

**SINTESIS ZEOLIT MORDENIT (MOR) BERBASIS SILIKA ABU AMPAS
TEBU MENGGUNAKAN BIO-MESOPOROGEN PATI DAN UJI
AKTIVITAS KATALITIK PADA REAKSI HIDROLISIS SELULOSA KULIT
SINGKONG UNTUK PRODUKSI GLUKOSA**

(Skripsi)

Oleh

Vincent Ferdinandi

1817011043



**JURUSAN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG**

2022

ABSTRAK

SINTESIS ZEOLIT MORDENIT (MOR) BERBASIS SILIKA ABU AMPAS TEBU MENGGUNAKAN BIO-MESOPOROGEN PATI DAN UJI AKTIVITAS KATALITIK PADA REAKSI HIDROLISIS SELULOSA KULIT SINGKONG UNTUK PRODUKSI GLUKOSA

Oleh

VINCENT FERDINANDL

Pada penelitian ini, dilakukan sintesis, karakterisasi, dan uji aktivitas katalitik zeolit-MOR berbasis silika yang berasal dari abu ampas tebu (*Sugarcanne Bagasse Ash/SCBA*) sebagai katalis pada reaksi hidrolisis selulosa kulit singkong. Tahapan penelitian yang dilakukan yaitu ekstraksi silika SCBA sebagai bahan dasar sintesis zeolit-MOR SCBA mesoporogen kemudian sebagai pembanding disintesis zeolit-MOR berbasis silika SCBA tanpa mesoporogen dan dilakukan *ion-exchange*, serta uji katalitik. Karakterisasi silika menggunakan XRD, XRF, dan FTIR. Zeolit-MOR (Mesoporogen) dan (Tanpa Mesoporogen) disintesis menggunakan metode hidrotermal pada suhu 180°C selama 6 hari. Zeolit-MOR SCBA telah berhasil disintesis karena memiliki kecocokan dengan difraktogram zeolit-MOR standar. Rasio Si/Al zeolit-MOR SCBA sebesar 3,645 % didapat melalui karakterisasi XRF. Zeolit-MOR SCBA memiliki luas permukaan 20,931 m²/g ; volume total pori 5,026 x 10⁻³ cm³/g ; dan rata-rata diameter pori sebesar 3,2341 nm didapat melalui karakterisasi BET. Analisis kandungan selulosa menggunakan karakterisasi UV-Vis (540 nm) sebesar 98% dalam tepung kulit singkong. Hasil uji katalitik menunjukkan kondisi reaksi optimum berada pada suhu 140 °C selama 3 jam dengan rasio katalis 1:1 menggunakan katalis zeolit H-MOR SCBA mesoporogen dan tanpa mesoporogen yang memberikan konsentrasi gula pereduksi sebesar 326,254 ppm dan 260,192 ppm.

Kata Kunci : Silika SCBA, H-MOR pori hierarki, Reaksi hidrolisis.

ABSTRAK

SYNTHESIS OF MORDENITE ZEOLITE (MOR) BASED ON SILICA SUGARCANE ASH USING BIO-MESOPOROGEN STARCH AND CATALYTIC ACTIVITY TEST ON THE HYDROLYSIS OF CASSAVA SKIN CELLULOSE FOR GLUCOSE PRODUCTION

By

VINCENT FERDINANDL

In this study, carried out the synthesis, characterization, and test the catalytic activity of zeolite-MOR based on silica derived from bagasse ash (Sugarcane Bagasse Ash/SCBA) as a catalyst in the hydrolysis reaction of cassava peel cellulose. The stages of the research carried out were extraction of SCBA silica as the basic material for the synthesis of zeolite-MOR SCBA mesoporous and then as a comparison, synthesized zeolite-MOR based on SCBA silica without mesoporous, ion-exchange, and catalytic tests. Silica characterization using XRD, XRF, and FTIR. Zeolite-MOR (mesoporous) and (without mesoporous) were synthesized using hydrothermal method at 180 °C for 6 days. Zeolite-MOR SCBA has been successfully synthesized because it has a good match with the standard zeolite-MOR diffractogram. The ratio of Si/Al zeolite-MOR SCBA of 3.645 % was obtained through XRF characterization. Zeolite-MOR SCBA has a surface area of 20.931 m²/g; total pore volume 5.026 x 10⁻³ cm³/g ; and the average pore diameter of 3.2341 nm was obtained through BET characterization. Analysis of cellulose content using UV-Vis (540 nm) was 98 % in cassava peel flour. The results of the catalytic test showed that the optimum reaction conditions were at a temperature of 140 °C for 3 hours with a catalyst ratio of 1:1 using a mesoporous H-MOR SCBA zeolite catalyst and without mesoporous which gave reducing sugar concentrations of 326.254 ppm and 260.192 ppm.

Keywords: SCBA silica, hierarchical pore H-MOR, hydrolysis reaction.

**SINTESIS ZEOLIT MORDENIT (MOR) BERBASIS SILIKA ABU AMPAS
TEBU MENGGUNAKAN BIO-MESOPOROGEN PATI DAN UJI
AKTIVITAS KATALITIK PADA REAKSI HIDROLISIS SELULOSA KULIT
SINGKONG UNTUK PRODUKSI GLUKOSA**

Oleh

VINCENT FERDINANDL

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar
SARJANA SAINS**

Pada

**Jurusan Kimia
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Lampung**



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2022**

HALAMAN PENGESAHAN

Judul : **SINTESIS ZEOLIT MORDENIT (MOR) BERBASIS SILIKA ABU AMPAS TEBU MENGGUNAKAN BIO-MESOPOROGEN PATI DAN UJI AKTIVITAS KATALITIK PADA REAKSI HIDROLISIS SELULOSA KULIT SINGKONG UNTUK MEMPRODUKSI GLUKOSA**

Nama : *Vincent Ferdinandl*

Nomor Pokok Mahasiswa : 1817011043

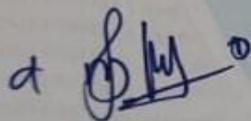
Jurusan : Kimia

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

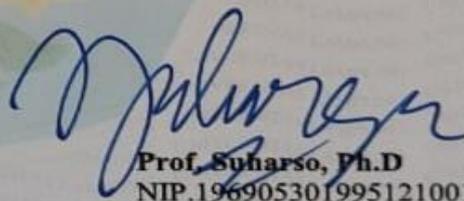
Bandar Lampung ,12 Oktober 2021

MENGETAHUI,

1. Komisi Pembimbing

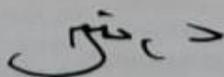


Dr. Mita Rilyanti, M.Si.
NIP.197205302000032001



Prof. Suharso, Ph.D
NIP.196905301995121001

Ketua Jurusan Kimia FMIPA

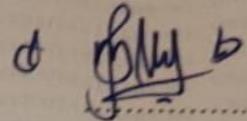


Mulyono, Ph.D.
NIP.197406112000031002

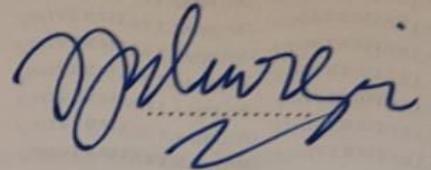
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : **Dr. Mita Rilyanti, M.Si.**

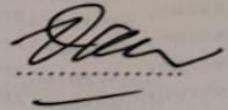


Sekretaris : **Prof. Suharso, Ph.D.**



Penguji

Bukan Pembimbing : **Dr. Eng. Suropto Dwi Yuwono, M.T.**



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Dr. Eng. Suropto Dwi Yuwono, M.T.
NIP. 197407052000031001

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **7 Oktober 2022**

SURAT PERNYATAAN

Yang bertandatangan dibawah ini.

Nama : Vincent Ferdinandi
Nomor Pokok Mahasiswa : 1817011043
Jurusan : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Perguruan Tinggi : Universitas Lampung

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul "**Sintesis Zeolit Mordenit (MOR) Berbasis Silika Abu Ampas Tebu Menggunakan Bio-Mesoporogen Pati dan Uji Aktivitas Katalitik Pada Reaksi Hidrolisis Selulosa Kulit Singkong Untuk Produksi Glukosa**" adalah benar karya sendiri, baik gagasan, hasil, dan analisisnya. Saya tidak keberatan jika data dalam skripsi ini digunakan oleh dosen atau program studi untuk kepentingan publikasi sesuai dengan kesepakatan sebelum dilakukan publikasi.

Bandar Lampung, Oktober 2022

Yang Menyatakan



Vincent Ferdinandi

NPM. 1817011043

RIWAYAT HIDUP

Penulis bernama lengkap Vincent Ferdinandl dilahirkan di Jakarta, 09 Agustus 2000 yang merupakan anak pertama dari dua bersaudara dari pasangan Bapak Daniel Ferdynand Luttu dan Ibu Daisy Bachtiar. Penulis menyelesaikan pendidikan Taman Kanak-Kanak (TK) di TK Gabriela pada Tahun 2006 dan melanjutkan ke Sekolah Dasar (SD) di SD Tunas Harapan Nusantara pada Tahun 2012, kemudian melanjutkan ke Sekolah Menengah Pertama (SMP) di SMP Tunas Harapan Nusantara lulus pada Tahun 2015, selanjutnya penulis melanjutkan pendidikan Sekolah Menengah Atas (SMA) di SMA Kristen Saint John pada Tahun 2018, penulis terdaftar sebagai Mahasiswa Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) Universitas Lampung melalui jalur SBMPTN (Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri).

Selama menjadi mahasiswa kimia, penulis juga aktif berorganisasi mulai sebagai kader muda dan anggota inti Himpunan Mahasiswa Kimia (HIMAKI) periode 2019 dan periode 2020. Pada tahun 2019, penulis aktif di HIMAKI sebagai anggota Bidang Kaderisasi dan Organisasi HIMAKI-FMIPA. Penulis pernah mengikuti kegiatan sosial seperti Karya Wisata Ilmiah (KWI) BEM-FMIPA Unila di Desa Tanjung Tirto Kecamatan Way Bungur dan Kunjungan Industri (KI) pada Tahun 2019. Tahun 2021, penulis telah menyelesaikan praktik kerja lapangan (PKL) yang berjudul Sintesis dan Karakterisasi Zeolit Mordenit (MOR) Berbasis Silika Komersil Sebagai Biomesoporogen Dengan Metode Hidrotermal di Laboratorium Kimia Anorganik/Fisik FMIPA Universitas Lampung. Penulis telah melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Kelurahan Rajabasa Raya Kota Bandar Lampung selama 38 hari pada bulan Februari-Maret 2022 serta pada bulan Maret-Juni 2022 penulis menyelesaikan penelitian yang dilakukan di Laboratorium Kimia Anorganik/Fisik FMIPA Universitas Lampung yang diberi judul “Sintesis Zeolit Mordenit (MOR) Berbasis Silika Abu Ampas Tebu Menggunakan Bio-Mesoporogen Pati dan Uji Aktivitas Katalitik Pada Reaksi Hidrolisis Selulosa Kulit Singkong Untuk Produksi Glukosa.”

MOTTO

“I can do all things through Christ which strengtheneth me.”

(Philippians 4:13)

“Not slothful in business; fervent in spirit; serving the Lord;”

(Romans 12:11)

“Be careful for nothing; but in every thing by prayer and supplication with thanksgiving let your requests be made known unto God.”

(Philippians 4:6)

“Life is a struggle and don't give up facing a problem.”

(Ps. DR. Gideon Simanjuntak, S.H., M.Th.)

“Life a step away from death. Take care not to be left behind.”

(Ps. DR. Yesaya Pariadji)

“If you can't do big things, do small things but in a great way”

(Napolean Hill)

Segala puji dan syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas limpahan rahmat dan karunia-Nya kepadaku, dan damai sejahteraNya. Kupersembahkan sebuah karya ilmiah Skripsi ini kepada:

Kedua orang tuaku tersayang, Papa dan Alm.Mamaku yang tak henti- hentinya selalu memberikan doa, kasih sayang, motivasi, semangat dan dukungan dalam mendukung keberhasilanku, serta adikku dan seluruh keluarga besar yang selalu memberikan keceriaan dan semangat kepadaku.

Dengan rasa hormat terima kasih kepada Ibu Dr. Mita Rilyanti, M.Si., Bapak Prof. Suharso, Ph.D., dan Bapak Dr.Eng. Suropto Dwi Yuwono, M.T., serta seluruh Dosen Jurusan Kimia yang telah membimbing dan memberikan ilmu yang bermanfaat kepadaku hingga bisa menyelesaikan pendidikan selama empat tahun ini.

Sahabat dan teman-temanku yang selalu memberikan semangat, kehangatan, dan kebahagiaan, serta memberikan pelajaran yang sangat berharga dalam hidupku. Terima kasih sudah menemani dan berjuang bersamaku selama menempuh pendidikan Sarjana ini.

Dan almamater tercinta, Universitas Lampung.

SANWACANA

Segala puji dan syukur penulis haturkan kepada Tuhan Yang Maha Esa yang senantiasa memberikan rahmat, karunia dan limpahan berkat-Nya yang tiada tara, dan damai sejahteraNya, sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi yang berjudul:

“Sintesis Zeolit Mordenit (MOR) Berbasis Silika Abu Ampas Tebu Menggunakan Bio-Mesoporogen Pati dan Uji Aktivitas Katalitik Pada Reaksi Hidrolisis Selulosa Kulit Singkong Untuk Produksi Glukosa”

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains pada Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung.

Dalam kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Tuhan Yesus Kristus yang selalu mendengarkan doa dan menjawab doa penulis selama ini sepanjang hidup penulis dan melindungi penulis sehingga penulis bisa menyelesaikan Skripsi ini tepat waktu.
2. Kepada kedua orang tua penulis Bapak Daniel Ferdynand Luttu dan Alm. Ibu Daisy Bachtiar yang tercinta yang selalu tak henti-hentinya memberikan doa, dukungan, kasih sayang, nasihat, semangat, motivasi, dan materi untuk keperluan kuliah dan sekolah penulis. Terimakasih atas perjuangan dan pengorbanan yang telah Papa dan Mama lakukan untuk saya. Semoga Tuna Yesus selalu memberikan perlindungan, berkat, diberikan kesehatan dan umur yang panjang agar bisa selalu mendampingi dan menyaksikan perjalanan hidup kakak untuk membahagiakan kalian kelak di dunia maupun di akhirat dan dimudahkan rezekinya untuk kita sekeluarga; *Aamiin*.
3. Adikku Rafael Ferdinand Lutu yang telah memberikan semangat, keceriaan dalam hidup penulis sehingga dapat membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

4. Ibu Dr. Mita Rilyanti, S.Si., M.Si., selaku dosen pembimbing I yang telah memberikan masukan, bimbingan, arahan, ilmu, nasihat, saran, keikhlasan, kemudahan dan kesabaran kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan skripsi ini. Semoga Allah SWT membalas kebaikan Ibu dan diberikan yang terbaik baik di dunia maupun di akhirat kelak.
5. Bapak Prof. Ir. Suharso, Ph.D., selaku dosen pembimbing II yang telah memberikan masukan, bimbingan, arahan, ilmu, nasihat, saran, dan kemudahan kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan Skripsi ini. Semoga Allah SWT membalas kebaikan Bapak dan diberikan yang terbaik baik di dunia maupun di akhirat kelak.
6. Bapak Dr. Eng. Suropto Dwi Yuwono, S.Si., M.T., selaku dosen pembahas yang memberikan bimbingan, saran, kritik dan ilmu yang bermanfaat kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan skripsi ini. Semoga Allah SWT membalas semua kebaikan Bapak dan diberikan yang terbaik baik di dunia maupun di akhirat kelak.
7. Alm Bapak Drs. Supriyanto selaku dosen pembimbing akademik, penulis mengucapkan terimakasih atas ketersediaan Bapak dalam memberikan bimbingan perkuliahan, nasihat yang bermanfaat kepada penulis.
8. Bapak Mulyono, Ph.D selaku Ketua Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam.
9. Bapak Dr. Eng. Suropto Dwi Yuwono, M.T. selaku Dekan FMIPA Universitas Lampung.
10. Seluruh dosen Kimia FMIPA Unila terima kasih atas segala ilmu, pengalaman, motivasi dan nasihat selama perkuliahan. Semoga Tuhan Yang Maha Esamembalas kebaikan Bapak dan Ibu.
11. Seluruh civitas dan akademika Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam atas dukungan dan bantuan kepada penulis.

