentuk gel. Material awal diproses hingga menjadi dispersi oksida dan membentuk sol menggunakan air atau larutan asam. Proses pemisahan atau penghilangan cairan dari sol akan menghasilkan gel. Bentuk dan ukuran partikel diatur melalui transisi sol-gel. Proses kalsinasi gel akan menghasilkan oksida. Metode ini melibatkan proses hidrolisis dan kondensasi. Untuk menghasilkan material mesopori dapat digunakan berbagai macam templat seperti kation-anion surfaktan,triblok kopolimer atau molekul organik kecil.

Metode pembuatan silika mesopori dengan bantuan templat dibagi menjadi dua yaitu eksotemplat (*hard template*) dan endotemplat (*soft template*). Eksotemplat disebut juga *nanocasting*. Material solid berpori digunakan di dalam surfaktan. Bagian yang berongga akan diisi oleh precursor inorganik dan akan menyesuaikan dengan bentuk templat. Selanjutnya templat dihilangkan dan akan terbentuk suatu material dengan sistem pori sesuai templat. Sedangkan pada proses endotemplat,surfaktan berfungsi sebagai templat untuk menghasilkan material berpori



dan tidak ada penggunaan material solid berpori. Metode ini juga disebut *liquid crystal template approach* (LCTA). Dalam metode ini surfaktan membentuk struktur heksagonal terlebih dahulu sebelum prekursor silika ditambahkan. Silika akan mengendap mengikuti bentuk heksagonal dari surfaktan kemudian surfaktan dihilangkan melalui proses kalsinasi

Famili	Jenis	Simetri pori	Ukuran pori (nm)	Volume pori (cm3/g)
M41S (Mobil	MCM-41	2D heksagonal	1.5-8	>1.0
Crystalline Matoriala)	MCM-48	3D kubik	2-5	>1.0
<i>materials</i>)	MCM-50	Lamelar	2-5	>1.0
	SBA-11	3D kubik	2.1-3.6	0.68
SBA(Santa Barbara	SBA-12	3D heksagonal	3.1	0.83
Amorphous)	SBA-15	2D heksagonal	6–10	1.17
	SBA-16	Kubik	5-15	0.91
KIT (Korea Advanced Institute of Science and Technology)	KIT-5	Kubik	9.3	0.45
COK(Centre for Research Chemistry and Catalysis)	COK-12	Heksagonal	5.8	0.45

Tabel 2.4 Daftar beberapa jenis nanopartikel silika mesopori dan
karakteristiknya (Narayan dkk,2018)

Metode pembuatan silika mesopori dengan bantuan gelombang mikro ditemukan pada tahun 1992 dan digunakan

BAB II TINJAUAN PUSTAKA



untuk mensintesis secara cepat material keramik oksida,material berpori dan serbuk logam. Dalam metode ini, template dicampur dengan akuades dan diaduk selama 4-6 jam pada 40 °C,lalu ditambahkan akuades,HCl dan etana dan diaduk sampai homogen. Hasil campuran dimasukkan kedalam *autoclave* dan dipanaskan pada temperatur 100 °C dalam *microwave*. Prekursor organosilan, blok kopolimer dan perlakuan hidrotermal selajutnya dilakukan dalam iradiasi *microwave*. Campuran tersebut diaduk menggunakan *magnetic bar* selama 2-24 jam pada 40 °C lalu temperature dinaikkan sampai 100 °C selama 8-48 jam tanpa pengadukan. Setelah itu produk disaring dan dicuci dengan aquades lalu dipanaskan dalam oven 80 °C. MCM-41 berhasil disintesis dalam waktu yang singkat menggunakan metode ini dengan templat *Cetyl Trimethyl Ammonium Bromide* (CTAB).

Metode etsa menggunakan bahan kimia menghasilkan silika mesopori yang berongga (*hollow mesoporous silica*). Larutan etsa akan mengikis bagian dalam material sedangkan bagian dinding luar material akan tetap utuh dan terbentuk struktur yang berongga. Dengan menggunakan larutan etsa yang tepat maka ketebalan dinding material dapat diatur untuk menghasilkan struktur pori yang homogeny (Kumar dkk,2016).

2.3 Karbon

Material berbasis karbon.mulai dari karbon aktif.karbon nanotube sampai graphene merupakan material fungsional banyak digunakan sebagai katalisis, proses penting vang pemisahan dan bidang penyimpanan energi. Hingga saat ini telah dikembangkan berbagai macam metode untuk menghasilkan material berbasis karbon .termasuk pirolisis karbon precursor, deposisi uap secara kimia, penggunaaan template dan karbonisasi hidrotermal (Hidrothermal Carbonization/HTC). Diantara metode tersebut,HTC merupakan proses yang paling ramah lingkungan dan efektif. Selain itu, proses ini juga murah karena biomassa yang jumlahnya melimpah dapat digunakan dalam proses ini. Meskipun demikian metode ini memiliki 12



keterbatasan dalam menghasilkan luas permukaan dan porositas yang diinginkan (Sun dkk,2018).

Karbonisasi hidrotermal adalah proses termokimia dimana biomassa basah dikonversi menjadi produk padatan yang disebut hidrocar. Proses HTC biasanya terjadi pada temperatur 180°C sampai 250°C atau lebih dan tekanan 10-40 bar. Pada kondisi ini,air panas yang bertekanan akan menghasilkan lebih banyak ion dibandingkan dengan kondisi pada temperatur ruangan dan berperan sebagai precursor katalis asam atau basa serta berfungsi baik sebagai pelarut maupun sebagai pereaksi (Basso dkk,2013).

Proses HTC menggunakan sekam padi dapat dilakukan dengan mencuci lalu mengeringkan sekam padi pada 110 °C selama 6 jam kemudian sekam padi dihaluskan sampai berukuran 32 mesh. Sekam padi yang telah dihaluskan selanjutnya dicampur dengan air suling dan dipanaskan pada 85 °C hingga menjadi pasta. Selanjutnya 25 g pasta sekam padi dimasukkan kedalam reaktor lalu dipanaskan pada berbagai temperatur dan rentang waktu tertentu. Hasil proses hidrotermal difiltrasi lalu dicuci dengan aseton kemudian dicuci dengan air suling dan dikeringkan selama 24 jam (Kalderis dkk.,2014).

Hidrocar yang dihasilkan dalam proses karbonisasi hidrotermal dipengaruhi oleh beberapa parameter, diantaranya temperatur, tekanan, waktu tinggal dan pH. Semakin tinggi temperatur yang digunakan maka hidrocar yang dihasilkan semakin sedikit jumlahnya namun kandungan karbonnya tinggi. Tekanan merupakan parameter yang mempengaruhi secara tidak langsung, hal ini dikarenakan besarnya tekanan dipengaruhi oleh temperature. Meskipun demikian, semakin tinggi tekanan yang digunakan semakin memudahkan maka proses pelarutan biomassa dalam air yang digunakan. Waktu tinggal (residence time) juga mempengaruhi hasil karbonisasi hidrotermal, semakin lama aktu yang digunakan maka semakin sedikit hidrocar yang dihasilkan, namun proses dehidrasi dan dekarboksilasi menjadi lebih optimal. Selain itu nilai pH yang rendah mempercepat



proses hidrolisis kandungan selulosa pada biomassa yang digunakan (Basso dkk,2013).

2.4 Komposit Silika Karbon

Komposit silika karbon mesopori merupakan material yang mendapat perhatian besar dari para peneliti karena luas permukaan yang besar dan ukuran pori yang dapat dikontrol sehingga memudahkan proses difusi produk dan reaktan dalam pori. Material ini memiliki stabilitas termal dan mekanik yang baik. Komposit silica karbon banyak digunakan untuk aplikasi katalisis, absorbs, alat optic dan elektroda. Zhong dkk pada tahun 2015.membuat nanokomposit silika-karbon untuk aplikasi katalisis asam dengan memakai Tetra Ethyl Ortho Silicate (TEOS) sebagai prekursor silika dan sukrosa sebagai prekursor karbon. Suprihatin dkk pada tahun 2019 memanfaatkan abu sekam padi dan glukosa untuk membuat komposit silica karbon untuk diaplikasikan sebagai absorben. Skema pembuatan silika mesopori dengan metode Evaporation-induced karbon triconstituent assembly (EISA) yang dilakukan oleh Zhong dijelaskan pada Gambar 2.3.