12. Ibu Dr. Kamisah D. Pandiangan, M.Si., selaku Kalab Anorganik/Fisik dan Mbak Liza Apriliya, S.Si., selaku laboran yang menyediakan alat di laboratorium dan kemudahan dalam mengurus berkas, semoga selalu diberkahi oleh Allah SWT.
13. Saudari Phirena Aulia Erdanta yang telah memberikan penulis semangat, dukungan, motivasi, do'a dan bantuannya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan lancar. Semoga dimudahkan segala urusan dan sehat selalu. Aamiin.
14. Kakak senior yaitu Kak Azzizah, Kak Ulfiatun, Kak Eroh, dan Kak Mia, terima kasih atas bantuan, arahan, dan dukungan sehingga penulis dapat menjalankan dan menyelesaikan skripsi ini dengan baik dan lancar. Semoga Allah SWT selalu membalas dengan kebaikan yang tak ternilai.
15. Rekan seperbimbingan *research* yaitu Chaterine dan Ester terima kasih sudah menjadi teman yang memberikan dukungan, motivasi, nasihat dan semangatnya kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Semoga kalian dipermudah dalam segala urusannya. Aamiin.
16. Sahabat SMA penulis yaitu Chika, Lisa, Silvia, Sonia, Devita, William, dan Fernando, terima kasih sudah memberikan nasihat, masukan, keceriaan, dan kebersamaannya dalam hidup penulis. Semoga kalian dipermudah dalam segala urusannya. Aamiin.
17. Sahabat dan teman-teman seperjuangan penulis khususnya kelas C yaitu Tri, Savira, Shafa, Sania, Nurkhalisah, Zulfa, Ninid, Zhaafira, Wulandari, Nur Mayana, Rizka Nalia, Ramah Nia, Wulandari Agustin, Reyzka, Salsabila, Yanesta, Salsabila Bethari, Vezhia, Ofriani, Rista, Olivia, Risna, Reni, Polado, Bang Widi, Sahrul, Randi, Reyhan, serta teman-teman yang tidak bisa disebutkan satu-satu namanya. Terima kasih telah memberikan semangat, dukungan, nasihat, bantuan, keceriaan yang selalu membuat penulis termotivasi untuk mengerjakan

skripsi ini.

18. Teman-teman Laboratorium Anorganik/Fisik yaitu Mba Della, Mba Nadya, Kak Azizah, Kak Arya, Chetrine, Ester, Grace, In, Rifki, Atika, Afra, Alivia, Jilda, Khairunisa, Gustin, Natasha, Nia Mardanti dan Mey Dhea terima kasih atas dukungan dan sudah banyak membantu penulis selama di Lab dan menyelesaikan skripsi ini.
19. Teman-teman KKN Kelurahan Rajabasa Raya Kota Bandar Lampung yaitu Phirena, Salsabila, Salsabilla Bethari, Vezhia, dan Polado terima kasih atas kebersamaannya selama 38 hari yang menyenangkan dan memberikan semangat dan dukungan kepada penulis. Semoga kalian dipermudah dalam segala urusannya. Aamiin.
20. Seluruh keluarga besar mahasiswa Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung Angkatan 2018 yang telah memberikan semangat dan bantuannya kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan skripsi dengan lancar.
21. Almamater tercinta Universitas Lampung.
22. Semua pihak yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu. Terima kasih atas segala bantuan, dukungan, dan doa yang dipanjatkan. Semoga kebaikan yang diberikan selama ini mendapat balasan dari Allah SWT.

Bandar Lampung, Oktober 2022

Penulis

Vincent Ferdinandi

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	4
1.3 Manfaat Penelitian.....	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Zeolit	6
2.2 Zeolit Mordenit.....	7
2.3 Ampas Tebu	9
2.4 Silika.....	9
2.5 Ekstraksi Silika Abu Ampas Tebu	11
2.6 Sintesis Zeolit	13
2.7 Zeolit Pori Hierarki	15
2.8 Biomesoporogen.....	16
2.9 Reaksi Hidrolisis	19
2.10 Selulosa.....	20
2.11 Glukosa	21
2.12 Ampas Singkong	22
2.13 Metode Hidrotermal	23
2.14 Katalis	24
2.15 <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	25
2.16 <i>Brunauer-Emmett-Teller</i> (BET).....	27
2.17 <i>X-Ray Fluorescence</i> (XRF).....	28
2.18 <i>Fourier Transform Infra Red</i> (FTIR)	31
2.19 Spektrofotometri UV-Vis.....	32
III. METODE PENELITIAN	34

4.2 Sintesis Zeolit Mordenit (MOR) Menggunakan Metode Hidrotermal.....	49
4.2.1 Sintesis Zeolit Mordenit (MOR) Berbasis Silika Abu Ampas Tebu (SCBA) Menggunakan Pati Dengan Metode Hidrotermal	49
4.2.2 Sintesis Zeolit Mordenit (MOR) Berbasis Silika Abu Ampas Tebu (SCBA) Tanpa Menggunakan Pati Dengan Metode Hidrotermal	50
4.3 Karakterisasi Zeolit Mordenit (MOR).....	50
4.3.1 Karakterisasi XRD Zeolit Mordenit (MOR).....	50
4.3.2 Karakterisasi XRF Zeolit Mordenit (MOR).....	51
4.3.3 Karakterisasi BET Zeolit Mordenit (MOR).....	53
4.4 Uji Aktivitas Katalitik	54
4.4.1 Persiapan Katalis H-MOR	54
4.4.2 Persiapan Bahan Baku Kulit Singkong	56
4.4.3 Pemisahan Amilum dari Tepung Kulit Singkong	56
4.4.4 Analisis Kandungan Selulosa.....	57
4.4.5 Pretreatment Zeolit H-MOR dan Selulosa dengan Metode <i>Mix-Milling</i>	57
4.4.6 Reaksi Hidrolisis	58
4.4.7 Penentuan Suhu Optimum	58
4.4.8 Penentuan Waktu Optimum	59
4.4.9 Penentuan Jumlah Katalis Optimum.....	60
4.4.10 Analisis Gula Pereduksi	61
V. KESIMPULAN DAN SARAN.....	63
5.1 Simpulan.....	63
5.2 Saran	63
DAFTAR PUSTAKA	65
LAMPIRAN.....	Error! Bookmark not defined.

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Komposisi silika SCBA	30
2. Komposisi kimia abu ampas tebu, sekam padi dan abu terbang.....	30
3. Komposisi molar pereaksi untuk sintesis mordenit dari silika SCBA dengan pati	36
4. Perhitungan komposisi molar pereaksi untuk sintesis mordenit dari silika SCBA dengan pati.....	36
5. Komposisi molar pereaksi untuk sintesis mordenit dari silika abu ampas tebu (SCBA)	37
6. Perhitungan komposisi molar pereaksi untuk sintesis mordenit dari silika abu ampas tebu (SCBA)	37
7. Komposisi penyusun silika	47
8. Pita serapan yang muncul.....	48
9. Komposisi unsur zeolit MOR SCBA dengan pati	52
10. Data analisis BET pada zeolit mordenit (MOR) SCBA	53

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Kerangka zeolit	7
2. Kerangka struktur zeolit mordenit	8
3. Distribusi situs asam dalam cincin beranggota 8 dan 12 (8-, 12-MR) dari MOR ..	8
4. Struktur tetrahedral silika (SiO ₂).....	10
5. Ilustrasi zeolit pori hierarki	15
6. Struktur dasar pati terdiri dari amilosa dan amilopektin.....	18
7. Skema pembentukan mesopori ZSM-5.....	18
8. Reaksi hidrolisis	19
9. Skema hidrolisis selulosa menjadi glukosa.....	20
10. Struktur selulosa.....	21
11. Autoklaf (alat sintesis secara hidrotermal).....	24
12. Skema alat difraksi sinar-X.....	26
13. Difraktogram zeolit MOR	27
14. Tipe grafik adsorpsi-desorpsi isotherm.....	28
15. Spektra FTIR silika SCBA.....	32
16. Spektra FTIR dari zeolit MOR.....	32
17. Ilustrasi analisis glukosa	33
18. Preparasi ampas tebu (a) pencucian (b) ampas tebu bersih.....	43
19. Abu ampas tebu.....	44
20. (a.) Penambahan NaOH 2 M (b.) hidrogel silika (c.) silika SCBA.....	46
21. Difarktogram XRD dari silika SCBA	46
22. Spektra FTIR silika SCBA.....	48
23. Sintesis zeolit MOR SCBA pati (a) pemanasan dengan suhu 80 °C (b) penambahan pati (c) zeolit MOR SCBA pati.....	49
24. Sintesis zeolit MOR SCBA tanpa pati (a) pemanasan dengan suhu 80 °C (b) penambahan pati (c) zeolit MOR SCBA tanpa pati	50
25. Difraktogram zeolit mordenit (MOR)	51
26. Grafik isotherm adsorpsi-desorpsi N ₂ dari zeolit MOR SCBA	54
27. Skema kerangka zeolit setelah modifikasi <i>ion exchange</i>	55

28. Zeolit H-MOR (a) SCBA dengan pati (b) SCBA tanpa pati.....	55
29. Persiapan bahan baku (a) kulit singkong (b) tepung kulit singkong.....	56
30. Pemisahan amilum dari tepung kulit singkong	56
31. Analisis selulosa (a) pretreatment (b) filtrat glukosa	57
32. Proses mix-milling (a) zeolit H-MOR SCBA pati (b) zeolit MOR tanpa pati....	58
33. Proses hidrolisis (a) larutan standar glukosa (b) larutan sampel + DNS: selulosa.....	58
34. Penentuan suhu optimum reaksi hidrolisis.....	59
35. Penentuan waktu optimum reaksi hidrolisis	60
36. Penentuan jumlah katalis optimum reaksi hidrolisis.....	61
37. Hasil analisis gula pereduksi.....	62

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tebu dengan nama ilmiah *Saccharum officinarum L* menjadi sektor pertanian yang menjanjikan di Provinsi Lampung. Hal ini dibuktikan dengan data dari Badan Pusat Statistik (BPS) tahun 2019 yaitu luas perkebunan tebu di Provinsi Lampung seluas 128.600 hektar dengan produksi tebu diperkirakan mencapai hingga 764.481 ton pada tahun 2021. Tebu menjadi bahan utama pada industri gula dan di pabrik gula mengalami proses ekstraksi untuk menghasilkan gula. Akan tetapi, dari proses ekstraksi tersebut menghasilkan limbah berupa ampas tebu. Pada suatu pabrik gula ampas tebu yang dihasilkan sekitar 3 ton dari setiap 10 ton tebu setiap tahunnya (Hajiha *et al.*, 2015). Berdasarkan data dari Pusat Penelitian Perkebunan Gula Indonesia (P3GI), ampas tebu yang dihasilkan sebanyak 32 % dari berat tebu yang digiling. Tebu yang berasal dari pabrik tersebut memiliki limbah ampas tebu yang sangat jarang dimanfaatkan oleh masyarakat khususnya oleh pabrik tersebut. Oleh karena itu, limbah ampas tebu tersebut sangat mengganggu bagi ekosistem lingkungan sekitar pabrik. Sehingga apabila dibiarkan akan menimbulkan permasalahan lingkungan seperti timbulnya aroma yang tidak sedap dan menyebabkan pencemaran tanah. Penelitian yang dilakukan oleh Wustoni *et al.*, (2018), memanfaatkan melimpah limbah ampas tebu sebagai sumber silika aluminat.

Abu ampas tebu (*Sugarcane Bagasse Ash/SCBA*) memiliki kandungan silika yang relatif tinggi yaitu sekitar 66,7 % serta kandungan alumina yang tercukupi. Penelitian yang telah dilakukan Rilyanti *et al.* (2020) berhasil mengekstraksi silika *amorf* sebesar 85,5 % dan alumina sebesar 12 % dari abu ampas tebu dengan metode alkali. Silika merupakan senyawa yang terdiri dari silikon dioksida (SiO_2) yang terdapat di alam dalam dua macam bentuk yaitu *amorf* dan kristalin (Bragmann *and* Goncalves, 2006; Della *et al.*, 2002). Dalam bidang kimia, silika digunakan sebagai adsorben untuk

senyawa-senyawa polar, pengisi pada kolom kromatografi, sebagai isolator, dan sebagai katalis (Mujianti *et al.*, 2010). Silika mempunyai sifat kestabilan termal dan mekanik yang cukup tinggi (Shriver, 1990), serta mampu menyerap lembab tanpa mengubah kondisi suatu zat, sehingga silika banyak digunakan sebagai zat pengering seperti menjaga kelembaban makanan, obat-obatan, elektronik, dan film (Kalapathy *et al.*, 2000). Dengan demikian, silika dari abu ampas tebu dapat dijadikan sebagai sumber silika untuk sintesis material berbasis silika seperti sintesis zeolit (Moises *et al.*, 2013).

Zeolit merupakan material aluminosilikat yang mempunyai pori berukuran mikropori. Struktur zeolit terdiri dari kerangka tiga dimensi SiO_2 dan Al_2O_3 tetrahedral. Bentuk kristal zeolit relatif teratur dengan rongga yang saling berhubungan ke segala arah menyebabkan permukaan zeolit menjadi sangat luas sehingga baik digunakan sebagai adsorben, katalis, penukar ion dan aplikasi saringan molekuler. Rumus umum zeolit adalah $\text{M}_x/\text{n}(\text{Al}_x\text{Si}_y\text{O}_{2(x+y)}).z\text{H}_2\text{O}$ (M adalah kation logam dengan muatan n). Zeolit terdiri atas dua macam, yaitu zeolit alam dan zeolit sintetis. Zeolit sintetis merupakan senyawa kimia yang mempunyai sifat fisik dan kimia hampir sama dengan zeolit alam. Salah satu zeolit sintetis yang umum digunakan adalah zeolit mordenit (MOR). Zeolit mordenit (MOR) merupakan zeolit yang memiliki rasio Si/Al antara 2 hingga 5 yang membuatnya sangat tahan terhadap panas dan pengaruh kimia. Zeolit mordenit memiliki stabilitas termal yang tinggi, memiliki rongga serta saluran yang membuatnya cocok diaplikasikan sebagai katalis, serta pori berukuran mikropori (<2 nm). Akan tetapi, menurut (Chen *et al.*, 2018; Kadja *et al.*, 2013) ukuran mikropori dengan rentang ukuran pori 1–10 Å memiliki keterbatasan, yaitu ketika difusi dengan molekul besar menyebar di saluran yang relatif sempit sehingga membentuk kokas serta aktivitas katalis menurun secara signifikan. Peneliti pun melakukan penambahan pori pada kristal zeolit yaitu mesopori sebagai solusi untuk mengatasi permasalahan tersebut dengan membentuk porositas sekunder yang disebut dengan pori hirarki (Yusri, 2012).