LAPORAN TUGAS AKHIR TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI

Gambar 2.3 Pembuatan silika karbon mesopori dengan metode Evaporation-induced triconstituent assembly (EISA) (Zhong dkk,2015)

2.5 Elektroda Material

Elektroda merupakan media pengantar listrik berupa logam. Elektroda terdiri dari elektroda positif dan elektroda negatif. Pada elektroda terjadi reaksi redoks (oksidasi dan reduksi). Reaksi reduksi merupakan reaksi penangkapan elektron, sedangkan pada reaksi oksidasi terjadi reaksi pelepasan elektron. Pada sel volta, anoda berperan sebagai elektroda negatif dan katoda sebagai elektroda positif. Sel volta merupakan sel elektrokimia yang mengubah reaksi kimia yang berlangsung spontan menjadi energi listrik (Harahap, 2016). Baterai merupakan penerapan dari sel volta. Baterai merupakan perangkat yang dapat mengkonversi


energi kimia yang terdapat dalam bahan aktif penyusun baterai melalui reaksi redoks (Satriady dkk., 2016).

Kapasitas suatu komponen yang memiliki elektroda seperti dipengaruhi oleh luas baterai permukaan elektroda tersebut, semakin besar luas permukaan elektroda maka semakin besar juga kapasitas baterai . Kapasitas suatu baterai dinyatakan dengan banyaknya bahan aktif pada elektroda yang dapat menghasilkan energi melalui reaksi elektrokimia (Satriadv, 2016). Luas permukaan yang besar dapat diperoleh dengan material berpori. Adanya pori akan meningkatkan luas permukaan material. Song dkk pada tahun 2018 melakukan penelitian terhadap desain katoda berpori untuk baterai Li-ion, hasil penelitian menunjukkan bahwa kenaikan porositas katoda yang digunakan berbanding lurus dengan kapasitas baterai.

2.6 Penelitian Terdahulu

Ervianto dkk pada tahun 2019 melakukan penelitian terhadap pengaruh konsentrasi *cetyltrimethyl ammonium bromide* (CTAB) sebagai templat terhadap pembentukan silika mesopori mcm-41 dari sekam padi, hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa konsentrasi CTAB yang paling efektif untuk pembentukan silika mesopori adalah sebanyak 2%. Konsentrasi 2% CTAB menghasilkan silika mesopori dengan ukuran partikel 243 nm yang berbentuk seperti terumbu karang dan pori-porinya membentuk strukur heksagonal yang merupakan struktur dari MCM-41. Dari pengujian BET didapatkan luas permukaan sebesar 1291.436 m2/g, volume total pori sebesar 1.601 cc/g, dan ukuran diameter pori sebesar 4.95764 nm.

Kurniati dkk pada tahun 2017 melakukan penelitian terhadap struktur dan nilai konduktivitas listrik karbon dari ampas tebu menggunakan metode karbonisasi hidrotermal. Variasi temperatur digunakan dalam penelitian ini. Yaitu temperatur 200 °C, 250°C dan 300 °C untuk proses karbonisasi hidrotermal. Proses aktivasi yang digunakan yaitu *chemical-physic activation*. Aktivasi kimia dilakukan menggunakan KOH sedangkan aktivasi



secara fisika dilakukan dengan memanaskan sampel pada temperatur 700°C dengan aliran gas nitrogen. Selanjutnya nilai masing-masing sampel diuji untuk mengetahui struktur dan konduktivitas listriknya.

Tabel 2.5 Konduktivitas Listrik Hidrocar Berbagai Temperatur

Temperatur Karbonisasi Hidrotermal (°C)	Konduktivitas listrik (Sm ⁻¹)			
200	5.36 x 10 ⁻²			
250	$1.18 \ge 10^{-1}$			
300	1.11			

Zhong dkk pada tahun 2015, membuat nanokomposit silika-karbon untuk aplikasi katalisis asam dengan memakai *Tetra Ethyl Ortho Silicate* (TEOS) sebagai prekursor silika dan sukrosa sebagai prekursor karbon.



Gambar 2.4 Hasil pengujian tem silika karbon nanopartikel $$\rm Si_{50}C_{50}{-}1073$$



LAPORAN TUGAS AKHIR TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI

Tabel 2.6 Hasil pengujian komposit silika karbon							
Sampel	C [%]	a [nm]	SBET [m ² g ⁻¹]	$V_{\text{tot}} \\ [\text{cm}^3 \\ \text{g}^{-1}]$	V_{meso} [cm ³ g -1]	V_{micr} o [cm ³ g ⁻¹]	D [nm]
Si ₃₃ C ₆₆	-	16.8	-	_	_		-
$Si_{50}C_{50}$	-	15.3	-	_	_		-
Si ₆₆ C ₃₃	-	13.9	-	_	_		-
Si ₂₂ C ₆₆ -1073	49	12.4	155	0.06	0.01	0.05	5.2
SisoCso-1073	32	11.3	177	0.20	0.16	0.04	6.3
Si ₆₆ C ₂₂ -1073	19	11.5	156	0.22	0.20	0.02	6.4
Si ₀₀ C ₅₅ Fo ₇ 5	0	11.7	188	0.12	0.12	0.0	2.6, 5.0
SizoCzo-Si	0	10.6	410	0.36	0.33	0.03	2.6, 6.2
SicC22-Si	0	11.4	381	0.41	0.38	0.03	2.6, 6.2
SiacCee-C	100	_	794	0.39	0.15	0.04	-
$Si_{33}C_{66}C$	100	10.5	1118	0.82	0.75	0.07	3.5
Si ₅₀ C ₅₀ -C Si ₆₆ C ₃₃ -C	100	-	1086	0.69	0.59	0.10	2.6



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir

Pada penelitian ini terdapat tiga tahapan yaitu sintesis silika dari sekam padi, sintesis karbon dari sekam padi dan pembuatan nanopartikel silika karbon mesopori







Gambar 3.1 Diagram alir sintesis silika dari sekam padi



BAB III METODOLOGI PENELITIAN





Gambar 3.2 Sintesis karbon dari sekam padi dengan metode

LAPORAN TUGAS AKHIR TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI





Gambar 3.3 Diagram alir pembuatan silika karbon mesopori

3.2 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah: Sekam padi Akuades Larutan ethanol



Larutan asam nitrat (HNO₃) 65% Serbuk natrium hidroksida (NaOH) 99% Larutan asam klorida (HCl) 37% Serbuk Cetryltrimetilammonium bromide (CTAB) 99% KOH

3.3 Alat Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

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 and 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.



Gambar 3.6 Spatula

7. Kertas pH

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

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.

10. Autoclave

Autoclave digunakan pada proses hidrotermal sampel.



Gambar 3.7 Autoclave

11. Tubular furnace

Tubular furnace digunakan dalam proses pirolisis.



Gambar 3.8 Tubular furnace

12. Crucible furnace

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





Gambar 3.9 Crucible furnace

13. Muffle furnace

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



Gambar 3.10 Muffle furnace

14. Alat pengujian: SEM, FTIR, XRD, BET, CV

3.4 Metode Penelitian

Persiapan bahan dimulai dengan mencuci sekam padi untuk menghilangkan kotoran yang menempel lalu dijemur dibawah sinar matahari sampai kering. Langkah selanjutnya adalah membuat larutan HNO₃ 2M,HCl 2M, NaOH 2M.



3.4.1 Ekstraksi Silika dari Sekam Padi

Ekstraksi silika dari sekam padi dimulai dengan mencampurkan 80 g sekam padi dengan 600 ml larutan HNO₃ 2M lalu memanaskannya selama 2 jam pada 90 °C. Setelah itu sekam padi dicuci menggunakan akuades hingga pH 7. Sekam padi yang telah dicuci selanjutnya dibakar dalam muffle furnace selama 6 jam pada temperatur 600 °C. Hasil pembakaran berupa abu sekam padi. Abu sekam padi selanjutnya dicampur dengan larutan 100 ml NaOH 2M dan diaduk selama 2 jam pada temperatur 90 °C dengan kecepatan 500 rpm. Hasil pengadukan kemudian disaring menggunakan kertas saring untuk mendapatkan larutan Na₂SiO₃. Larutan tersebut dititrasi dengan HCl 2M sampai pH 7 dengan penambahan akuades untuk mengencerkan gel yang terbentuk. Hasil titrasi didiamkan selama 30 menit pada temperatur kamar kemudian larutan disaring dan dicuci untuk mendapatkan gel. Gel kemudian dikeringkan dalam muffle furnace selama 6 jam pada temperatur 100 °C lalu dihaluskan hingga menjadi serbuk untuk kemudian dilakukan pengujian.

3.4.2 Sintesis Karbon dari Sekam Padi

Sintesis karbon dari sekam padi menggunakan metode karbonisasi hidrotermal. Sekam padi dikeringkan selama 6 jam pada temperatur 110 °C. Sekam padi kering kemudian dihaluskan hingga menjadi serbuk. Serbuk sekam padi dicampur dengan akuades dengan perbandingan 1:5 dan diaduk pada temperatur 85 °C hingga homogen dan berbentuk seperti pasta. Pasta sekam padi kemudian dimasukkan kedalam *autoclave* dan dipanaskan pada berbagai temperatur. Hasil pemanasan berupa hidrocar yang kemudian disaring menggunakan kertas saring. Setelah itu, sebanyak 2 g hidrocar, 6 g KOH dan 26 ml akuades dicampur dan disonikasi selama 1 jam dan didiamkan selama 24 jam. Hasil campuran selanjutnya di*centrifuge* untuk memisahkan larutan dan endapan. Endapan yang terbentuk lalu dipanaskan pada 60 °C selama 1 jam. Hasil pemanasan lalu dicampur dengan HCl 10% dan diaduk selama 1 jam. Hasil campuran dicuci menggunakan



akuades sampai pH 7 dan dikeringkan selama 24 jam pada temperatur 105 °C untuk selanjutnya dilakukan pengujian.

3.4.3 Pembuatan Silika Karbon Mesopori

Pembuatan silika karbon mesopori dimulai dengan mencampur 6,4 g CTAB dengan 32 g ethanol dan 0,3 g HCl. Sementara itu,sebanyak 5,7 g karbon dilarutkan dalam 10 g akuades. Sebanyak 8,32 g SiO₂, hasil campuran CTAB dan hasil campuran karbon disonikasi dalam satu wadah selama 1 jam. Hasil sonikasi selanjutnya dimasukkan kedalam *muffle furnace* selama 20 jam pada temperatur 40 °C untuk menguapkan ethanol. Hasil evaporasi selanjutnya dimasukkan kedalam tubular furnace selama 2 jam pada 800 °C dengan dialiri N₂. Setelah itu dilakukan pengujian terhadap sampel yang telah didapat.

3.4.4 Pengujian X-Ray Diffraction (XRD)

Karakterisasi ini dilakukan pada semua spesimen uji untuk melihat fasa-fasa yang terbentuk dari silika maupun silica karbon. Uji difraksi Sinar-X (XRD), Gambar 3.11, 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 analisa sinar-X adalah melakukan analisa 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 berupa plat tipis yang berlubang di tengahnya yang ukurannya sesuai dengan sampel *(serbuk)* dengan perekat pada sisi baliknya. Analisa yang dilakukan pada hasil XRD penelitian ini menggunakan analisa kualitatif dengan menggunakan cara manual, yakni pencocokan puncak kurva dari data terukur hasil XRD dengan data *hanawalt card* dan piranti lunak *highscore plus analysis*.



LAPORAN TUGAS AKHIR TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI



Gambar 3. 11 Alat uji XRD PANalytical

3.4.5 Pengujian Scanning Electron Microscopy (SEM)

Pengujian SEM dilakukan terhadap nanopartikel silika mesopori dan silika hasil ekstraksi dari sekam padi untuk mengetahui morfologi dari material tersebut. Pada prinsipnya Scanning Electron Microskop (SEM), Gambar 3.12, berfungsi sebagai tools (peralatan) untuk melihat struktur permukaan material dengan resolusi tinggi. Skema alat uji SEM ditunjukkan pada Gambar 3.13. 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 hasil ekstraksi silika dari sekam padi untuk mengetahui morfologi dari material tersebut. Pengujian SEM dilakukan dalam 2 tahap:

a. Tahap preparasi

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



b. Tahap pengujian

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



Gambar 3.12 Alat uji SEM-EDX FEI Tipe Inspect S-50



Gambar 3.13 Skema Alat Uji SEM



3.4.6 Pengujian Fourier Transform Infra Red (FTIR)

TS

Tujuan pengujian ini adalah untuk mengetahui gugus fungsi dari sekam padi dan hasil dari ekstraksi silika. Sistem optik Spektrofotometer Fourier Transform Infra Red (FTIR), Gambar 3.14, ini dilengkapi dengan cermin yang bergerak tegak lurus dan cermin yang diam. Dengan demikian radiasi infra merah akan menimbulkan perbedaan jarak yang ditempuh menuju cermin vang bergerak (M) dan jarak cermin yang diam (F). Perbedaan jarak tempuh radiasi tersebut adalah 2 yang selan jutnya disebut sebagai retardasi (δ). Hubungan antara intensitas radiasi IR yang terhadap detektor retardasi disebut sebagai diterima interferogram. Sedangkan sistem optik dari Spektrofotometer Infra Red yang didasarkan atas bekerjanya interferometer disebut sebagai sistem optik Fourier Transform Infra Red.



Gambar 3.14 Alat Uji FTIR

Pada sistem optik Fourier Transform Infra Red digunakan radiasi LASER (Light Amplification by Stimulated Emmission of Radiation) yang berfungsi sebagai radiasi yang diinterferensikan dengan radiasi infra merah agar sinyal radiasi infra merah yang diterima oleh detektor secara utuh dan lebih baik. Detektor yang digunakan dalam Spektrofotometer Fourier Transform Infra Red adalah Tetra Glycerine Sulphate (disingkat TGS) atau Mercury Cadmium Telluride (disingkat 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, sangat selektif terhadap energi vibrasi yang diterima dari radiasi infra merah. Skema alat uji FTIR ini ditunjukkan pada Gambar 3.15.



Gambar 3. 15 Skema Alat Uji FTIR

3.4.7 Uji Cyclic Voltammetry (CV)

Voltametri 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, seperti yang diperlihatkan pada Gambar 3.16. Elektroda kerja adalah tempat terjadinya reaksi elektrokimia yang diamati seperti arus yang dihasilkan. Elektroda kerja yang umumnya berasal dari logam, bahan semikonduktor dan karbon.



LAPORAN TUGAS AKHIR TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI

Fungsi elektroda pembanding adalah sebagai pembanding beda potensial pada elektroda dalam sel elektrokimia, biasanya menggunakan SCE calomel. 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).



Gambar 3.16 Alat cyclic voltammetry AutoLab PGSTAT tipe 302N Metrohm

Pada pengujian CV ini, dihitung nilai kapasitansi sampel menggunakan Rumus 3.1 (Wang, 2018).

$$C = \frac{\int IdV}{2\,\Delta E\,m\,\nu} \tag{3.1}$$

Dimana,

- C = Kapasitansi Spesifik (F/gram)
- $\int I dV$ = Luas area dibawah kurva CV
- m = Massa Elektroda (gram)
- v = Scan Rate (mV/s)
- ΔE = Potential Window (Volt)

Dari hasil pengujian CV juga dapat dihitung nilai densitas energi spesifik (E) dan densitas daya spesifik (P) dengan menggunakan Rumus 3.2 dan Rumus 3.3 (Xiang dkk, 2012).