Zeolit pori hirarki memiliki klasifikasi mikropori dan mesopori. Zeolit pori hirarki diketahui dapat meningkatkan aksesibilitas molekul reaktan sehingga memiliki aktivitas yang lebih baik. Mesopori zeolit dapat dibentuk pasca sintesis melalui dealuminasi dan desilikasi. Namun, metode desilikasi dan dealuminasi ini

menghasilkan mesopori yang kurang seragam, serta rasio Si/Al yang berbeda dari zeolit awal. Oleh karena itu, diperlukan cara yang lain dan lebih efektif untuk mensintesis zeolit hirarki yaitu dilakukan metode cetak. Metode cetak dalam sintesis zeolit memerlukan mesoporogen sebagai agen pengarah mesopori, sehingga pada kristal zeolit akan tercetak porositas tambahan dengan ukuran meso atau makro. Kemudian, mesoporogen yang digunakan dapat dihilangkan menggunakan proses kalsinasi karena terdapat molekul organik tersebut (Sartipi *et al.*, 2013). Pemilihan mesoporogen dalam sintesis zeolit pori hirarkis menjadi faktor yang sangat penting. Biasanya, molekul organik dijadikan sebagai mesoporogen sebagai zat yang membantu pembentukan pori berukuran meso atau makro. Namun, penggunaan molekul organik sebagai mesoporogen dinilai tidak ramah lingkungan. Hal itu karena organik molekul yang digunakan sebagai mesoporogen harus dihilangkan melalui proses kalsinasi dengan suhu yang sangat tinggi. Proses kalsinasi diketahui memakan banyak waktu, energi, dan menghasilkan gas CO₂ yang berkontribusi pada efek rumah kaca. Selain itu, molekul organik dikenal sebagai zat yang cukup berbahaya dan terbilang mahal. Permasalahan ini dapat diatasi dengan bio-mesoporogen. Penggunaan bio-mesoporogen untuk sintesis zeolit pori hirarki cukup banyak menarik perhatian. Bahan-bahan biomesoporogen sendiri berasal dari alam sehingga memungkinkan penggunaan biaya yang rendah dan dapat digunakan secara berkelanjutan.

Para peneliti pun mengembangkan pati yang dimanfaatkan sebagai bio-mesoporogen pada sintesis zeolit hirarki dalam beberapa tahun terakhir. Penggunaan pati sebagai bio-mesoporogen jauh lebih menguntungkan karena ditinjau dari harganya pati relatif murah, mudah didapatkan, memiliki struktur kompleks yang memungkinkan untuk mensintesis material dengan dengan struktur dan morfologi yang unik, dan tentunya pati bersifat ramah lingkungan (Zhang *et al.*, 2010). Pati memiliki gugus hidroksil sangat melimpah, yang membuatnya mudah terdispersi ke dalam larutan sintesis. Gugus hidroksil tersebut akan berinteraksi dengan gugus hidroksil pada zeolit melalui ikatan hidrogen dan setelah kalsinasi didapatkan mesopori zeolit (Wang *et al.*, 2009). Oleh karena itu, pati dapat digunakan sebagai bio-mesoporogen untuk mensintesis zeolit hirarki yang berguna untuk aplikasi katalis.

Salah satu aplikasi zeolit adalah sebagai katalis. Zeolit dapat dimanfaatkan sebagai katalis pada reaksi hidrolisis selulosa menjadi glukosa. Menurut Onda *et al* (2008) telah berhasil mengkonversi selulosa menjadi glukosa dengan yield sebesar 7,3 % menggunakan katalis zeolit H-MOR (Si/Al = 10). Akan tetapi ada beberapa kasus, morfologi katalis zeolit MOR dengan ukuran pori yang lebih besar dibandingkan H- β , H-ZSM-5, dan H-FAU lebih menguntungkan untuk reaksi hidrolisis selulosa (Hu *et al.*, 2015). Hal tersebut didasarkan pada fakta bahwa selulosa (β -1,4-glikosidik) harus masuk ke pori-pori yang mengandung situs aktif agar reaksi dapat berlangsung (Zhou *et al.*, 2013).

Dengan demikian, pada penelitian ini dilakukan sintesis zeolit mordenit (MOR) Pori Hirarki menggunakan silika dari abu ampas tebu (SCBA) menggunakan metode hidrotermal dan akan dikarakterisasi menggunakan *X-Rays Diffraction* (XRD) untuk mengetahui kristal zeolit yang dihasilkan, dan *Brunauer-Emmett-Teller* (BET) untuk mengetahui luas permukaan dan ukuran pori, kemudian zeolit mordenit (MOR) yang dihasilkan akan diuji aktivitas katalitiknya pada reaksi hidrolisis selulosa kulit singkong untuk memproduksi glukosa. Karakterisasi glukosa yang dihasilkan dianalisis dengan menggunakan Spektrofotometri *UV-Vis*.

1.2 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengekstraksi dan mengkarakterisasi silika dari abu ampas tebu sebagai prekursor dalam sintesis zeolit Mordenit (MOR) pori hirarki.
2. Mensintesis dan mengkarakterisasi zeolit mordenit (MOR) pori hirarki berbasis silika abu ampas tebu menggunakan pati sebagai bio-mesoporogen menggunakan metode hidrotermal.
3. Menguji aktivitas katalitik zeolit Mordenit (MOR) pori hirarki berbasis silika abu ampas tebu sebagai katalis pada hidrolisis selulosa kulit singkong.

1.3 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian yang dilakukan adalah untuk meningkatkan pemanfaatan ampas tebu sebagai sumber silika-alumina ramah lingkungan pada

sintesis zeolit-MOR yang digunakan sebagai katalis reaksi hidrolisis selulosa limbah kulit singkong untuk memproduksi glukosa sehingga menghasilkan nilai jual yang tinggi.

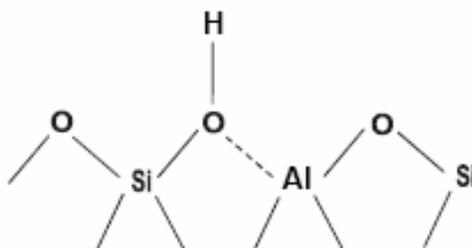
II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Zeolit

Zeolit merupakan kelompok material aluminosilikat yang memiliki pori berukuran kurang dari 2 nm dan terdiri dari susunan unit tetrahedral $[\text{SiO}_4]^{4-}$ dan $[\text{AlO}_4]^{5-}$ yang saling berhubungan (Xu *et al.*, 2007; Corma *et al.*, 2013; Kadja *et al.*, 2013; Pan *et al.*, 2014). Pada umumnya zeolit memiliki komposisi kimia yaitu $M^c/a_b[(\text{AlO}_2)_a(\text{SiO}_2)_y] \cdot c\text{H}_2\text{O}$, dimana M melambangkan kation logam alkali atau logam alkali tanah, b melambangkan kation logam valensi tanah, c merupakan jumlah air kristalisasi per unit sel, a dan y mewakili jumlah tetrahedral $[\text{SiO}_4]^{4-}$ dan $[\text{AlO}_4]^{5-}$ dalam sel satuan zeolit (Chiang and Chao, 2001; Lakiss *et al.*, 2020). Zeolit merupakan material kristal aluminosilikat hidrat dari logam alkali atau alkali tanah mengandung rongga-rongga berisi ion logam (Gougazeh dan Buhl, 2013). Rongga tersebut biasanya diisi oleh ion logam alkali atau alkali tanah dan molekul air yang dapat bergerak bebas (Chetam, 1992). Ion logam tersebut menyeimbangkan muatan negatif yang dimiliki oleh $[\text{AlO}_4]^{5-}$ dan dapat berpindah posisi melalui pertukaran kation (Flanigen *et al.*, 2010).

Zeolit banyak digunakan dalam bidang katalisis heterogen, pemisahan dan pertukaran ion, adsorpsi, dan membran (Huang *et al.*, 2010). Zeolit mempunyai kerangka yang tersusun dari satuan-satuan tetrahedral $[\text{SiO}_4]^{4-}$ dan $[\text{AlO}_4]^{5-}$ dengan atom oksigen sebagai penghubung antara atom silikon dan aluminium yang digabungkan secara tiga dimensi, ditunjukkan sebagai TO_4 , T = Si atau Al. Penggabungan satuan tetrahedron satu dengan lainnya terjadi adanya pemakaian bersama satu atom oksigen oleh dua tetrahedral, seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 1. Tetrahedral $[\text{AlO}_4]^{5-}$ bermuatan negatif, sehingga

zeolit alam dan zeolit sintesis memerlukan kation logam alkali (Na^+ , K^+) dan atau alkali tanah (Ca^{2+} , Ba^{2+}) sebagai pusat penyeimbang muatan untuk menjaga kenetralan muatan zeolit (Smart dan Moore, 1993).

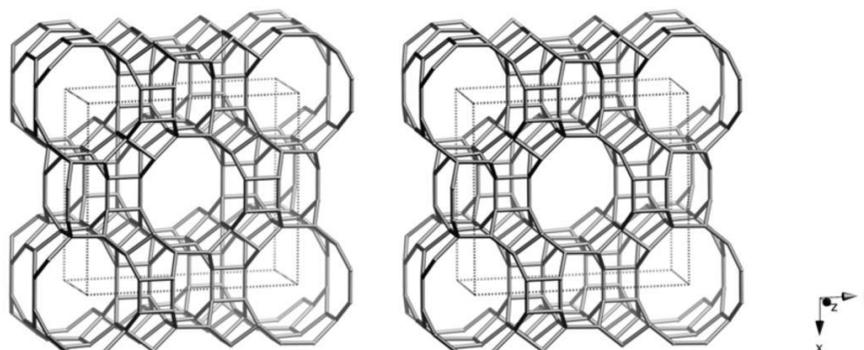


Gambar 1. Kerangka zeolit (Smart dan Moore, 1993)

Tetrahedron TO_4 ($\text{T} = \text{Si}$ atau Al) merupakan unit pembangun primer (*primary building units*, PBU) yang dapat digabungkan dengan berbagai cara untuk membentuk unit pembangun sekunder (*secondary building units*, SBU). Sebagai contoh adalah struktur cincin-4 (dibangun oleh 4 unit TO_4), ganda cincin-4 (dibangun oleh dua cincin-4) dan sebagainya. Penomoran SBU dihubungkan dengan jumlah ikatan tetrahedron TO_4 (Baerlocher, 2001).

2.2 Zeolit Mordenit

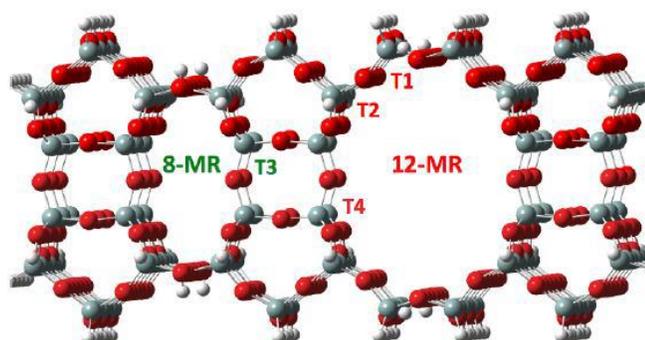
Mordenit merupakan mineral zeolit yang langka, dengan rumus empiris $(\text{Ca}, \text{Na}_2, \text{K}_2)\text{Al}_2\text{Si}_{10}\text{O}_{24} \cdot 7\text{H}_2\text{O}$. Mordenit adalah salah satu zeolit sintetik yang memiliki rumus kimia $\text{Na}_8\text{Al}_8\text{Si}_{40}\text{O}_{96} \cdot n\text{H}_2\text{O}$. Sistem kristal mordenit adalah ortorombik seperti ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Kerangka struktur zeolit mordenit (Zhang *et al.*, 2011)

Mordenit biasanya ditemukan dalam batuan vulkanik bersama-sama dengan stilbit dan heulandit. Mordenit ditemukan pertama kali oleh Henry How, dan nama Mordenit diberikan berdasarkan nama satuan komunitas “Morden” (Rahmawati, 2008).

Struktur zeolit MOR berbentuk ortorombik dengan satu dimensi. Zeolit MOR memiliki saluran paralel, pada cincin pertama beranggota 12 sepanjang arah sumbu c dengan diameter 7,5 Å diklasifikasikan sebagai pori-pori besar. Cincin kedua beranggota 8 sepanjang sumbu b tegak lurus dengan yang pertama dan cincin ini memiliki pori-pori bukaan $3,4 \times 4,8$ Å. Zeolit MOR memiliki rasio Si/Al ≥ 5 yang membuatnya sangat tahan terhadap panas dan pengaruh kimia. Sifat-sifat ini menjadikan MOR penting dalam banyak aplikasi industri seperti hidroisomerisasi, alkilasi, *dewaxing*, *reforming*, dan reaksi perengkahan (Zhang *et al.*, 2011). Distribusi situs asam pada zeolit MOR setelah proses *ion exchange* ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Distribusi situs asam dalam cincin beranggota 8 dan 12 (8-, 12-MR) dari MOR (Reule *et al.*, 2018)

Pada Gambar 3, distribusi situs asam pada zeolit MOR setelah proses *ion exchange* dimana Zeolit MOR terdiri dari cincin lurus beranggota 12 (12-MR) ($0,65 \text{ nm} \times 0,70 \text{ nm}$), saluran 8-MR terkompresi ($0,26 \text{ nm} \times 0,57 \text{ nm}$) sejajar dengan sumbu c, dan tambahan saluran 8-MR ($0,34 \text{ nm} \times 0,48 \text{ nm}$) di sepanjang sumbu b. Namun, MOR umumnya disebut sebagai zeolit satu dimensi karena saluran 8-MR terlalu kecil untuk dimasukkan sebagian besar molekul dalam proses katalitik (Reule *et al.*, 2018).