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

$$\mathbf{P} = \frac{E \, x \, 3600}{t} \tag{3.3}$$

Dimana,

E = Densitas Energi (Wh/kg)

C = Kapasitansi (Farad/gram)

V = Potential Window (Volt)

P = Densitas *Power* (W/kg)

t = Waktu *discharge* (sekon)

3.5 Rancangan Penelitian

Adapun rancangan penelitian yang akan dilakukan, yaitu:

Sampel	Uji XRD	Uji FTIR	Uji SEM	Uji CV
Sekam padi				-
Abu sekam				_
padi	•			
SiO2				-
C-150				
C-200				
C-250	\checkmark			\checkmark
C-300				\checkmark
C-350				\checkmark
Si-C-150				
Si-C-200				\checkmark
Si-C-250				\checkmark
Si-C-300				\checkmark
Si-C-350				

Tabel 3. 1 Rancangan penelitian

Keterangan : pada C-xxx dan Si-C-xxx, xxx menunjukkan variasi temperatur (°C) yang digunakan dalam penelitian.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Uji X-Ray Diffraction (XRD)



Gambar 4.1 Difraktogram XRD (a) Sekam padi (b) sekam padi hasil leaching HNO3 (c) abu sekam padi (d) silika hasil ekstraksi

Gambar 4.1 (a) diatas merupakan hasil difraktogram pengujian XRD sekam padi yang memiliki puncak difraksi silika pada sudut 20 yaitu 22,1727° dan puncak difraksi selulosa pada 16,5153° dan 34,759°. Gambar 4.1 (b) adalah hasil pengujian XRD untuk sekam padi hasil leaching dengan HNO₃, puncak difraksi terdapat di sudut 20 yaitu silika pada 22,6103° dan puncak difraksi selulosa pada 16,3882°, 21,5102°, dan 34,4691°. Pergeseran puncak difraksi yang terjadi pada sekam padi hasil leaching dengan HNO₃ menunjukkan adanya perubahan struktur sekam padi dari kristalin menjadi amorf akibat adanya proses



pemanasan (Chandrasekar dkk, 2005). Sedangkan Gambar 4.1 (c) merupakan difraktogam abu sekam adi dengan puncak difraksi pada sudut 20 sebesar 22,0155°. Terlihat bahwa difraktogram XRD memiliki pertambahan lebar puncak yang menandakan bahwa sampel memiliki struktur yang lebih amorf. Selain itu puncak difraksi selulosa juga sudah hilang akibat proses pembakaran sekam padi menjadi abu sekam padi yang menyebabkan selulosa mengalami dekomposisi dan tersisa silika dengan struktur amorf. Hal ini sesuai dengan penelitian Raharjo dkk pada tahun 2018. Dalam penelitian tersebut juga disebutkan bahwa kemurnian silika yang didapat sebesar 99 % Untuk Gambar 4.1 (d) adalah difraktoram XRD silika hasil ekstraksi dengan puncak difraksi di 20 yaitu 22,7162°. Puncak difraksi ini sesuai dengan ICCD 00-001-0424 dengan struktur kristal kristobalit dan puncak difraksi di 21,446°.



Gambar 4.2 Difraktogram XRD (a) C-150 sebelum aktivasi (b) C-150 setelah aktivasi

36



Gambar 4.2 menunjukkan difraktogram XRD karbon yang dihasilkan melalui proses karbonisasi hidrotermal dari sekam padi dengan variasi temperatur 150°C yang kemudian disingkat sebagai C-150. Gambar 4.2 (a) merupakan C-150 sebelum aktivasi dengan puncak difraksi di 20 sebesar 22,7162°. Gambar 4.2 (b) merupakan C-150 setelah aktivasi dengan puncak difraksi di 20 sebesar 21,6210°.



Gambar 4.3 Difraktogram XRD (a) C-200 sebelum aktivasi (b) C-200 setelah aktivasi

Gambar 4.3 merupakan difraktogram XRD karbon yang dihasilkan melalui proses karbonisasi hidrotermal dari sekam padi dengan variasi temperatur 200°C yang kemudian disingkat sebagai C-200. Gambar 4.3 (a) merupakan C-200 sebelum aktivasi dengan puncak difraksi di 20 sebesar 22,6364°. Gambar 4.3 (b) merupakan C-200 setelah aktivasi dengan puncak difraksi di 20 sebesar 22,2304°.





Gambar 4.4 Difraktogram XRD (a) C-250 sebelum aktivasi (b) C-250 setelah aktivasi

Gambar 4.4 merupakan difraktogram XRD karbon yang dihasilkan melalui proses karbonisasi hidrotermal dari sekam padi dengan variasi temperatur 250°C yang kemudian disingkat sebagai C-250. Gambar 4.4 (a) merupakan C-250 sebelum aktivasi dengan puncak difraksi di 2 θ sebesar 21,8404°. Gambar 4.3 (b) merupakan C-250 setelah aktivasi dengan puncak difraksi di 2 θ sebesar 22.2411°.





Gambar 4.5 Difraktogram XRD (a) C-300 sebelum aktivasi (b) C-300 setelah aktivasi

Gambar 4.5 merupakan difraktogram XRD karbon yang dihasilkan melalui proses karbonisasi hidrotermal dari sekam padi dengan variasi temperatur 300°C yang kemudian disingkat sebagai C-300. Gambar 4.5 (a) merupakan C-300 sebelum aktivasi dengan puncak difraksi di 2θ sebesar 21,8404°. Gambar 4.3 (b) merupakan C-300 setelah aktivasi tidak memiliki puncak yang signifikan.





Gambar 4.6 Difraktogram XRD (a) C-350 sebelum aktivasi (b) C-350 setelah aktivasi

Gambar 4.6 merupakan difraktogram XRD karbon yang dihasilkan melalui proses karbonisasi hidrotermal dari sekam padi dengan variasi temperatur 350°C yang kemudian disingkat sebagai C-350. Gambar 4.6 (a) merupakan C-350 sebelum aktivasi dengan puncak difraksi di 2θ sebesar 27,7699°. Gambar 4.6 (b) merupakan C-250 setelah aktivasi dengan puncak difraksi di 2θ sebesar 26.4369°.

Berdasarkan hasil uji XRD untuk untuk masing-masing variabel temperatur didapatkan bahwa puncak difraksi mengalami pergeseran dan penambahan lebar. Hal ini menunjukkan bahwa struktur karbon sebelum proses aktivasi menjadi lebih amorf setelah dilakukan proses aktivasi. Struktur karbon yang dihasilkan juga sangat berbeda dengan struktur sekam padi pada Gambar 4.1 (a). sekam padi yang kristalin berubah menjadi amorf setelah proses karbonisasi. Adanya proses karbonisasi menyebabkan



terjadinya dekomposisi unsur karbon menjadi karbon aromatik dan proses ini menjadi lebih intensif seiring dengan pertambahan temperatur karbonisasi. Selulosa, hemiselulosa dan lignin juga mulai terdekomposisi berturut-turut pada temperatur 220°C, 180°C dan 180°C akibat adanya karbonisasi hidrotermal (Darmawan dkk, 2012).



Gambar 4.7 Difraktogram XRD (a) SiO₂-C-150 (b) SiO₂-C-200 (c) SiO₂-C-250 (d) SiO₂-C-300 (e) SiO₂-C-350

Gambar 4.7 merupakan difraktogram hasil XRD komposit silika-karbon dengan perbandingan 1:0,5. Berdasarkan gambar diatas didapatkan bahwa puncak difraksi untuk SiO₂-C-150 memiliki puncak difraksi di sudut 2 θ sebesar 21.9085° (Gambar 4.7 (a)). Sampel SiO₂-C-200 memiliki puncak difraksi di sudut 2 θ sebesar 27.0642°sesuai Gambar 4.7 (b). Gambar 4.7 (c) menunjukkan sampel SiO₂-C-250 dengan puncak difraksi di 2 θ sebesar 21.9282°. Gambar 4.7 (d) merupakan sampel SiO₂-C-300



dengan puncak difraksi di 2 θ yaitu 21.7709°. Sampel SiO₂-C-350 memiliki puncak difraksi di 2 θ yaitu 21.9034°.

Berdasarkan gambar diatas terlihat bahwa puncak difraksi komposit silika karbon berada diantara puncak difraksi silika dan karbon (Larichev dkk, 2015). Struktur dari komposit silika karbon juga berbeda dari struktur silika dan karbon yang amorf. Komposit silika dan karbon memiliki struktur yang kristalin akibat adanya pemanasan sampai temperatur 800°C. namun struktur yang kristalin ini tidak terlihat pada Gambar 4.7 (b) untuk sampel SiO₂-C-200. Hal ini dapat disebabkan oleh adanya perubahan struktur dari material serbuk menjadi material serbuk strukturnya sehingga sangat berpori amorf. Untuk mengidentifikasi perubahan struktur ini diperlukan metode pengujian yang lain seperti uji Brunauer-Emmett-Teller (BET).

4.2 Hasil Uji Fourier Transform Infrared (FTIR)



Gambar 4.8 Spektra hasil uji FTIR (a) Sekam padi (b) sekam padi hasil leaching HNO3 (c) abu sekam padi (d) silika hasil ekstraksi



LAPORAN TUGAS AKHIR TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI

Bilangan gelombang dan gugus fungsi yang sesuai dapat dilihat di tabel. 4.1 . Gambar 4.2 (a) merupakan hasil pengujian FTIR untuk sampel sekam padi dengan bilangan gelombang pada 430,88, 786,91, 1031,39 masing-masing menunjukan ikatan Si-O, SiO-H, Si-O-Si. Selain itu juga ada blangan gelombang pada 1637,26, 2359,36, 3341,89 yang menunjukan gugus fungsi C=O, C-H, -OH untuk masing-masing bilangan gelombang. Gambar 4.2 (b) menunjukkan gugus fungsi Si-O-Si, C=O dan -OH dari sampel sekam padi hasil leaching dengan HNO3dengan bilangan gelombang masing-masing yaitu 1043,01, 1636,94, 3331,93. Kemudian untuk Gambar 4.2 (c) merupakan sampel abu sekam padi dengan gugus fungsi Si-O, SiO-H, Si-O-Si untuk bilangan gelombang 438,74, 795,04, 1053,37. Bilangan gelombang 447,29, 796,26, 1062,02 juga tampak pada Gambar 4. (d) yang merupakan sampel silika hasil ekstraksi dari sekam padi. Selain itu juga terlihat gugus fungsi C=O dan - OH pada bilangan gelombang 1637,19 dan 3378,47 (Socrates,2001). Silika hasil ekstraksi memiliki gugus silanol dan siloksan sesuai dengan hasil penelitian Siti Sulastri tahun 2010. Hasil pengujian juga menunjukkan setelah sekam padi mendapat bahwa gugus C=O hilang perlakuan-perlakuan (pencampuran kimia dengan bahan kimia)dan fisika (pemanasan dalam furnace).



Sampel	Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)	Gugus Fungsi
	430,88	Si-O
	786,91	SiO-H
Sekam Padi	1031,39	Si-O-Si
	1637,26	C=O
	2359,36	C-H
Sekam Padi	1043,01	Si-O-Si
Hasil	1636,94	C=O
Leaching HNO3	3331,93	-OH
	438,74	Si-O
Abu Sekam	795,04	SiO-H
Padi	1053,37	Si-O-Si
	447,29	Si-O
Silika Hagil	796,26	SiO-H
Electrolegi	1062,02	Si-O-Si
EKSU AKS1	1637,19	C=O

Tabel 4.1Gugus sekam padi, sekam padi hasil leaching
HNO3, abu sekam padi dan silika hasil ekstraksi





Gambar 4.9 Spektra hasil uji FTIR (a) C-150 sebelum aktivasi (b) C-150 setelah aktivasi

Hasil spektra FTIR sesuai Gambar 4.9 untuk sampel karbon yang dihasilkan dari proses karbonisasi hidrotermal sekam padi dengan variasi temperatur 150°C yaitu terdapat gugus C-O, C=C, C-H, -OH masing-masing pada bilangan gelombang 1018,50, 1636,62, 2925,36, 3278,82 untuk sampel karbon sebelum aktivasi sesuai Gambar 4.9 (a), sedangkan untuk sampel karbon setelah aktivasi memiliki gugus C-O, C=C, C-H, -OH masing-masing pada bilangan gelombang 1023,80, 1637,31, 2888,55, 3310,07 sesuai Gambar 4.9 (b).







Gambar 4.10 merupakan hasil spektra FTIR untuk sampel karbon yang dihasilkan dari proses karbonisasi hidrotermal sekam padi dengan variasi temperature 200°C yaitu terdapat gugus C-O, C=C, -OH masing-masing pada bilangan gelombang 1050,24, 1617,51, 3320,11. Sedangkan untuk sampel C-200 setelah aktivasi memiliki gugus C-O, C=C, C-H, -OH masing-masing pada bilangan gelombang 1023,69, 1647,88, 2925,42, 3324,10.





Gambar 4.11 Spektra hasil uji FTIR (a) C-250 sebelum aktivasi (b) C-250 setelah aktivasi

Gambar 4.11 merupakan hasil spektra FTIR untuk sampel karbon yang dihasilkan dari proses karbonisasi hidrotermal sekam padi dengan variasi temperature 250°C yaitu terdapat gugus C-O, C=C, C-H, -OH masing-masing pada bilangan gelombang 1046,66, 1609,19, 2363,96, 3277,79. sedang kan sampel C-250 setelah aktivasi memiliki gugus C-O, C=C, C-H, -OH masing-masing pada bilangan gelombang 1025,34, 1654,20, 2924,56, 3332,00.





Gambar 4.12 Spektra hasil uji FTIR (a) C-300 sebelum aktivasi (b) C-300 setelah aktivasi

Gambar 4.12 merupakan hasil spektra FTIR untuk sampel karbon yang dihasilkan dari proses karbonisasi hidrotermal sekam padi dengan variasi temperatur 300°C yaitu terdapat gugus C-O, C=C, C-H masing-masing pada bilangan gelombang 1058,10, 1589,36, 2921,92. Sedangkan pada sampel C-gugus C-O, C=C, C-H masing-masing pada bilangan gelombang 1196,61, 1685,74, 2919,82.





Gambar 4.13 Spektra hasil uji FTIR (a) C-350 sebelum aktivasi (b) C-350 setelah aktivasi

Gambar 4.13 merupakan hasil spektra FTIR untuk sampel karbon yang dihasilkan dari proses karbonisasi hidrotermal sekam padi dengan variasi temperature 350°C yaitu terdapat gugus C-O, C=C, C-H, -OH masing-masing pada bilangan gelombang 1057,43, 1582,53, 2913,89, 3735,76. Sedangkan C-350 setelah aktivasi memilikia gugus C-O, C=C, C-H, masing-masing pada bilangan gelombang 1154,11, 1645,00, 2925,83.

	Bilangan Gelo	Guous		
Sampel	Sebelum Aktivasi	Sesudah Aktivasi	Fungsi	
C-150	1018,50	1023,80	C-0	
	1636,62	1637,31	C=C	
	2925,36	2888,55	C-H	
	3278,82	3310,07	-OH	
C-200	1050,24	1023,69	C-O	
	1617,51	1647,88	C=C	
	-	2925,42	C-H	
	3320,11	3324,10	-OH	
C-250	1046,66	1025,34	C-O	
	1609,19	1654,20	C=C	
	2363,96	2924,56	C-H	
C-300	1058,10	1196,61	C-O	
	1589,36	1685,74	C=C	
	2921,92	2919,82.	C-H	
C-350	1057,43	1154,11	C-0	
	1582,53,	1645,00	C=C	
	2913 89	2925 83	C-H	

Tabel 4.2 Gugus dan bilangan gelombang C-150, C-200, C-250, C-300, C-350

Berdasarkan tabel diatas dapat dilihat bahwa sampel C-150 dan sampel C-200 memiliki gugus –OH (hidroksil). Ikatan ini menunjukkan adanya ikatan hidrogen yang kuat dari gugus fungsi karboksil, fenol atau alkohol . untuk gugus fungsi C-O dan C-H menunjukkan bahwa sampel membentuk zat karbon aktif. Sementara itu, adanya ikatan C=C menunjukkan adanya peningkatan kadar karbon. Hal ini terlihat pada Gambar 4.8 (a) untuk sampel sekam padi yang tidak memiliki gugus C=C. (Mentari dan Maulina, 2018).
íTS



Gambar 4.14 Spektra hasil uji FTIR (a) SiO₂-C-150 (b) SiO₂-C-200 (c) SiO₂-C-250 (d) SiO₂-C-300 (e) SiO₂-C-350

Gambar 4.14 menunjukkan hasil FTIR komposit silikakarbon dengan berbagai variasi temperatur. Untuk SiO₂-C-150 memiliki bilangan gelombang 468,05, 783,65, 1073,32, 1541,09, 2346,26, dan 3650,33 untuk gugus fungsi masing-masing Si-O, SiO-OH, Si-O-Si, C=O, C-H, -OH. Untuk sampel SiO₂-C-200 memiliki bilangan gelombang 449,61, 795,10, 1069,59, 1507,51, 2207,87, dan 3750,08 untuk gugus fungsi masing-masing Si-O, SiO-H, Si-O-Si, C=O, C-H, -OH. Sedangkan sampel SiO₂-C-250 memiliki gugus fungsi Si-O, SiO-H, Si-O-Si, C=O untuk masingmasing bilangan gelombang 470,48, 788,89, 1083,33, dan 1508, 06. Sampel SiO₂-C-300 memiliki gugus Si-O, SiO-H, Si-O-Si, C=O, C-H, -OH untuk bilangan gelombang 461,31, 785,33, 1076,87, 1560,28, 2166,89, dan 3675,81. Pada sampel SiO₂-C-350 terdapat bilangan gelombang 473,12, 791,44, 1096,02, dan 2015,09 dengan gugus fungsi Si-O, SiO-H, Si-O-Si, dan C-H.