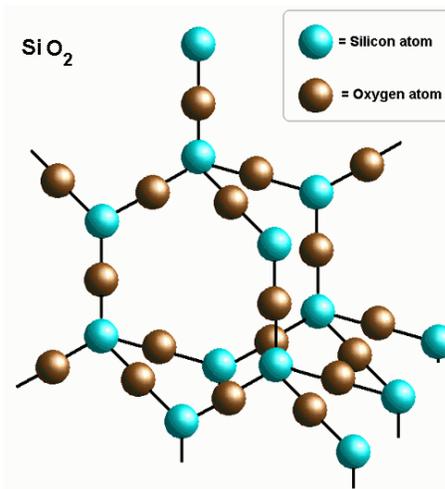
2.3 Ampas Tebu

Ampas tebu adalah hasil samping dari proses penghancuran dan ekstraksi (pemerahan) cairan tebu (Anshori, 2008) dan juga merupakan bahan sisa berserat dari batang tebu yang telah mengalami ekstraksi niranya pada industri pengolahan gula pasir. Ampas tebu juga dapat dikatakan sebagai produk pendamping, karena ampas tebu sebagian besar dipakai langsung oleh pabrik gula sebagai bahan bakar ketel untuk menghasilkan energi yang diperlukan selama proses produksi pembuatan gula, yaitu sekitar 10,2 juta ton per tahun (97,4 % produksi ampas). Ampas tebu merupakan sisa dari bagian batang tebu dalam proses ekstraksi tebu yang memiliki kadar air berkisar 46-52 %, kadar serat 43-52 % dan padatan terlarut sekitar 2-6 %. Berdasarkan data dari Pusat Penelitian Perkebunan Gula Indonesia (P3GI), ampas tebu yang dihasilkan sebanyak 32 % dari berat tebu yang digiling. Dari jumlah tersebut, 60 %-nya digunakan untuk bahan bakar ketel. Selain dimanfaatkan sebagai bahan bakar pabrik, dapat juga dimanfaatkan sebagai bahan baku untuk serat dan partikel untuk papan, plastik dan kertas serta media untuk budidaya pertumbuhan jamur merang. Selain itu, ampas tebu juga dapat dimanfaatkan untuk pembuatan etanol dan bahan penyerap (adsorben) zat warna.

2.4 Silika

Silika merupakan senyawa antara silikon dengan oksigen. Ikatan antara silikon dan oksigen membentuk struktur tetrahedron, sebagaimana digambarkan pada Gambar 4. Bentuk umum silika adalah *quartz* (kwarsa), yang terdapat pada sebagian besar batuan sedimen alam dari batuan metaforik. Silika terdapat dalam tiga macam bentuk

kristalin pada temperatur kamar antara lain: *quartz*-kwarsa (stabil hingga 870°C), tridmit (stabil 870-1470) °C dan kristobalit (stabil 1470-1710) °C, ketiganya tidak dapat saling terbentuk. Setiap bentuk berada dalam modifikasi temperatur rendah (α) dan temperatur tinggi (β) dengan temperatur transisi kira-kira 573°C untuk kwarsa, 120-160 °C untuk tridmit, dan 200-275 °C untuk kristobalit. Perubahan kwarsa menjadi tridmit melibatkan perubahan ikatan-ikatan, dan oleh karena itu merupakan proses lambat, sedangkan perubahan kwarsa α dan kwarsa β melibatkan hanya sedikit distorsi bentuk tanpa pemecahan ikatan dan konsekuensinya merupakan proses yang reversibel (dapat balik). Silika banyak digunakan karena silika mudah ditemukan dan memiliki daya serap yang baik sehingga apabila digunakan dalam proses penurunan akan mendapatkan hasil yang baik pula (Sugiyarto & Kristian, 2004).



Gambar 4. Struktur tetrahedral silika (SiO_2) (Sugiyarto & Kristian, 2004)

Silika secara umum digunakan di berbagai industri (industri pasta gigi, perawatan kulit, bir/pemrosesan bir, dan pelapisan kertas) baik sebagai produk akhir maupun sebagai bahan penunjang proses industri (Affandi *et al.*, 2009). Selain itu, khususnya dalam bidang kimia silika digunakan sebagai adsorben untuk senyawa-senyawa polar, desikan, pengisi pada kolom kromatografi, sebagai isolator, dan sebagai katalis (Hindryawati, N., 2010; Mujianti, D. R., 2010). Silika mempunyai beberapa sifat yaitu mempunyai kestabilan termal dan mekanik yang cukup tinggi (Atkins, P.W., 1990), serta mampu menyerap lembab tanpa mengubah kondisi suatu zat, sehingga silika banyak digunakan

sebagai zat pengering seperti menjaga kelembaban makanan, obat-obatan, bahan sensitif, elektronik, dan film (Kalapathy *et al.*, 2002).

Adapun senyawa silika mempunyai sifat-sifat sebagai berikut:

a. Sifat fisik silika

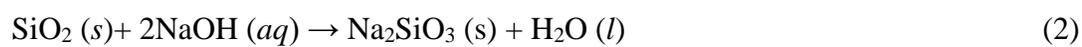
Silika mempunyai rumus molekul SiO_2 dan berwarna putih. Titik leleh silika adalah $1610\text{ }^\circ\text{C}$, sedangkan titik didihnya $2320\text{ }^\circ\text{C}$. Silika tidak larut dalam air dingin, air panas maupun alkohol tetapi dapat larut dalam HF.

b. Sifat kimia silika

- 1) Silika bersifat stabil terhadap hidrogen kecuali fluorin dan juga inert terhadap semua asam kecuali HF, dengan HF silika bereaksi menurut Persamaan 1 :



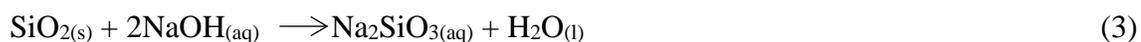
- 2) Basa pekat misalnya NaOH dalam kondisi panas secara perlahan dapat mengubah silika menjadi silikat yang larut dalam air. Seperti pada Persamaan 2 :



2.5 Ekstraksi Silika Abu Ampas Tebu

Ekstraksi merupakan salah satu metode pemisahan dua atau lebih komponen dengan menambahkan suatu pelarut yang tepat. Menurut penelitian Vaibhav *et al.* (2015) menjelaskan bahwa metode ekstraksi silika dari SCBA menggunakan proses pelarutan dan pengendapan asam. Secara umum ekstraksi silika ampas tebu dengan larutan alkali (NaOH) dapat ditingkatkan atau dipermudah dengan dilakukannya proses *pretreatment* terhadap ampas tebu. Proses *pretreatment* ampas tebu ini dapat dilakukan secara *thermal* (pembakaran) dan secara *non thermal* (tanpa pembakaran). Beberapa penelitian telah dilakukan ekstraksi silika dengan proses *pretreatment* ampas tebu secara *thermal* (pembakaran), dimana hasil pembakaran ampas tebu menghasilkan abu ampas tebu (*sugarcane bagasse ash/SCBA*) yang mengandung kadar silika cukup tinggi yaitu sekitar 50-70 % (Souza *et al.*, 2011).

Ekstraksi silika dari ampas tebu dilakukan dengan metode alkali dan untuk memurnikan silika menggunakan larutan asam. Pelarut alkali digunakan karena silika memiliki kelarutan yang rendah pada $\text{pH} < 10$, dan meningkat secara tajam pada $\text{pH} > 10$. Selain itu, metode ekstraksi silika menggunakan larutan alkali sederhana dan biayanya relatif lebih murah (Kalapaty *et al.*, 2002). Pelarut NaOH akan menembus kapiler-kapiler dalam abu dan melarutkan silika dengan cara difusi. Adanya gaya adhesi menyebabkan terjadinya pemisahan larutan silika dalam kuantitas tertentu dalam abu ampas tebu. Larutan silika yang terbentuk ini adalah natrium silika yang merupakan reaksi antara NaOH dan silika abu ampas tebu (Paramitha *et al.*, 2019). Mekanisme reaksi ditunjukkan pada Persamaan 3.



Larutan NaOH mengalami disosiasi sempurna sehingga terbentuk ion Na^+ dan OH^- di dalam air. Selanjutnya, terjadi reaksi adisi antara ion OH^- dengan atom Si-O pada SiO_2 , sehingga diperoleh SiO_2OH yang tidak stabil. Kemudian, ion OH^- kedua menyerang H^+ pada gugus OH dalam SiO_2OH sehingga membentuk molekul air dan SiO_3^{2-} . Dua ion Na^+ akan menyeimbangkan muatan negatif yang terbentuk dan berinteraksi dengan ion SiO_3^{2-} membentuk Na_2SiO_3 (Aeni *et al.*, 2017).

Rilyanti *et al.* (2020) telah mengekstraksi silika dari ampas tebu menggunakan metode alkali dan presipitasi asam. Sebelum diekstraksi ampas tebu dicuci dan dipanaskan dengan HNO_3 2,5 % dengan perbandingan 1:25 hingga mendidih. Hasil pencucian selanjutnya dikeringkan pada suhu 100°C dan dibakar pada suhu 600°C selama 5 menit. Abu yang didapatkan selanjutnya diekstraksi menggunakan NaOH 2 M. Natrium silikat yang terbentuk ditambahkan HNO_3 10 % hingga terbentuk gel pada pH 7. Gel yang diperoleh dicuci dan dikeringkan hingga terbentuk silika. Berdasarkan analisis XRF didapatkan komposisi silika sebesar 85,5 % dan alumina sebesar 12,16 %. Untuk mempermudah reaksi, pembentukan gel biasanya polimerisasi tidak dimulai dengan melarutkan silika (SiO_2) langsung, tetapi dengan mereaksikan Na_2SiO_3 dengan asam. Reaksi ini langsung menghasilkan garam yang sifatnya larut dalam air sehingga bentuk

gel terjaga dari awal reaksi sampai akhir. Reaksi natrium silikat dengan hidroklorik asam ditunjukkan pada Persamaan 4:



2.6 Sintesis Zeolit

Sintesis zeolit pada laboratorium berbeda jauh dengan proses alami, karena sintesis laboratorium dilakukan pada sistem tertutup. Upaya awal untuk mensintesis zeolit difokuskan meniru kondisi geologi, terutama kondisi yang memungkinkan terjadinya rekristalisasi zeolit. Sintesis laboratorium telah berkembang dengan menduplikasi kondisi dimana zeolit alam terbentuk. Namun, kondisi yang tidak pernah dapat diduplikasi adalah waktu kristalisasi, yang mencakup 1000 tahun atau lebih. Sistem laboratorium beroperasi pada pH tinggi (>12, biasanya >14 untuk aluminosilika dan >7 untuk zeolit aluminofosfat) dan suhu yang lebih tinggi dengan demikian menghasilkan kristal yang lebih kecil. Mayoritas zeolit sintetik terbentuk di bawah kondisi non-equilibrium dan fase metastabil diproduksi pada kondisi jenuh. Hasil penelitian menunjukkan bahwa, semakin sedikit fase stabil, semakin besar kemungkinan pengintian dan kristal dapat tumbuh dengan cepat (Noviyanti *et al.*, 2017)

Zeolit sintetik mewakili struktur metastabil, yang di sintesis pada kondisi laboratorium untuk menghasilkan jenis zeolit lain yang lebih stabil dengan penambahan kation (anorganik dan organik). Reaksi hidrotermal terjadi pada suhu reaksi rendah, kristal penyusun zeolit tumbuh pada atau di bawah suhu 100 °C karena laju reaksi yang diberikan sudah memadai. Sampai saat ini, bidang zeolit sintetik masih terus berkembang sehingga menghasilkan penemuan zeolit sintesis dengan topologi dan absorpsi katalis baru dengan pemisahan sifat khusus. Umumnya, ada tiga proses yang digunakan untuk memproduksi zeolit, yaitu:

1. Pembuatan serbuk zeolit dengan kemurnian kristal yang tinggi.
2. Konversi mineral tanah liat menjadi zeolit.
3. Proses lainnya yang berbasis pada penggunaan bahan baku yang terjadi secara alami.

Metode hidrotermal untuk sintesis zeolit melibatkan beberapa langkah dasar dengan beberapa campuran seperti Si dan Al, kation logam, molekul organik, dan air, yang akan dikonversi melalui larutan basa jenuh menjadi kristal aluminosilikat mikroporous. Proses kimia yang kompleks terlibat dalam transformasi dapat dinotasikan sebagai *zeolitization*.

Kemampuan zeolit sintetik sebagai penyaring molekuler, katalis, dan penukar ion sangat tergantung dari perbandingan Al dan Si, sehingga dikelompokkan menjadi tiga jenis zeolit, yaitu:

1. Zeolit dengan kadar Si rendah

Zeolit jenis ini banyak mengandung Al, berpori, mempunyai nilai ekonomi tinggi dengan kadar $\text{Si/Al} = 2$ karena efektif untuk pemisahan atau pemurnian dengan kapasitas besar. Volume porinya dapat mencapai 0,5 dari volume zeolit. Kadar maksimum Al dicapai jika perbandingan Si/Al mendekati 1 dan keadaan ini mengakibatkan daya penukaran ion maksimum.

2. Zeolit dengan kadar Si sedang

Zeolit ini mempunyai perbandingan kadar $\text{Si/Al} = 5$. Kerangka tetrahedral Al dari zeolit jenis ini tidak stabil terhadap asam dan panas, namun ada pula zeolit yang mempunyai perbandingan $\text{Si/Al} = 5$ yang sangat stabil yaitu zeolit mordenit.

3. Zeolit dengan kadar Si tinggi

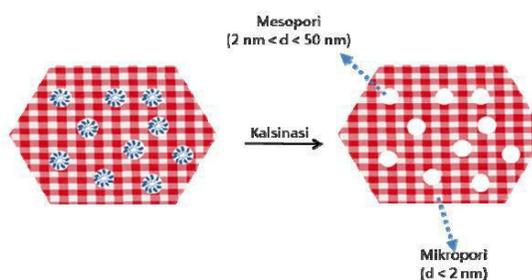
Zeolit ini mempunyai perbandingan $\text{Si/Al} > 5$. Sangat higroskopis dan menyerap molekul non-polar sehingga baik digunakan sebagai katalisator asam untuk hidrokarbon.

Beberapa penelitian tentang sintesis zeolit terus mengalami perkembangan. Agen pengarah struktur (SDA), atau sering disebut juga dengan *template*, biasanya digunakan untuk mengarahkan pembentukan dan menstabilkan kerangka zeolit contohnya seperti, kation tetrapropylammonium, baik dalam bentuk hidroksida (TPAOH) atau dalam bentuk garam, bromida (TPABr) yang banyak digunakan, atau campuran garam dan hidroksida (Javdani *et al.*, 2019). Sintesis zeolit MOR dilakukan dengan penambahan *template* organik sebagai pengarah struktur kristalisasi zeolit.

2.7 Zeolit Pori Hierarki

Zeolit hierarki merupakan zeolit dengan jaringan interkoneksi yang tinggi antara mikropori dengan meso dan/atau makropori. Material ini banyak menarik perhatian dikarenakan mampu memberikan laju reaksi yang lebih tinggi, selektivitas yang lebih baik, serta memiliki daya tahan terhadap deaktivasi yang lebih lama dibandingkan zeolit konvensional (Khaleel *et al.*, 2014). Struktur hierarki zeolit memfasilitasi molekul-molekul berukuran besar untuk dapat masuk ke dalam situs aktif pada kristal zeolit, sementara itu keasaman dan kristalinitas zeolit dapat tetap dipertahankan. Selama reaksi katalitik, reaktan masuk ke dalam situs aktif melalui saluran mesopori untuk menjalankan reaksi katalitik yang kemudian dihasilkan produk yang keluar melalui saluran mesopori. Adanya pori hierarki mengurangi keterbatasan difusi pada zeolit mikropori, sehingga daya tahan katalis mampu bertahan lebih lama (Pan *et al.*, 2019).