Samual	Bilangan Colombon	Gugus Fungsi	
Samper	(cm ⁻¹)		
SiO ₂ -C-150	468,05	Si-O	
	783,65	SiO-H	
	1073,32	Si-O-Si	
	1541,09	C=O	
	2346,26 С-Н		
	3650,33	-OH	
SiO ₂ -C-200	449,61	Si-O	
	795,10	SiO-H	
	1069,59	Si-O-Si	
	1507,51	C=O	
	2207,87	C-H	
	3750,08	-OH	
SiO ₂ -C-250	470,48	Si-O	
	788,89	SiO-H	
	1083,33	Si-O-Si	
	1508,06	C=O	
SiO ₂ -C-300	461,31	Si-O	
	785,33,	SiO-H	
	1076,87,	Si-O-Si	
	1560,28	C=O	
	2166,89	C-H	
	3675,81	-OH	
	473,12,	Si-O	
SiOC-350	791,44	SiO-H	
SIO ₂ -C-330	1096,02	Si-O-Si	
	2015,09	C-H	

Tabel 4.3 Gugus dan bilangan gelombang SiO₂-C-150, SiO₂-C-200, SiO₂-C-250, SiO₂-C-300, SiO₂-C-350

Berdasarkan data hasil uji FTIR pada Tabel 4.3 didapatkan bahwa gugus fungsi komposit silika karbon merupakan perpaduan dari gugus fungsi silika dan gugus fungsi karbon. Hasil ini



didukung oleh penelitian Ambarwati dkk pada tahun 2015 yang melakukan penelitian tentang pembuatan silika-karbon menggunakan metode sol-gel. Peneltian tersebut menunjukkan bahwa silika-karbon memiliki gugus fungsi C-O dan Si-O-Si sebagai perpaduan antara sampel karbon dan silika.

4.3 Hasil Uji Scanning Electron Microsopy (SEM)



Gambar 4.15 Hasil SEM silika hasil ekstraksi

Gambar 4.15 menunjukkan hasil SEM silika hasil ekstraksi dari sekam padi. Berdasarkan gambar dapat dilihat bahwa silika yang dihasilkan memiliki struktur yang amorf karena bentuknya yang tidak berarturan.



Gambar 4.16 Hasil SEM C-250 (a) perbesaran 1000 kali (b) perbesaran 5.000 kali

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN



Gambar 4.16 menunjukkan hasil uji SEM karbon yang dihasilkan dari proses karbonisasi hidrotermal dengan variasi temperature 250°C. Gambar 4.16 (a) merupakan sampel C-250 dengan perbesaran 1000 kali, terlihat bahwa C-250 memiliki struktur ayng memanjang dan memiliki pori yang tidak teratur. Pori pada sampel ini semakin jelas terlihat di Gambar 4.16 (b).



Gambar 4.17 Hasil SEM C-300 (a) perbesaran 10.000 kali (b) perbesaran 20.000 kali

Gambar 4.17 merupakan hasil SEM nakan perbesaran C-300, Gambar 4.17 (a) menggunakan perbesaran 10.000 kali dan Gambar 4.17 (b) menggunakan perbesaran 20.000 kali dan dapat dilihat bahwa sampel karbon memiliki pori dengan struktur yang tidak teratur. Berdasarkan ukuran pori dari gambar maka sampel dapat dikatakan sebagai material mesopori dan juga makropori. Diameter pori yang dihasilkan memiliki rentang ukuran antara 10-1.500 nm. Namun material ini memiliki tipe pori rata-rata berupa makropori. Material mesopori memiliki ukuran pori 2-50 nm sedangkan material makropori memiliki ukuran pori lebih besar dari 50 nm (Kumar dkk, 2016). Pengukuran distribusi ukuran pori dapat dilakukan menggunakan metode lain seperti uji Brunauer-Emmett-Teller (BET).



Gambar 4.18 Hasil SEM SiO₂-C-250 (a) perbesaran 1000 kali (b) perbesaran 5.000 kali (c) mapping unsur

Gambar 4.18 merupakan hasil SEM sampel SiO2-C-250. Gambar 4.18 (a) dan Gambar 4.18 (b) menunjukkan morfologi sampel dengan perbesaran masing-masing 1000 kali dan 5000 kali, terlihat bahwa komposit silika karbon ini memiliki struktur yang berpori. Karbon pada komposit ii memiliki struktur yang memanjang dan silika terlihat menempel di sepanjang karbon. Persebaran silika dan karbon dapat dilihat lebih jelas di Gambar 4.18 (c), komposit ini mengandung 35% C. 20% O dan 45% silikon.





Gambar 4.19 Hasil SEM sampel SiO₂-C-200 (a) perbesaran 5.000 kali (b) perbesaran 10.000 kali



Gambar 4.20 Hasil SEM sampel SiO₂-C-300 (a) perbesaran 5.000 kali (b) perbesaran 10.000 kali



Gambar 4.21 Hasil SEM sampel SiO₂-C-350 (a) perbesaran 5.000 kali (b) perbesaran 10.000 kali

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN



Berdasarkan Gambar 4.19. Gambar 4.20 dan Gambar 4.21 terlihat bahwa masing-masing sampel memiliki struktur berpori dengan diameter pori yang bervariasi antara 10⁻⁶ dan 10⁻⁹. Hal ini menunjukkan bahwa pori yang terbentuk berupa makropori dan mesopori. Adanya pori ini dapat meningkatkan luas permukaan material dan memfasilitasi proses pergerakan molekul oksigen dalam reaksi redoks yang terjadi. Diameter molekul oksigen adalah sekitar 292 pm, hal ini menunjukkan bahwa molekul oksigen dapat bergerak bebas dalam pori yang terbentuk dalam sampel.

4.4 Hasil Uji Cyclic Voltammetry (CV)

Pengujian CV bertujuan untuk mengetahui nilai kapasitansi sampel dan juga mengetahui adanya reaksi redoks (oksidasi dan reduksi) pada sampel dalam elektrolit tertentu. Sampel didepositkan dalam *nickel foam* dengan ukuran 1x10 cm. Pada pengujian ini, digunakan larutan KOH 0.1 molar dengan aliran gas oksigen jenuh. Scan rate yang digunakan yaitu 20 mV/s dengan rentang potensial -1 sampai 1 volt. Elektroda berupa referens yang digunakan adalah Ag/AgCl dan *counter electrode* berupa grafit. Hasil pengujian CV untuk hasil pengujian CV nickel foam pada Gambar 4.22 dan untuk masing-masing sampel dapat dilihat di Gambar 4.23 dan Gambar 4.24.



Gambar 4.22 Hasil uji CV nickel foam





Gambar 4.23 Hasil uji CV sampel (a) C-150 (b) -C-200 (c) C-250





Gambar 4.24 Hasil uji CV sampel (a) C-300 (b) C-350

Gambar 4.23 dan Gambar 4.24 merupakan kurva hasil uji CV sampel karbon hasil dari proses karbonisasi hidrotermal sekam padi dengan variasi temperature tertentu. Gambar 4.23 (a) untuk sampel C-150 menunjukkan adanya bagian cekung seperti lembah, cekungan menunjukkan adanya reaksi reduksi pada sampel uji. Reaksi reduksi yang dimaksud adalah reaksi reduksi oksigen karena larutan yang digunakan adalah larutan KOH dengan aliran gas oksigen jenuh. Hal ini menunjukkan bahwa sampel memiliki sifat mampu mereduksi oksigen yang diberikan. Reaksi reduksi oksigen juga dapat dilihat di sampel lainnya yaitu



pada sampel C-200 (Gambar 4.23 (b)), C-250 (Gambar 4.23 (c)), C-300 (Gambar 4.24 (a)), C-350 (Gambar 4.24 (b)).



Gambar 4.25 Hasil uji CV sampel (a) SiO₂-C-150 (b) SiO₂-C-200

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN





Gambar 4.26 Hasil uji CV sampel (a) SiO₂-C-250 (b) SiO₂-C-300 (c) SiO₂-C-350



Gambar 4.25 merupakan kurva CV komposit silika-karbon. Gambar 4.25 (a) terlihat bahwa sampel SiO₂-C-150 tidak memiliki cekungan atau lembah yang signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa hanya sedikit oksigen yang tereduksi. Pada sampel SiO₂-C-200 yang ditunjukkan oleh Gambar 4.25 (b) adanya lembah vang signifikan. menunjukkan Hal ini menunjukkan bahwa banyak oksigen yang tereduksi. Hal ini juga terlihat di Gambar 4.26 (a) untuk sampel SiO₂-C-250. Sedangkan untuk sampel SiO₂-C-300 memiliki lembah yang kurang signifikan namun lebih baik daripada sampel SiO₂-C-150. Untuk sampel SiO₂-C-350 sama seperti SiO₂-C-150 yang tidak memiliki lembah yang signifikan.

Berdasarkan grafik hasil uji CV didapatkan nilai kapasitansi spesifik, densitas energi masing-masing sampel yang dihitung menggunakan Rumus 3.1, Rumus 3.2 dan Rumus 3.3 sehingga diperoleh hasil sebagai berikut :



Sampel	Massa yang terdepo- sit (g)	Nilai Kapasi- tansi (F)	Nilai Kapasi- tansi Spesifik (F/g)	Densi- tas Energi (Wh/Kg)	Densi- tas Power (W/Kg)
C-150	0.0066	0.0349	5.292	2.943	10.595
C-200	0.0086	0.0456	5.305	2.950	10.621
C-250	0.0056	0.0356	6.352	3.533	12.717
C-300	0.0055	0.0361	6.558	3.647	13.130
C-350	0.0039	0.0371	9.504	5.286	19.029
SiO ₂ - C-150	0.0034	0.0447	13.159	7.319	26.348
SiO ₂ - C-200	0.0069	0.1333	19.319	10.744	38.680
SiO ₂ - C-250	0.0086	0.1870	21.741	12.091	43.529
SiO ₂ - C-300	0.0061	0.1824	29.897	16.628	59.859
SiO ₂ - C-350	0.0023	0.0889	38.652	21.497	77.389

Tabel 4.4 Hasil Perhitungan kapasitansi spesifik sampel karbon dan silika karbon

Berdasarkan Tabel 4.4, nilai kapasitansi sampel silikakarbon mengalami kenaikan seiring dengan kenaikan temperatur karbonisasi hidotermal pada sampel karbon. Kenaikan nilai kapasitansi ini disebabkan oleh adanya pori yang dapat meningkatkan luas permukaan sehingga semakin banyak bahan aktif (elektron dalam larutan elektrolit) yang mampu bereaksi dengan sampel. Oleh karena itu, material sampel mampu menyimpan energi yang lebih banyak (Satriady,2016).

Selanjutnya dilakukan plot nilai densitas energi dan densitas power untuk mengetahui tren dari pengaruh temperatur terhadap nilai densitas energi dan densitas *power* yang dihasilkan



dan didapatkan tren kurva yang naik (positif) sesuai Gambar 4.27. selanjutnya kurva pada Gambar 4.27 diplot pada kurva Ragone speri pada Gambar 4.28. plot kurva ragone menjunjukkan bahwa material sampel termasuk kedalam kapasitor tradisional dengan nilai densitas energi dan densitas *power* yang rendah. Oleh karena itu, material dalam penelitian ini belum cukup baik digunakan sebagai material penyimpan energi karena nilai kapasitansinya yang rendah dan perpengaruh pada densitas energi serta densitas *power* yang rendah juga.



Gambar 4.27 Plot kurva nilai densitas energi dan densitas power





Gambar 4.28 Plot ragone untuk sampel SiO₂-C





Gambar 4.29 Hasil uji LSV sampel (a) C-150 (b) -C-200





Gambar 4.30 Hasil uji LSV sampel (a) C-250 (b) -C-300 (c) C-350



Gambar 4.29 dan Gambar 4.30 merupakan hasil LSV sampel karbon dengan variasi temperatur tertentu. Untuk Gambar 4.29 (a), Gambar 4.29 (b) tidak menunjukkan adanya reaksi oksidasi yang ditandakan dengan adanya puncak atau lekukan pada kurva hasil uji secara signifikan. Sedangkan untuk Gambar 4.30 (a), Gambar 4.30 (b) dan Gambar 4.30 (c) memiliki puncak puncak yang signifikan untuk terjadinya reaksi oksidasi. Untuk sampel C-150, C-200, C-250, C-300, C-350 memiliki puncak oksidasi pada arus 0.016901 A/cm², 0.01759 A/cm², 0.018155 A/cm², 0.061165 A/cm², 0.11388 A/cm².



Gambar 4.31 Hasil uji LSV sampel (a) SiO₂-C-150 (b) SiO₂-C-200





Gambar 4.32 Hasil uji LSV sampel (a) SiO₂-C-250 (b) SiO₂-C-300 (c) SiO₂-C-350



Gambar 4.31 dan Gambar 4.32 menunjukkan hasil LSV sampel komposit SiO₂-C. Gambar 4.31 (a), Gambar 4.31 (b) dan Gambar 4.32 (a) masing-masing merupakan kurva LSV dari sampel SiO₂-C-150, SiO₂-C-200, dan SiO₂-C-350, berdasarkan gambar diatas tidak terdapat peak yang signifikan. Sedangkan pada. Gambar 4.32 (b) dan Gambar 4.32 (c) memiliki puncak atau lekukan,-lekukan yang menunjukkan adanya reaksi oksidasi. yang memiliki puncak yang sama dengan reaksi reduksi (Leclerc,2018). Sampel SiO₂-C-150, SiO₂-C-200, SiO₂-C-250, SiO₂-C-300, dan SiO₂-C-350 memiliki puncak anodik pada arus 0.0065136 A/cm², 0.016966 A/cm², 0.017761 A/cm², 0.01755 A/cm².

Pada pengujian CV dan LSV ini digunakan elektrolit berupa KOH dengan aliran oksigen jenuh sehingga reaksi yang terjadi pada elektroda merupakan reaksi reduksi oksigen (*Oxygen Reduction Reaction*, ORR). Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:

 $O_2 + 2H_2O + 4e^- \rightarrow 4 \text{ OH}^ E^\circ = 0,401 \text{ V}$

Kebalikan dari reaksi reduksi oksigen adalah reaksi evolusi oksigen (*Oxygen Evolution Reaction*, OER), dengan reaksi sebagai berikut :

 $4OH^{-} \rightarrow O_2 + 2H_2O + 4e^{-}E^{\circ} = -0,401 V$

Material elektrokatalis seperti komposit silika karbon dapat meningkatkan nilai kapasitansi dan power density (Acha dan Sari, 2019). Dalam penelitian ini, pengujian CV dan LSV yang dilakukan belum mampu mengidentifikasi jumlah elektron yang bereaksi. Reaksi redoks hanya dapat diidentifikasi melalui puncak yang terbentuk pada kurva LSV namun kurva tersebut belum mampuu menunjukkan nilai dari elektron yang bereaksi. Oleh karena itu, diperlukan metode pengujian lebih lanjut yang dapat menghitung jumlah elektron yang bereaksi dalam ORR dan OER seperti pengujian CV dengan metode *Rotating Disk Electrode* (RDE).