Sintesis zeolit hierarki biasanya menggunakan dua metode umum seperti *top-down* dan *bottom-up*. Metode *top-down* yang dilakukan melalui *post-treatment* menghasilkan limbah asam dan basa dalam jumlah yang besar dari proses dealuminasi maupun desilikasi kerangka zeolit. Di sisi lain, metode *bottom-up* merupakan metode yang menggunakan bantuan cetakan organik/anorganik untuk membentuk mesopori. Bagaimanapun, setelah digunakan cetakan mesopori tersebut perlu dihilangkan melalui pembakaran sehingga teknik ini dinilai menggunakan terlalu banyak energi disamping menghasilkan limbah organik dalam jumlah yang besar (Pan *et al.*, 2019). Bentuk ilustrasi dari zeolit pori hierarki dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Ilustrasi zeolit pori hierarki (Kadja *et al.*, 2013)

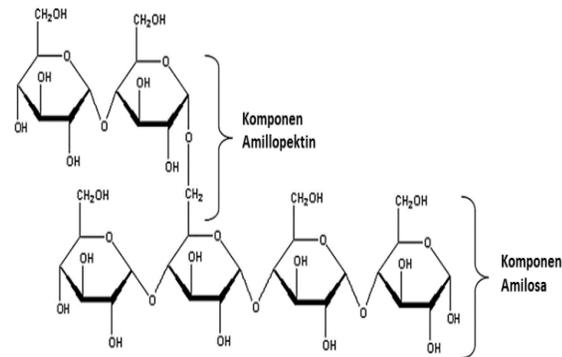
Zeolit MOR memiliki sistem pori dua dimensi dengan saluran pori utama dengan ukuran 6,5 x 7,0 Å (12-MR) yang tidak saling terhubung dengan saluran pori kecil berukuran 2,6 x 5,7 Å (8-MR) (Dai *et al.*, 2017). Adanya saluran pori kecil pada 8-MR menyebabkan zeolit MOR memiliki hambatan difusi ketika dihadapkan dengan reaksi yang melibatkan molekul yang relatif besar. Kondisi ini membuat zeolit MOR menjadi rentan terdeaktivasi akibat terbentuknya kokas yang menghambat akses molekul untuk berdifusi ke situs aktif zeolit (Xiangfeng *et al.*, 2009). Oleh karena itu zeolit MOR dapat dikatakan hanya memiliki saluran pori satu-dimensi. Saat ini, istilah "Zeolit Pori Hierarki" pada penelitian terkait sintesis zeolit telah berkembang begitu pesat dalam mengatasi keterbatasan difusi molekul dari zeolit. Sistem pori hierarki merupakan sistem pori yang menghadirkan pori tambahan yang berukuran baik mesopori (2-50 nm) maupun makropori (50 nm) yang saling terhubung pada sistem pori zeolit dan minimal terdapat dua level pori pada kerangka zeolit. Pori tambahan tersebut diharapkan dapat mengurangi hambatan difusi pada zeolit MOR yang menyebabkan mudahnya akses keluar masuk suatu molekul besar baik sebagai reaktan maupun produk dari situs aktif zeolit pada sistem pori tersebut (Liu *et al.*, 2015).

2.8 Biomesoporogen

Pemanfaatan biomesoporogen juga dilakukan pada penelitian Che *et al.*, 2019 menggunakan sukrosa, selulosa, dan pati untuk mensintesis zeolit ZSM-5 hirarkis. Penggunaan pati sebagai mesoporogen pada sintesis zeolit menunjukkan hasil yang paling baik. Bahan biomesoporogen terdiri dari mesoporogen yang berkelanjutan, berbiaya rendah, dan umumnya berasal dari alam. Pemanfaatan jenis biomesoporogen tersebut untuk sintesis zeolit hirarkis telah banyak dilaporkan. Pada penelitian White *et al.*, 2014 mesoporogen ramah lingkungan berbiaya rendah berdasarkan monolitik yang berasal dari karbonisasi biomassa *N-carbonaceous* (NDC) telah digunakan sebagai *hard* templet untuk sintesis zeolit hirarki melalui impregnasi dan metode hidrotermal. Templet NDC berasal dari prekursor gula dan prekursor telur.

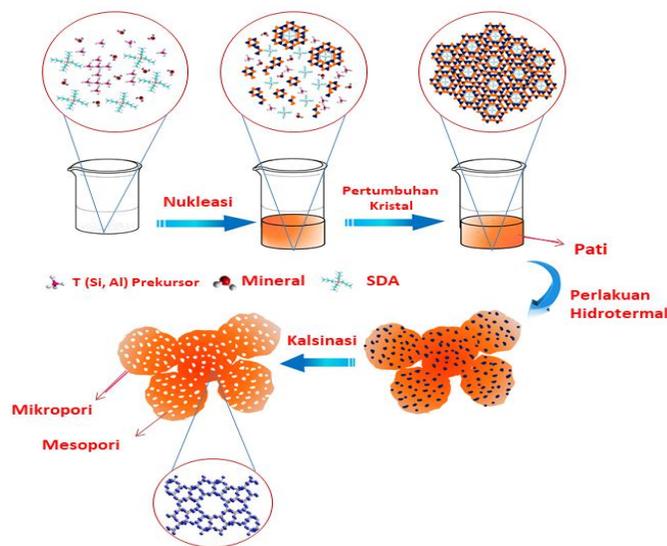
Pati merupakan campuran dari amilosa dan amilopektin yang tersusun di dalam granula pati. Amilosa merupakan polimer linier yang mengandung 500 - 2000 unit glukosa yang terikat oleh ikatan α -(1,4) sedangkan amilopektin selain mengandung ikatan α -(1,4) juga mengandung ikatan α -(1,6) sebagai titik percabangannya (Smith, 1982; Swinkels, 1985; Pomeranz, 1991). Fraksi amilosa dalam granula pati pada umumnya berkisar 22-26 %, sedangkan amilopektin antara 74-78 %. Kandungan amilosa pada pati ubi kayu sekitar 18%, pada pati jagung sekitar 26 %, dan pada pati ubi rambat sekitar 20 % (Whistler dan Smart, 1953).

Granula pati tidak larut dalam air dingin tetapi akan mengambang dalam air panas. Apabila suspensi pati dipanaskan sampai suhu 60-70 °C granula pati yang berukuran relatif besar akan membengkak sangat cepat. Jika suhu pemanasan terus meningkat, granula yang lebih kecil ikut membengkak hingga seluruh granula pati membengkak secara maksimal. Bentuk mikroskopis granula menandakan sumber patinya. Konstituen utama pati adalah amilosa (15-20 %) yang mempunyai struktur helik tak bercabang dan memberikan warna biru dengan iodine serta dengan jelas cenderung terjadi retrogradasi dan amilopektin (80-85 %) yang tersusun dari rantai bercabang dan hanya memberikan warna merah dengan iodine karena tidak terbentuk heliks serta sedikit cenderung terjadi retrogradasi (Muljohardjo, 2007). Beberapa tahun terakhir, pati telah dimanfaatkan sebagai mesoporogen pada sintesis zeolit hirarki. Penggunaan pati sebagai mesoporogen jauh lebih menguntungkan dibandingkan material karbon, karena ditinjau dari harganya pati relatif murah, mudah didapatkan, memiliki struktur kompleks yang memungkinkan untuk mensintesis material dengan dengan struktur dan morfologi yang unik, dan tentunya pati bersifat ramah lingkungan (Zhang *et al.*, 2010). Struktur pati ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Struktur dasar pati terdiri dari amilosa dan amilopektin (Masina *et al.*, 2017)

Pati memiliki gugus hidroksil sangat melimpah, yang membuatnya mudah terdispersi ke dalam larutan sintesis. Gugus hidroksil tersebut akan berinteraksi dengan gugus hidroksil pada zeolit melalui ikatan hidrogen dan setelah kalsinasi didapatkan mesopori zeolit (Wang *et al.*, 2009). Sabarish dan Unnikrishnan, (2019) melaporkan penggunaan pati sebagai bio-mesoprogen yang ditunjukkan pada Gambar 7 skema pembuatannya dalam sintesis ZSM-5.



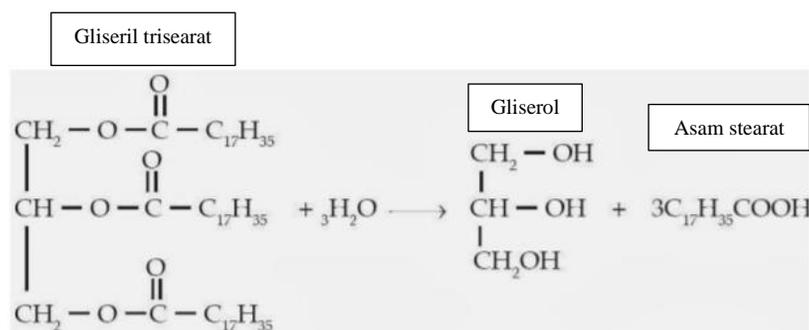
Gambar 7. Skema pembentukan mesopori ZSM-5 (Sabarish dan Unnikrishnan, 2019)

Penelitian Che *et al.*, 2019 juga mempelajari pengaruh perbedaan mesoprogen alami (pati, selulosa, sukrosa) pada sintesis ZSM-5. Pati, selulosa dan sukrosa ditambahkan sebanyak 10 % dalam gel zeolit dan selanjutnya disintesis secara hidrotermal pada suhu

180 °C selama 48 jam. Variasi mesoporogen menghasilkan kristalinitas ZSM-5 yang berbeda. Menurut Penelitian Triyono *et al.*, (2021) menyatakan sintesis zeolit mordenit (MOR) dengan menggunakan mesoporogen alami yaitu selulosa dengan cara menambahkan selulosa sebanyak 25 gram dalam gel zeolit dan selanjutnya disintesis. Oleh karena itu, pati tidak hanya diaplikasikan sebagai mesoporogen zeolit hirarki, tetapi juga sebagai mesoporogen pada sintesis material berpori lainnya seperti nanomaterial perak (Kim *et al.*, 2013), silika (Matmin, 2019) dan titania mesopori (Budi *et al.*, 2010).

2.9 Reaksi Hidrolisis

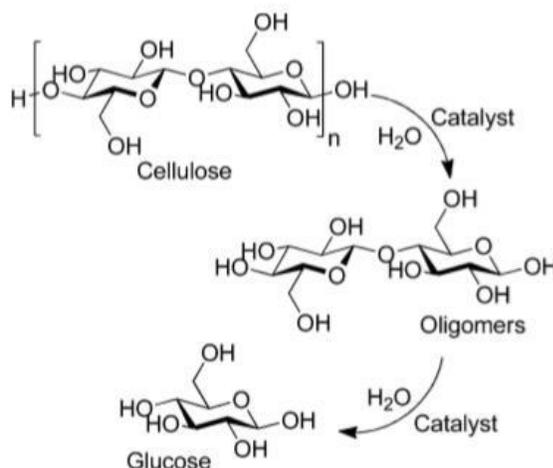
Hidrolisa merupakan pengikatan gugus hidroksil (-OH) oleh suatu senyawa. Gugus -OH dapat diperoleh dari air. Hidrolisis dapat digolongkan menjadi hidrolisis murni, hidrolisis katalis asam, hidrolisis katalis basa, gabungan alkali dengan air dan hidrolisis dengan katalis enzim. Berdasarkan fase reaksi hidrolisis dikelompokkan menjadi hidrolisis fase cair dan fase uap. Hidrolisis minyak nabati dapat dilakukan pada tekanan rendah akan tetapi reaksinya berlangsung lambat sehingga diperlukan katalisator, misalnya H₂SO₄. Katalisator tidak diperlukan, jika hidrolisis dilakukan pada tekanan sangat tinggi yaitu 700 psia dan 485 °F dan konversi yang dicapai > 90 %. Pada proses hidrolisis, air memecah gugus alkil dalam trigliserida minyak menjadi asam lemak dan gliserol (Anggawijaya, 2016). Reaksi yang terjadi ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Reaksi hidrolisis (Anggawijaya, 2016)

Reaksi hidrolisis selulosa menjadi glukosa merupakan sebuah langkah awal reaksi-reaksi *biorefinery* yang merupakan reaksi-reaksi penting dalam transformasi rantai selektif

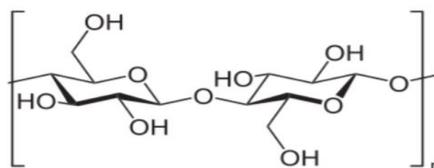
(Kobayashi *et al.*, 2013). Proses hidrolisis dipengaruhi oleh beberapa parameter antara lain suhu reaksi, waktu reaksi, konsentrasi asam (katalis), dan kadar suspensi pati (Mastuti dan Setyawardhani, 2010). Skema reaksi hidrolisis selulosa ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Skema hidrolisis selulosa menjadi glukosa (Kobayashi *et al.*, 2013)

2.10 Selulosa

Selulosa merupakan polimer dengan rumus kimia $(C_6H_{10}O_5)_n$, n adalah jumlah pengulangan unit gula atau derajat polimerisasi yang harganya bervariasi berdasarkan sumber selulosa dan perlakuan yang diterimanya. Kebanyakan serat untuk pembuat pulp mempunyai derajat polimerisasi 600-1.500. Selulosa terdapat pada sebagian besar dalam dinding sel dan bagian-bagian berkayu dari tumbuh-tumbuhan. Selulosa mempunyai peran dalam menentukan karakter serat dan memungkinkan penggunaannya dalam pembuatan kertas. Molekul selulosa seluruhnya berbentuk linier dan mempunyai kecenderungan kuat membentuk ikatan-ikatan hidrogen, baik dalam satu rantai polimer selulosa maupun antar rantai polimer yang berdampingan. Ikatan hidrogen ini menyebabkan selulosa bisa terdapat dalam ukuran besar dan memiliki sifat kekuatan tarik yang tinggi (Azhary dan Dodi, 2010). Struktur Selulosa ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Struktur selulosa (Perez *et al.*, 2002)

Unit penyusun selulosa adalah selobiosa karena unit keterulangan dalam molekul selulosa adalah 2 unit gula (D-glukosa). Rantai lurus tersebut saling berhubungan melalui ikatan hidrogen dan gaya Van Der Waals (Perez *et al.*, 2002). Adanya ikatan hidrogen serta gaya Van Der Waals, menyebabkan struktur selulosa dapat tersusun secara teratur dan membentuk daerah kristalin. Di samping itu, juga terbentuk rangkaian struktur yang tidak tersusun secara teratur yang akan membentuk daerah nonkristalin atau *amorf*. Selulosa mengandung sekitar 50-90 % bagian berkristal dan sisanya bagian *amorf* (Shuangqi *et al.*, 2011).

Adanya interaksi Van der Waals dan ikatan hidrogen yang terjadi pada intramolekuler dan intermolekuler pada selulosa juga menjadikan selulosa stabil secara kimia, memiliki struktur yang kaku, dan tak larut dalam pelarut air maupun pelarut non-organik sehingga *pre-treatment* pada selulosa memainkan peranan yang penting pada keberhasilan konversi selulosa (Gupta *et al.*, 2015).

2.11 Glukosa

Glukosa, suatu gula monosakarida, adalah salah satu karbohidrat terpenting yang digunakan sebagai sumber tenaga bagi hewan dan tumbuhan. Glukosa merupakan salah satu hasil utama fotosintesis dan awal bagi respirasi. Bentuk alami disebut juga dekstrosa, terutama pada industri pangan. Glukosa merupakan aldehida polihidroksi lima karbon dan satu oksigennya membentuk cincin piranosa, bentuk paling stabil untuk aldose berkarbon enam (Fessenden dan Fessenden, 1982). Gula ditemukan dalam berbagai jenis buah-buahan dan sayuran, mereka juga digunakan secara komersial sebagai aditif untuk meningkatkan rasa makanan dan minuman olahan. Fermentasi bioetanol dapat

didefenisikan sebagai proses penguraian gula menjadi bioetanol dan karbondioksida yang disebabkan enzim yang dihasilkan oleh massa sel mikroba. Fungsi fermentasi pada glukosa adalah untuk menghasilkan bioetanol (Syamsul Basri *et al.*, 2018). Glukosa dapat diproduksi dari selulosa dengan memutus ikatan β -1,4-glikosidik melalui proses hidrolisis yakni, pemecahan suatu molekul karena pengikatan air, menghasilkan molekul-molekul yang lebih kecil (Adeks *et al.*, 2016) dengan katalis asam atau enzim (selulase).

2.12 Ampas Singkong

Singkong merupakan tanaman perdu yang berasal dari benua Amerika, tepatnya dari negara Brasil, tanaman ini masuk ke Indonesia pada tahun 1852 (Purwono, 2009). Produktivitas singkong di Indonesia sebesar 22.677.866 ton, sedangkan di Jawa Timur produktivitas singkong mencapai 5 juta ton (Badan Pusat Statistika, 2012). Singkong segar mempunyai komposisi kimia antara lain 60 ml kadar air, 35 gram pati, 2,5 gram serat kasar, 1gram kadar protein, 0,5 gram kadar lemak dan 1 gram kadar abu (Prabawati, 2011). Tanaman ini merupakan bahan baku yang paling potensial untuk diolah menjadi tepung. Proses pengolahan singkong menjadi tepung tapioka, dari 1 ton singkong menghasilkan ampas sekitar 0,1 ton (Naufalina, 2004). Limbah tersebut berupa limbah padat onggok dan kulit singkong. Sebagian masyarakat menganggap bahwa ampas singkong merupakan limbah yang tidak dapat dimanfaatkan lagi menjadi sumber makanan. Oleh karena itu pemanfaatan ampas masih sebatas sebagai pakan ternak, padahal kulit singkong masih memiliki banyak manfaat. Menurut Retnowati dan Sutanti, (2009) menjelaskan bahwa ampas singkong dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan etanol dan juga dapat dimanfaatkan sebagai bahan pembuatan plastik yang mudah terurai *biodegradable*.

Etanol merupakan salah satu sumber energi alternatif yang dapat dijadikan sebagai energi alternatif dari bahan bakar nabati. Etanol dapat dibuat dengan beberapa cara sebagai berikut:

1. Etanol untuk konsumsi umumnya dihasilkan dengan proses fermentasi atau peragian bahan makanan yang mengandung pati atau karbohidrat, seperti beras dan umbi. Etanol

yang dihasilkan dari proses fermentasi biasanya berkadar rendah. Etanol dengan kadar yang lebih tinggi dapat diperoleh melalui proses pemurnian melalui penyulingan ataupun destilasi. Etanol untuk keperluan industri dalam skala lebih besar dihasilkan dari fermentasi tetes tebu, yaitu hasil samping dalam industri gula tebu atau gula bit.

2. Melalui sintesis kimia reaksi antara gas etilen dan uap air dengan asam sebagai katalis. Katalis yang dipakai biasanya asam fosfat. Asam sulfat juga dapat digunakan sebagai katalis, namun sangat jarang (Jeon, 2007).

Selain itu, ampas singkong juga dapat dimanfaatkan sebagai bahan sumber prebiotik. Berdasarkan penelitian Amenaghawon, *et al.*, 2014, ampas singkong mengandung selulosa 36,6 %, hemiselulosa 21,3 % dan lignin 17,3 %.

2.13 Metode Hidrotermal

Metode hidrotermal telah banyak dikembangkan tidak hanya untuk sintesis material berpori seperti zeolit tetapi juga untuk material anorganik penting seperti superionik konduktor, sensor kimia, keramik oksida kompleks, dan material magnetik (Cejka *et al.*, 2007). Metode hidrotermal merupakan metode yang paling sering digunakan untuk preparasi zeolit yang melibatkan sejumlah besar pelarut air (Zhou *et al.*, 2013).

Metode hidrotermal memiliki beberapa keuntungan yaitu tidak membutuhkan banyak biaya besar dalam eksekusinya serta memiliki tahapan yang mudah dalam pembuatan material nano (Durrani *et al.*, 2012). Menurut Wustoni *et al* (2012) metode hidrotermal juga menghasilkan kemurnian dan kristalinitas yang tinggi, seperti penelitian yang dihasilkan oleh (Siska, 2018), sintesis zeolit berhasil dilakukan menggunakan metode hidrotermal untuk proses kristalisasi dan menyeragamkan ukuran kristal. Sintesis secara hidrotermal biasanya terjadi dalam pelarut air dengan kondisi suhu dan tekanan yang tinggi (>100 °C, >1 bar). Reaksi hidrotermal dilakukan pada suhu tinggi (lebih dari 100°C) dalam autoklaf yang berfungsi menjaga laju penguapan sama dengan laju kondensasi. Alat autoklaf ditunjukkan pada Gambar 11.



Gambar 11. Autoklaf (alat sintesis secara hidrotermal) (Cejka *et al.*, 2007)

Sintesis metode hidrotermal dapat didefinisikan sebagai metode sintesis dari kristal tunggal yang tergantung pada kesolupan dari mineral pada air panas dibawah tekanan tinggi. Pertumbuhan kristal dibentuk dalam apparatus yang terdiri dari tekanan vessel baja yang disebut autoklaf, yang mana nutrisi disuplai terus bersama air. Gradien suhu ditentukan pada akhir kebalikan dari ruang pertumbuhan (Waludjotjati, 2008).

2.14 Katalis

Katalis adalah suatu zat yang mempercepat laju reaksi kimia pada suhu tertentu, tetapi tidak mengalami perubahan dan pengurangan jumlah. Laju reaksi katalis terjadi di permukaan luas pada fluida padat sehingga diterapkan pada material padat yang berpori. Kemampuan suatu katalis dalam mempercepat laju reaksi dipengaruhi oleh berbagai faktor. Faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja katalis antara lain adalah sifat fisika dan kimia katalis, kondisi operasi seperti temperatur, tekanan, laju alir, waktu kontak, jenis umpan yang digunakan, dan jenis padatan pendukung yang digunakan. Katalis yang dipreparasi dengan cara yang berbeda akan menghasilkan aktivitas dan selektivitas yang berbeda (Rieke *et al.*, 1997).

Kemampuan suatu katalis dalam suatu proses biasanya diukur dari aktivitas dan selektivitasnya. Aktivitas biasanya dinyatakan dalam persentase konversi atau jumlah produk yang dihasilkan dari jumlah reaktan yang digunakan dalam waktu reaksi tertentu, sedangkan selektivitas adalah ukuran katalis dalam mempercepat reaksi pada pembentukan suatu produk tertentu, karena terdapat banyak faktor yang mempengaruhi kinerja katalis dalam mempercepat laju reaksi, maka perlu dilakukan pemilihan katalis secara cermat sebelum menggunakan katalis dalam suatu proses tertentu. Pemilihan

katalis yang tepat dalam suatu proses dapat menyebabkan proses yang diinginkan memiliki hasil yang optimal. Pemilihan katalis yang tidak tepat dapat menyebabkan proses menjadi kurang efisien sehingga akibatnya juga menjadi kurang ekonomis. Bahkan pemilihan katalis yang tidak tepat bisa juga menyebabkan adanya efek toksisitas yang berbahaya ataupun dapat mencemari lingkungan (Dewi, 2012).

Berdasarkan fasa reaktan dan fasa katalis yang digunakan, reaksi katalitik dapat dibedakan menjadi reaksi katalitik homogen dan reaksi katalitik heterogen. Pada reaksi katalitik homogen, reaksi kimia terjadi pada fasa yang sama antara reaktan dan katalis, sedangkan pada reaksi katalitik heterogen katalis memiliki fasa yang berbeda dengan reaktan.

Dalam dunia industri, sistem katalisis heterogen lebih banyak digunakan karena memiliki beberapa keuntungan seperti yang diungkapkan oleh Nasikin dan Bambang (2010) sebagai berikut:

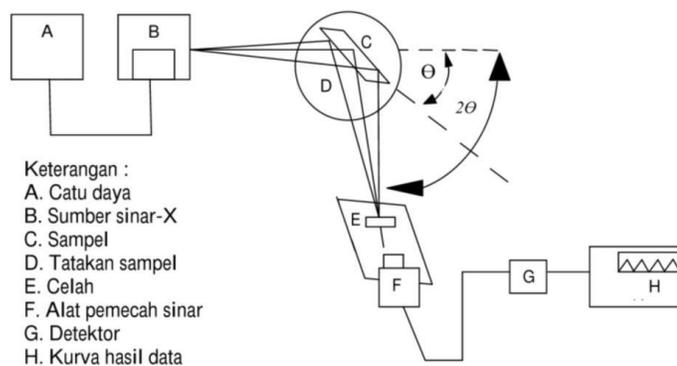
- a. Selektivitas terhadap produk yang diinginkan dapat diperoleh menggunakan sifat selektivitas bentuknya.
- b. Aktivitas intrinsik dari inti aktif dapat dimodifikasi oleh struktur padatnya.
- c. Komposisi permukaan dapat digunakan untuk meminimalisir atau meningkatkan adsorpsi dari senyawa tertentu.
- d. Katalis mudah dipisahkan dari produk dengan filtrasi dan digunakan kembali.
- e. Mengurangi atau menghilangkan limbah (biasanya garam) yang biasa dihasilkan dari netralisasi katalis homogen asam Bronsted atau Lewis.

2.15 X-Ray Diffraction (XRD)

X-Ray Diffraction (XRD) adalah metode karakterisasi yang digunakan untuk mengetahui ciri utama kristal, seperti parameter kisi dan tipe struktur. Selain itu juga dimanfaatkan untuk mengetahui rincian lain seperti susunan berbagai jenis atom dalam kristal dan orientasi kristal. Analisis menggunakan alat difraktometer sinar-X didasarkan pada pola difraksi dari paduan atau senyawa yang dihasilkan oleh proses difraksi. Ukuran panjang

gelombang sinar-X harus tidak berbeda jauh dengan jarak antar atom di dalam kristal, sehingga pola berulang dari kisi kristal akan berfungsi seolah-olah seperti kisi difraksi untuk panjang gelombang sinar-X. Suatu kristal mineral dapat ditentukan strukturnya dengan cara membandingkan pola difraksi yang dihasilkan dengan pola difraksi mineral acuan atau baku (Callister, 2009).

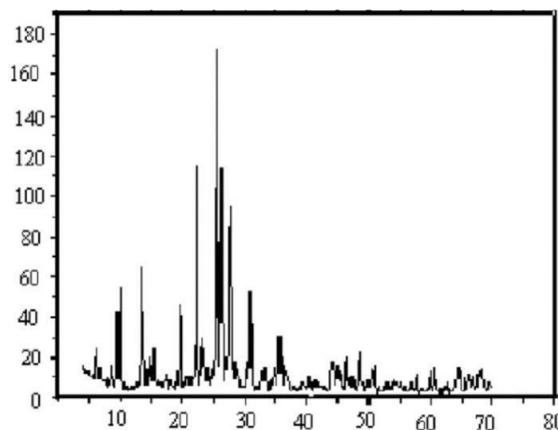
Prinsip dasar XRD adalah mendifraksi cahaya yang melalui celah kristal. Difraksi cahaya oleh kisi-kisi atau kristal ini dapat terjadi apabila difraksi tersebut berasal dari radius yang memiliki panjang gelombang yang setara dengan jarak antar atom, yaitu sekitar 1 Angstrom. Radiasi yang digunakan berupa radiasi sinar-X, elektron, dan neutron. Sinar-X merupakan foton dengan energi tinggi yang memiliki panjang gelombang berkisar antara 0,5 sampai 2,5 Å. Ketika berkas sinar-X berinteraksi dengan suatu material, maka sebagian berkas akan di absorpsi, ditransmisikan, dan sebagian lagi dihamburkan terdifraksi. Hamburan terdifraksi inilah yang dideteksi oleh XRD. Berkas sinar X yang dihamburkan tersebut ada yang saling menghilangkan karena fasanya berbeda dan ada juga yang saling menguatkan karena fasanya sama. Berkas sinar X yang saling menguatkan itulah yang disebut sebagai berkas difraksi (Suryanto, 2011). Skema alat difraksi sinar X ditunjukkan pada Gambar 12.



Gambar 12. Skema alat difraksi sinar-X (Callister, 2009)

Adapun, pola difraksi zeolit MOR hasil sintesis tersebut sesuai dengan pola difraksi standar acuan zeolit MOR yang memiliki puncak-puncak karakteristik pada 2θ yaitu 6,5; 9,8; 13,4; 23,2; dan 27,1° (Aly *et al.*, 2012), 31,1; 36,4 dan 37,0° (Gao *et al.*, 2019) dan

memiliki kekristalan yang cukup baik. Difraktogram dari zeolit MOR hasil sintesis mengindikasikan bahwa zeolit MOR hasil sintesis berfasa (Aly *et al.*, 2012). Pola difraksi sinar-X dari MOR hasil sintesis tanpa template organik di tunjukan pada Gambar 13.

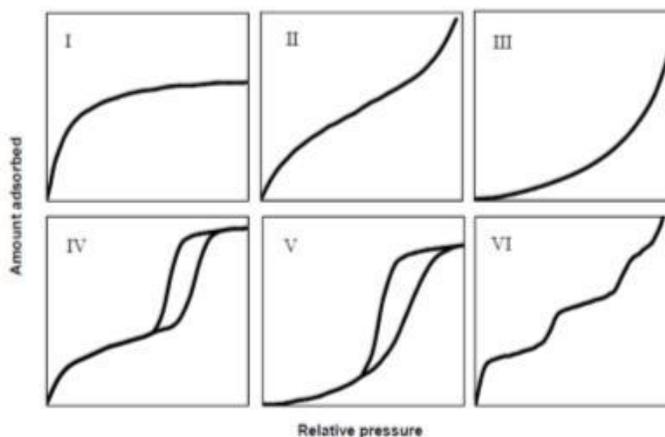


Gambar 13. Difraktogram zeolit MOR (Aly *et al.*, 2012)

2.16 Brunauer-Emmett-Teller (BET)

Mengukur luas permukaan dan porositas serbuk sulit dilakukan. Ada beberapa teknik yang langsung dan tidak langsung. Pilihan untuk pengukuran luas permukaan umumnya bermuara pada teknik yang dikenal sebagai BET. Isoterm BET merupakan salah satu metode penentuan luas permukaan zat padat dengan prinsip adsorpsi molekul gas pada permukaan padatan. Isoterm BET menyediakan informasi dasar untuk teknik analisis penentuan luas permukaan spesifik suatu material (Wibowo, 2004).