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah didapat, maka dapat disimpulkan bahwa :

- 1. Proses karbonisasi hidrotermal menghasilkan karbon dengan struktur berpori. Pori yang dihasilkan berukuran mesopori dan makropori dengan rentang diameter pori sebesar 10-1.500 nm.
- Semakin tinggi temperatur karbonisasi hidrotermal maka semakin tinggi nilai kapasitansi spesifik sampel, hal ini didukung dengan pengujian CV. Nilai kapasitansi spesifik tertinggi terdapat pada sampel SiO₂-C-350 yaitu sebesar 38.652 F/g.

5.2 Saran

Adapun saran dari penelitian ini yaitu :

- 1. Menggunakan pengujian CV dan LSV dengan metode *Rotating Disk Electrode* (RDE) untuk mengetahui performa elektrokimia material sampel.
- 2. Menambahkan pengujian Four Point Probe untuk mengetahui nilai konduktivitas material
- 3. Menggunakan *autoclave* dengan sistem vakum untuk menanggulangi terjadinya kebocoran tekanan.
- 4. Menambahkan uji Brunauer-Emmett-Teller (BET). Untuk mengetahui ukuran pori dan luas permukaan material.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- Ariyanto Teguh, Prasetyo Imam, dan Rochmadi. 2012. Pengaruh Struktur Pori Terhadap Kapasitansi Elektroda Superkapasitor Yang Dibuat Dari Karbon Nanopori.
 Reaktor. Vol. 14 No. 1, April 2012, Hal. 25-32
- Basso D., Castello D., Baratieri M., Fiori L. 2013. Hydrothermal Carbonization of Waste Biomass: Progress Report and Prospect. Trento: Universitas Piazza

Callister William D. dan David G. R.2014. Material Science and

Engineering: An Introduction.Hoboken:John Wiley & Sons,Inc Duffin,Christopher.2006. Silicate Minerals : An Overview.London: British Micromount Society

- Harahap,Muhammad Ridwan.2016.Sel Elektrokimia: Karakteristik dan Aplikasi.**Circuit**, Vol.2, No.1. Hlm 177-178
- Kalderis D., Kotti M. S., Méndez A., Gascó G. 2014. Characterization of Hydrochars Produced by Hdrothermal Carbonization of Rice Husk. Spanyol: Copernicus Publications
- Kumar Sunil, Malik M.M., Purohit Rajesh.2016.**Synthesis** Methods of Mesoporous Silica Materials.Bhopal: MANIT
- Li Yanguang, Dai Hongjie. 2014. Recent advances in zinc-air batteries. Chem. Soc. Rev., 2014, 43, 5257.
- Mehmood Asad, Ghafar Hira, Yaqoob Samiya, Gohar Umar Farooq, Ahmad Bashir. 2017. Mesoporous Silica Nanoparticles: A Review. Journal of Developing Drugs. Vol 6, No. 174 Hlm 1.
- Narayan Reema, Nayak Usha Y., Raichur A.M.,Garg S.2018.Mesoporous Silica Nanoparticles: A Comprehensive Review on Synthesis and Recent Advances. **Pharmaceutics** 2018, 10, 118.
- Polyakova Irina G. 2014. The Main Silica Phases and Some of Their Properties. St. Petersburg: Institut Silika Kimia



- Satriady A., Alamsyah W., Saad A.H.,Hidayat S.2016. Pengaruh Luas Elektroda terhadap Karakteristik Baterai LiFePO4. Jurnal Material dan Energi Indonesia Vol. 06 No. 02 (2016) Hlm 43 –44.
- Smallman R. E., Bishop R. J. 1999. Modern Physical Metallurgy and Materials Engineering. Oxford: Reed Educational and Professional Publishing
- Strambean N.,Demetrovici L., Drago D,Lungu M. 2015. Nanoparticles. Definition, classification, general physical properties. Timisoara: University of Medicine and Pharmacy Timisoara
- Sun Xitong, Yu Wei, Yan Jingyu, Li Jiaqi, Jin Gaowa, Feng Jiatao, Guo Zhimou,Liang Xinmiao.2018. Mesoporous silica–carbon Composites Fabricated by a Universal Strategy of Hydrothermal Carbonization: Controllable Synthesis and Applications. The Royal Society of Chemistry. RSC Adv., 2018, 8, 27207
- Suprihatin, Setiawan Fahmi A., Cahya Rahmandani Dwi.2019. Adsorben Komposit Silika Karbon dari Limbah Abu Sekam Padi. Surabaya: UniversitasPembangunan Nasional "Veteran"
- Uddin Mohammad Kashif, Rahaman P. F. 2017. A Study on the Potential Aplications of Rice Husk Derivatives as Useful Adsorptive Material. Saudi Arabia: Universitas Majmaah
- Waddell, W. H.2006. **Silica, Amorphous**. Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology
- Zhong Ruyi, Peng Li, Clippel Filip de,Gommes C,Goderis B, Ke Xiaoxing, Tendeloo G.V,Jacobs P.A, Sels B.F.2015. An Eco-friendly Soft Template Synthesis of Mesostructured Silica-Carbon Nanocomposites for Acid Catalysis. **ChemCatChem** 2015, 7, 3047 – 3058

LAMPIRAN















e. C-300 sebelum aktivasi



f. C-300 setelah aktivasi





g. C-350 sebelum aktivasi



h. C-350 setelah aktivasi



LAMPIRAN



i. SiO₂-C-150





k. SiO₂-C-250



1. SiO₂-C-300



LAMPIRAN



m. SiO₂-C-350
























LAPORAN TUGAS AKHIR TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI

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-150	0.332	0.3386	0.0066	0.0349	5.292	2.944	10.597
C-200	0.3101	0.3187	0.0086	0.0456	5.305	2.950	10.621
C-250	0.3277	0.3333	0.0056	0.0356	6.352	3.533	12.717
C-300	0.3038	0.3093	0.0055	0.0361	6.558	3.647	13.130
C-350	0.2958	0.2997	0.0039	0.0371	9.504	5.286	19.029
SiO ₂ -C-150	0.3325	0.3359	0.0034	0.0447	13.159	7.319	26.348
SiO_2 -C-200	0.3243	0.3312	0.0069	0.1333	19.319	10.744	38.680
SiO ₂ -C-250	0.3104	0.319	0.0086	0.1870	21.741	12.091	43.529
SiO ₂ -C-300	0.3224	0.3285	0.0061	0.1824	29.897	16.628	59.859
SiO ₂ -C-350	0.3176	0.3199	0.0023	0.0889	38.652	21.497	77.389

LAMPIRAN



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini penulis menyampaikan terimakasih kepada pihak-pihak yang sudah turut membantu penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini. Penulis menyampaikan terimakasih kepada :

- 1. Bapak Tono dan ibu mutik sebagai orang tua penulis, Isabel, Nathan dan Noel sebagai adik penulis serta Ibu Parni sebagai nenek penulis yang selalu memberi motivasi kepada penulis.
- 2. Azarine sebagai teman mengerjakan tugas akhir yang sudah berjuang bersama penulis sampai akhir.
- 3. Teman-teman laboratorium kimia material (Mbak Yeni, Ali,Laras, Alvia, Wardhana, Ade, Riska, Dayyan, Triska, Elvira, Gatra, Adit dan Fadel) yang sudah menemani penulis dalam mengerjakan tugas akhir di laboratorium.
- 4. Teman-teman MT18 yang selalu memberi dukungan kepada penulis.
- 5. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu-persatu.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BIODATA PENULIS



Penulis bernama Gabreiel Natalia Kristin, lahir di Blora, 26 Desember 1998 dari pasangan Bapak Marsidi dan Ibu Mutik. Penulis tinggal di Desa Kaloran Kecamatan Gemolong Kabupaten Sragen Provinsi Jawa Tengah. Penulis menempuh pendidikan di SDN 3 Sidomulyo (2004-2010), SMPN 1 Banjarejo (2010-2013) dan SMAN 1 Blora (2013-2016). Penulis merupakan mahasiswa

aktif di Teknik Material dan Metalurgi Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif di Departemen Kesejahteraan Mahasiswa Himpunana Mahasiswa Teknik Material ITS, Staf Acara Persekutuan Mahasiswa Kristen ITS, Staf Event Organizer ITS Material Advantage Chapter. Selain itu, penulis juga aktif di berbagai kepanitiaan di ITS.

Penulis pernah melakukan kerja praktik di PT Astra Honda Motor. Penulis dapat dihubungi melalui email di kristin199826@gmail.com.