Pengukuran adsorpsi isoterm gas pada suhu mendekati titik kondensasi gas adsorbat merupakan teknik konvensional dan sederhana dalam karakterisasi padatan berpori. Teknik ini dilakukan dengan mengukur jumlah gas yang diadsorpsi (adsorbat) oleh suatu padatan pada variasi tekanan gas dalam keadaan isothermal. Penentuan jumlah adsorbat dilakukan dengan mengukur pengurangan tekanan atau volume gas setelah kondisi keseimbangan adsorpsi-desorpsi tercapai. Gas yang digunakan adalah gas yang sifatnya inert seperti nitrogen dan argon. Tipe grafik adsorpsi-desorpsi *isoterm* ditunjukkan pada Gambar 14.



Gambar 14. Tipe grafik adsorpsi-desorpsi isotherm (Perry and Green, 1997)

Tipe grafik adsorpsi-desorpsi isotherm dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

- Tipe I : Tipe ini khas terjadi untuk fisisorpsi gas pada padatan mikropori dan kemisorpsi isothermal.
- Tipe II : Tipe ini biasanya terlihat dari adsorpsi pada padatan non-pori.
- Tipe III : Grafik ini khas untuk uap, misalnya air pada padatan hidrofobik.
- Tipe IV : Tipe ini memperlihatkan loop pada histerisis yang disebabkan oleh kondensasi kapiler dalam mesopori, sehingga tipe ini khas untuk material mesopori.
- Tipe V : Grafik ini khas untuk uap seperti halnya tipe III, tetapi terlihat adanya loop histerisis yang juga disebabkan oleh kondensasi kapiler pada mesopori.
- Tipe VI : Grafik isotherm seperti anak tangga, biasanya terlihat untuk adsorpsi nitrogen pada karbon tertentu.

(Perry and Green, 1997).

2.17 X-Ray Fluorescence (XRF)

X-Ray Fluorescence (XRF) merupakan alat yang digunakan untuk menganalisa komposisi unsur yang terkandung dalam suatu sampel dengan menggunakan metode spektrometri. *X-Ray Fluorescence* (XRF) umumnya digunakan untuk menganalisa unsur dalam mineral atau batuan. Analisis unsure digunakan baik secara kualitatif maupun kuantitatif yaitu

menganalisis jenis unsur dan menentukan konsentrasi unsur dalam bahan. Kecepatan dalam penggunaan metode XRF dan dalam pengaplikasiannya tidak merusak sampel, metode ini dipilih untuk aplikasi di lapangan dan industri untuk kontrol material XRF dapat dihasilkan tidak hanya oleh sinar X tetapi juga oleh sumber eksitasi primer yang lain seperti partikel alfa, proton atau sumber electron dengan energy yang tinggi (Suci, 2015).

Analisis menggunakan XRF dilakukan berdasarkan identifikasi dan pencacahan sinar X karakteristik yang terjadi dari peristiwa efek foto listrik. Efek foto listrik terjadi karena elektron dalam atom target (sampel) terkena sinar berenergi tinggi (radiasi gamma, sinar X). Bila energi sinar tersebut lebih tinggi dari pada energi ikat elektron dalam orbit K, L atau M atom target, maka elektron atom target akan keluar dari orbitnya. Dengan demikian atom target akan mengalami kekosongan elektron. Kekosongan elektron ini akan diisi oleh elektron dari orbital yang lebih luar diikuti pelepasan energi yang berupa sinar X (Jamaludin, 2012).

Prinsip kerja XRF adalah foton yang memiliki energi tinggi menyebabkan elektron tersebut berpindah ke lapisan kulit luarnya. Pada saat yang bersamaan, kulit dalam terjadi kekosongan elektron dan menyebabkan keadaan yang tidak stabil sehingga elektron dari kulit di atasnya berpindah mengisi kekosongan dengan mengemisikan sinar (*fluorescence*), dengan perbedaan energi dari kedua keadaan dan panjang gelombang sinar yang diemisikan sebanding dengan karakteristik dan konsentrasi dari tiap elemen. Hasil XRF berupa spektrum hubungan antara energi eksitasi dan intensitas sinar-X. Energi eksitasi menunjukkan unsur penyusun sampel dan intensitas menunjukkan nilai kuantitatif dari unsur tersebut. Semakin tinggi intensitasnya, semakin tinggi pula persentase unsur tersebut dalam sampel (Bahri, 2015). Dibawah ini Tabel 1 komposisi kimia silika SCBA.

Tabel 1. Komposisi silika SCBA (Channoy *et al.*, 2018)

Komponen Kimia	Berat (wt %)
SiO ₂	80,81
Al ₂ O ₃	4,29
MgO	2,17
P ₂ O ₅	1,84
SO ₃	1,69
K ₂ O	2,54
CaO	3,39
Fe ₂ O ₃	2,4

Terdapat hasil analisis XRF diketahui bahwa dalam abu ampas tebu mengandung SiO₂ sebesar 73,5 %, Al₂O₃ 7,6 %, Fe₂O₃ 2,7 %, CaO 3,0 %, MgO 2,6 %, K₂O 7,1 %, dan P₂O₃ 1,7 %. Menurut Penelitian Arizona dan Vantiningtyas (2010) hasil XRF abu ampas diketahui bahwa abu ampas tebu mengandung mineral silikon (Si) sebesar 55,5 %. Sedangkan menurut Widati *et al.*, (2010) hasil analisis XRF kandungan SiO₂ adalah 88,7 %. Adapun komposisi kimia abu ampas tebu, abu sekam padi dan abu terbang ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Komposisi kimia abu ampas tebu, sekam padi dan abu terbang (Folletto, 2006; Panturau dan Setyawan, 2006; Paiton, 2002)

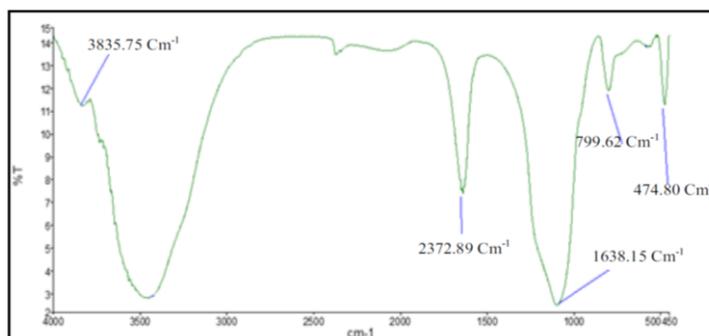
Komposisi	%Berat		
	Abu Sekam Padi	Abu Ampas Tebu	Abu Terbang
SiO ₂	94,4	73,5	33,54
Al ₂ O ₃	0,61	7,6	19,15
FeO ₃	0,03	2,7	16,7
CaO	0,83	3	13,98
MgO	1,21	2,6	6,73
K ₂ O	1,06	7,1	0,97
P ₂ O ₃	1,5	1,7	2,19

2.18 *Fourier Transform Infra Red (FTIR)*

Fourier Transform Infra Red (FTIR) merupakan metode analisis material dengan menggunakan spektroskopi sinar infra merah. Karakterisasi menggunakan FTIR digunakan untuk menganalisis senyawa organik dan anorganik serta analisis kualitatif dan analisis kuantitatif suatu senyawa. Pengujian FTIR memiliki 3 fungsi, yaitu mengidentifikasi, menentukan kualitas atau konsistensi sampel, dan menentukan intensitas suatu komponen dalam sebuah campuran. FTIR merupakan pengujian kuantitatif untuk sebuah sampel (Hussain *and* Mohammed, 2019).

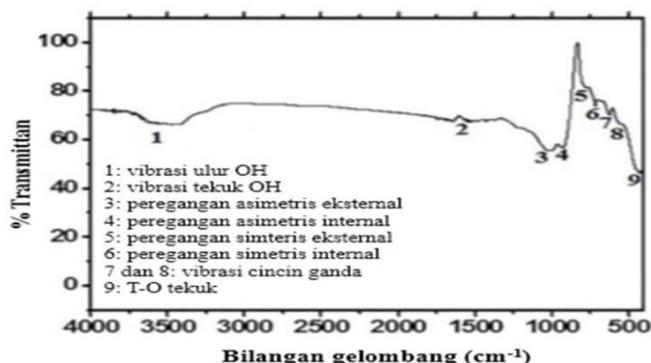
Pada spektroskopi inframerah, seperti halnya dengan tipe penyerapan energi yang lain maka molekul akan tereksitasi ke tingkatan energi yang lebih tinggi bila menyerap radiasi inframerah. Pada spektroskopi inframerah, inti-inti atom yang terikat secara kovalen akan mengalami getaran bila molekul menyerap radiasi inframerah dan energi yang diserap menyebabkan kenaikan pada amplitudo getaran atom-atom yang terikat. Panjang gelombang serapan oleh suatu tipe ikatan tertentu bergantung pada macam ikatan tersebut, oleh karena itu tipe ikatan yang berbeda akan menghasilkan panjang gelombang yang berbeda. Akibatnya setiap molekul akan mempunyai spektrum inframerah yang karakteristik pada konsentrasi ukur tertentu, yang dapat dibedakan dari spektrum lainnya melalui posisi dan intensitas pita serapan (Sastrohamidjojo, 1992).

Karakterisasi menggunakan FTIR pada penelitian digunakan untuk menentukan jenis ikatan kimia, dan gugus fungsi pada silika abu ampas tebu dan ZSM-5 pori hirarki hasil sintesis. Spektra FTIR silika ditunjukkan pada Gambar 15.



Gambar 15. Spektra FTIR silika SCBA (Megawati *et al.*, 2018)

Karakteristik FTIR lainnya adalah melihat getaran khas untuk zeolit MOR adalah peregangan asimetris: eksternal 1215–1226 cm^{-1} , internal 1021–1025 cm^{-1} ; peregangan simetris: eksternal 786–797 cm^{-1} , internal 693–709 cm^{-1} ; cincin ganda: 541–550 dan 618–625 cm^{-1} ; dan T–O tekuk: 442–459 cm^{-1} pada Gambar 16.



Gambar 16. Spektra FTIR dari zeolit MOR (Nassar *et al.*, 2017)

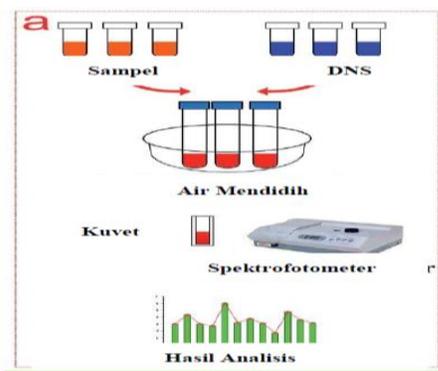
Selain itu muncul pita serapan pada bilangan gelombang 3520–3547 cm^{-1} merupakan serapan O–H dari molekul air yang teradsorpsi pada permukaan dan diperkuat oleh pita serapan pada bilangan gelombang 1636–1661 cm^{-1} yang merupakan peregangan H–O–H (Nassar *et al.*, 2017).

2.19 Spektrofotometri UV-Vis

Spektrofotometer UV-Vis adalah alat untuk mengukur transmittan atau absorbansi suatu sampel sebagai fungsi panjang gelombang. Spektrofotometer UV-Vis menggunakan dua

buah sumber cahaya yang berbeda, yaitu sumber cahaya UV menggunakan lampu hidrogen atau deuterium dan sumber cahaya tampak menggunakan lampu tungsten. Prinsip kerja dari alat ini adalah cahaya yang berasal dari lampu deuterium maupun wolfram yang bersifat polikromatis diteruskan melalui lensa menuju ke monokromator pada spektrofotometer dan filter cahaya pada fotometer, yang kemudian akan mengubah cahaya polikromatis menjadi cahaya monokromatis (tunggal). Berkas-berkas cahaya dengan panjang tertentu kemudian akan dilewatkan pada sampel yang mengandung suatu zat dalam konsentrasi tertentu. Oleh karena itu, terdapat cahaya yang diserap (diabsorpsi) dan ada pula yang dilewatkan. Cahaya yang dilewatkan ini kemudian diterima oleh detektor. Detektor kemudian akan menghitung cahaya yang diterima dan mengetahui cahaya yang diserap oleh sampel. Cahaya yang diserap sebanding dengan konsentrasi zat yang terkandung dalam sampel sehingga akan diketahui konsentrasi zat dalam sampel secara kuantitatif (Khopkar, 2008).

Gula reduksi dapat diuji dengan metode dinitrosalisilat (DNS) dengan glukosa sebagai larutan standar. DNS akan bereaksi dengan gugus karbonil bebas dari gula reduksi pada kondisi basa, dan membentuk asam 3-amino-5-nitrosalisilat, yaitu sebuah senyawa aromatik dengan panjang gelombang maksimum 540 nm, kemudian kadar gula reduksi dianalisis secara kuantitatif dengan spektrofotometer *UV-Vis* (Xia *et al.*, 2015). Ilustrasi pengukuran glukosa dengan menggunakan spektrofotometer ditunjukkan pada Gambar 17.



Gambar 17. Ilustrasi Analisis Glukosa (Xia *et al.*, 2015)

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan selama 8 bulan pada bulan November 2021 – Juni 2022 di Laboratorium Kimia Anorganik/Fisik Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung. Karakterisasi sampel menggunakan menggunakan *X-Ray Fluoresence* (XRF) dilakukan di Laboratorium Terpadu Instrumen Jurusan Kimia FMIPA Universitas Negeri Padang, *X-Ray Diffraction* (XRD) yang dilakukan di Laboratorium Terpadu Instrumen Universitas Negeri Padang (UNP), Spektrofotometer *Fourier Transform Infra Red* (FTIR) yang dilakukan di Laboratorium Instrumen Universitas Negeri Padang, *Brunauer-Emmet-Teller* (BET) dilakukan di Layanan Sains Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI), Spektrofotometer *Ultra Violet-Visible* (UV-Vis) yang dilakukan di Laboratorium Kimia Anorganik/Fisik Universitas Lampung dan *High Performance Liquid Chromaatography* (HPLC) yang dilakukan di Univerisitas Indonesia.

3.2 Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain adalah neraca analitik, oven, gelas kimia, gelas ukur, erlemeyer, labu ukur, spatula, termometer, corong kaca, loyang, *Hotplate stirrer*, tanur, *spinbar*, batang pengaduk, cawan penguap, botol polipropilen, seperangkat autoklaf, mortal dan alu, pipet tetes, sentrifus, *X-Ray Diffraction* (XRD) merek PANalytical tipe E`Xpert Pro, *X-Ray Fluoresence* (XRF) merek PANalytical tipe Epsilon 3, *surface area analyser* (SAA) merek Quantachrome tipe NOVA 4200e.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain ampas tebu, asam nitrat teknis 2,5 dan 10 %, larutan natrium hidroksida (NaOH 2 M), kertas saring, akuades, dan pH meter, larutan natrium hidroksida (NaOH) 50 % (w/w), pati, $\text{Al}(\text{OH})_3$, kertas saring, akuades, kulit singkong.

3.3 Prosedur Penelitian

3.3.1 Ekstraksi Silika dari Ampas Tebu

Ampas tebu yang diperoleh dilakukan proses pencucian dengan merendam 10 gram ampas tebu dalam 250 mL asam nitrat 2,5 % lalu dipanaskan menggunakan *hotplate* pada suhu 80 °C sampai mendidih kemudian didinginkan sampai suhu ruang. Ampas tebu selanjutnya disaring dan dibilas menggunakan air sampai netral. Ampas tebu yang telah dicuci lalu dikeringkan dalam oven pada suhu 100 °C, selanjutnya ampas tebu ditanur pada suhu 600 °C selama ± 5 menit sehingga diperoleh abu ampas tebu.

Abu ampas tebu yang dihasilkan diekstraksi menggunakan NaOH. Sebanyak 5 g SCBA diekstraksi dalam 125 mL larutan NaOH 2 M lalu dipanaskan di atas *hotplate* pada suhu ± 80 °C sampai mendidih (kurang lebih selama 1 jam). Campuran dibiarkan pada suhu kamar selama 24 jam, kemudian disaring menggunakan kertas saring hingga diperoleh filtrat berwarna kuning kecoklatan. Filtrat ditambahkan larutan HNO_3 10 % tetes demi tetes hingga terbentuk hidrogel pada pH 7. Hidrogel kemudian dibiarkan 24 jam untuk memaksimalkan pembentukan gel. Gel kemudian disaring dan dicuci dengan akuades dan selanjutnya dikeringkan dengan oven pada suhu 90 °C selama 24 jam. Silika yang didapatkan selanjutnya dikarakterisasi dan dijadikan prekursor untuk sintesis ZSM-5 pori hirarki dengan metode hidrotermal.

3.3.2 Karakterisasi Silika Hasil Ekstraksi Abu Ampas Tebu

Karakterisasi silika menggunakan analisis XRF untuk mengetahui persen komposisi senyawa pada silika SCBA, analisis FTIR untuk mengetahui gugus fungsi silika SCBA, dan analisis XRD untuk mengetahui jenis fasa dan tingkat kristalinitas dari silika SCBA.

3.3.3 Sintesis Zeolit Mordenit (MOR) Menggunakan Metode Hidrotermal

3.3.3.1 Sintesis Zeolit Mordenit (MOR) Berbasis Silika SCBA dengan pati sebagai mesoporogen

Pada penelitian ini digunakan sumber silika alumina dari abu ampas tebu dalam sintesis zeolit. Sintesis mordenit dari silika SCBA telah dilakukan dengan perbandingan molar pereaksi 1 SiO₂: 0,0677 Al₂O₃: 0,25 NaOH: 30 H₂O.

Tabel 3. Komposisi molar pereaksi untuk sintesis mordenit dari silika SCBA dengan pati

Komposisi	SiO ₂	NaOH	H ₂ O	Al ₂ O ₃
Molar	1	0,25	30	0,0667
MW (g/mol)	60	40	18	102
p (g/mL)	1,3	1,515	-	-
W (g)	60	10	540	6,80

Tabel 4. Perhitungan komposisi molar pereaksi untuk sintesis mordenit dari silika SCBA dengan pati

Bahan	p (g/mL)	Kemurnian (%)	MW (g/mol)	Massa (g)	Massa untuk 1 autoklaf (g)*
SiO ₂ dari SCBA	-	71	60	84,57	4,3512
Al ₂ O ₃ dari SCBA	-	21	81,97	25,72	1,3231
NaOH 50 % (w/v)	1,515	50	40	20	1,0290
H ₂ O dari NaOH	-	-	18	13,40	-
H ₂ O dibutuhkan	-	-	18	550,00	28,2968

*massa yang dihitung merupakan massa untuk 1 teflon ukuran 25 mL

Pertama, NaOH 50 % (w/v) ditimbang dan dimasukkan dalam botol polipropilen, kemudian ditambahkan silika SCBA dan akuades dan diaduk selama 30 menit.

Selanjutnya, botol polipropilen dipindahkan ke panci yang berisi air dan dihomogenkan pada suhu 80 °C selama 1 jam. Lalu, campuran tersebut didinginkan hingga suhu ruang dengan tetap diaduk, kemudian ditambahkan pati sebanyak 10 % dari berat silika dan diaduk selama 24 jam pada suhu ruang. Selanjutnya, sol gel yang didapat, dimasukkan dalam autoklaf untuk disintesis secara hidrotermal pada suhu 180 °C selama 6 hari. Lalu, hasil sintesis tersebut dicuci dengan akuades sampai bersih. Padatan hasil sintesis dikeringkan semalaman dengan oven pada suhu 105 °C sampai terbentuk kristal. Endapan yang telah kering dikalsinasi dalam tanur pada suhu 550 °C selama 5 jam.

3.3.3.2 Sintesis Zeolit Mordenit (MOR) Berbasis Silika SCBA tanpa pati

Pada penelitian ini digunakan sumber silika dari abu ampas tebu dan alumina dalam sintesis zeolit. Sintesis Mordenit dari silika abu ampas tebu telah dilakukan dengan perbandingan molar 1 SiO₂: 0,03 Al₂O₃: 0,229 NaOH: 80 H₂O (Lestari,2018). Secara rinci komposisi molar masing-masing pereaksi dapat dilihat pada Tabel 5 dan Tabel 6.

Tabel 5. Komposisi molar pereaksi untuk sintesis mordenit dari silika abu ampas tebu (SCBA)

Komposisi	SiO ₂	NaOH	H ₂ O	Al ₂ O ₃
Molar	1	0,25	30	0,0667
MW (g/mol)	60	40	18	102
p (g/mL)	1,3	1,515	-	-
W (g)	60	10	540	6,80

Tabel 6. Perhitungan komposisi molar pereaksi untuk sintesis mordenit dari silika abu ampas tebu (SCBA)

Bahan	p (g/mL)	Kemurnian (%)	MW (g/mol)	Massa (g)	Massa untuk 1 autoklaf (g)*
SiO ₂ dari SCBA	-	71	60	84,57	4,3512
Al ₂ O ₃ dari SCBA	-	21	81,97	25,72	1,3231
NaOH 50 % (w/v)	1,515	50	40	20	1,0290
H ₂ O dari NaOH	-	-	18	13,40	-
H ₂ O dibutuhkan	-	-	18	550,00	28,2968

*massa yang dihitung merupakan massa untuk 1 teflon ukuran 25 mL

Pertama, NaOH 50 % (w/v) ditimbang dan dimasukkan dalam botol polipropilen, kemudian ditambahkan silika SCBA dan akuades dan diaduk selama 30 menit. Selanjutnya, botol polipropilen dipindahkan ke panci yang berisi air dan dihomogenkan pada suhu 80 °C selama 1 jam. Lalu, campuran tersebut didinginkan hingga suhu ruang dengan tetap diaduk. Selanjutnya, sol gel yang didapat, dimasukkan dalam autoklaf untuk disintesis secara hidroterma pada suhu 180 °C selama 6 hari. Kemudian, hasil sintesis tersebut dicuci hingga bersih dengan akuades. Padatan hasil sintesis dikeringkan semalaman dengan oven pada suhu 105 °C sampai terbentuk padatan. Endapan yang telah kering dikalsinasi dalam tanur pada suhu 550 °C selama 5 jam.

3.3.4 Karakterisasi Zeolit Mordenit (MOR)

Hasil sintesis zeolit mordenit (MOR) berbasis silika komersil LUDOX selanjutnya dikarakterisasi menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) mengonfirmasi kristal zeolit yang terbentuk, *X-Ray Fluorescence* (XRF) menginformasikan komposisi unsur penyusun zeolit-MOR yang dianalisis dan penentuan luas permukaan dan ukuran pori zeolit ditentukan dengan menggunakan metode *Brunauer-Emmett-Teller* (BET).

3.3.5 Uji Aktivitas Katalitik

3.3.5.1 Persiapan Katalis H-MOR

Zeolit MOR berbasis silika SCBA dimodifikasi menjadi katalis zeolit H-MOR menggunakan metode pertukaran ion (*ion exchange*) berdasarkan metode yang telah dilakukan oleh Zhao *et al* (2019). Sebanyak 1 g zeolit-MOR dicampurkan dengan 100 mL larutan NH_4NO_3 1 M sambil diaduk dan dipanaskan pada suhu 70°C selama 48 jam dan dilakukan penggantian larutan NH_4NO_3 1 M setiap 24 jam. Setelah itu, campuran yang didapat kemudian disaring dan dicuci akuades, lalu dikeringkan menggunakan oven pada suhu 120°C selama 12 jam dan dikalsinasi pada suhu 550°C selama 5 jam (Zhao *et al.*, 2019).

3.3.5.2 Persiapan Bahan Baku Kulit Singkong

Kulit singkong yang telah bersih dipotong-potong sampai didapatkan ukuran yang seragam. Selanjutnya kulit singkong dikeringkan selama 2-3 hari dengan panas matahari. Kulit singkong kering kemudian ditumbuk dan diaduk hingga menjadi serbuk. Serbuk kulit singkong kemudian diayak sampai ukuran partikel (+50/200 mesh) dan didapatkan serbuk yang lebih halus. Kemudian dikeringkan menggunakan oven sampai kering dan disimpan dalam desikator (Kanpichcha *et al.*, 2018).

3.3.5.3 Pemisahan Amilum dan Selulosa dari Tepung Kulit Singkong

Tepung kulit singkong yang telah ditimbang sebanyak 1 g dimasukkan ke dalam tabung reaksi, ditambahkan 10 mL akuades lalu dididihkan pada suhu 95°C selama 45 menit dan didinginkan pada suhu ruang. Setelah dingin, larutan dipisahkan dengan cara sentrifugasi, proses ini dilakukan sebanyak tiga kali.

Pada masing-masing pengulangan diambil 5 tetes filtrat dan ditambah 5 tetes larutan iodin untuk menguji adanya amilum pada filtrat yang ditandai dengan terbentuknya warna ungu, apabila saat ditetesi iodin filtrat sudah tidak berwarna ungu maka amilum telah terhidrolisis menjadi glukosa dan pemanasan dihentikan. Endapan yang diperoleh dari hasil pengulangan terakhir merupakan tepung selulosa yang digunakan untuk analisis selulosa.

3.3.5.4 Analisis Kandungan Selulosa

Analisis kandungan selulosa dilakukan dengan metode TAPPI. Tepung selulosa yang diperoleh diambil sebanyak 0,3 g dan dicampurkan dengan 10 mL H₂SO₄ 72 % sambil dilakukan *stirer* selama 6 jam. Selanjutnya, larutan tersebut ditambah akuades hingga konsentrasi H₂SO₄ menjadi 4 % dan dipanaskan di dalam autoklaf penangas selama 1 jam pada suhu 121°C. Setelah itu, sampel disaring dan filtrat yang diperoleh dinetralkan dengan CaCO₃ sampai didapat larutan dengan pH 7.

Filtrat yang telah netral kemudian dianalisis kandungan selulosa menggunakan metode *Mendels* yaitu dengan mereaksikan 0,5 mL sampel dengan 0,5 mL DNS, dipanaskan selama 10 menit, ditambahkan 4 mL akuades, dan diukur menggunakan spektrofotometer UV-Vis (540 nm) (Miller, 1959 ; dan Zhang *et al.*, 2009). Pengukuran kadar gula pereduksi hasil reaksi hidrolisis dan pembuatan kurva standar glukosa dilakukan dengan perlakuan yang sama. Konsentrasi gula pereduksi serta kandungan selulosa ditentukan dengan persamaan regresi yang diperoleh dari kurva standar glukosa.

3.3.5.5 Pre-Treatment Katalis Zeolit H-MOR menggunakan Metode *Mix-Milling*

Pre-treatment menggunakan metode *mix-milling* dilakukan dengan mencampurkan masing-masing katalis zeolit H-MOR (SCBA) dengan pati dan zeolit H-MOR (SCBA) tanpa pati dengan tepung selulosa dan ditumbuk menggunakan mortar dan alu selama 24 jam (Kanpichcha *et al.*, 2018).

3.3.5.6 Reaksi Hidrolisis

Katalis zeolit H-MOR berbasis silika SCBA dan silika komersil dilakukan uji aktivitas katalitiknya pada reaksi hidrolisis selulosa yang berasal dari kulit singkong menjadi glukosa. Pada uji katalitik, sebanyak 0,05 g tepung selulosa yang berasal dari kulit singkong ditambahkan katalis zeolit H-MOR sebanyak 0,03 g. Sebelum digunakan, keduanya telah dicampurkan melalui metode *mix-milling* seperti yang dijelaskan sebelumnya. Kemudian ke dalam teflon autoklaf ditambahkan 5 mL akuades.

Reaksi hidrolisis dilakukan pada suhu 140°C selama 3 jam. Setelah proses selesai larutan tersebut didinginkan dan dipisahkan dari endapannya menggunakan kertas saring. Filtrat yang didapat kemudian digunakan untuk analisis glukosa menggunakan Spektrofotometer *Uv-Vis*, sedangkan sisa endapan yang tertinggal dihitung rendemennya menggunakan Persamaan 5:

$$\text{Rendemen} = \frac{\text{Berat Akhir}}{\text{Berat Awal}} \times 100\% \quad (5)$$

(Kanpichcha *et al.*, 2018).

3.3.5.7 Penentuan Suhu Optimum

Pada penelitian ini dilakukan uji aktivitas katalitik zeolit H-MOR terhadap reaksi hidrolisis. Metode reaksi hidrolisis menggunakan metode yang telah dilakukan oleh Kanpichcha *et al* (2018). Variasi suhu yang digunakan ialah, 120°C, 140°C, dan 160°C. Suhu optimum merupakan suhu dengan konsentrasi gula pereduksi tertinggi dan digunakan untuk penentuan waktu reaksi optimum.

3.3.5.8 Penentuan Waktu Reaksi Optimum

Waktu reaksi merupakan faktor yang menentukan laju reaksi hidrolisis. Kondisi optimum yang diperoleh dari variabel suhu optimum digunakan untuk menentukan waktu reaksi optimum. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Kanpicha *et al* (2018) variasi waktu yang digunakan adalah 3, 4 dan 5 jam. Kondisi optimum yang didapat dari waktu reaksi digunakan untuk menentukan jumlah katalis optimum.

3.3.5.9 Penentuan Jumlah Katalis Optimum

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Kanpichcha *et al* (2018), variasi jumlah katalis zeolit H-MOR yang digunakan ialah 0,03 g ; 0,05 g ; dan 0,1 g. Konsentrasi gula pereduksi tertinggi yang diperoleh dilanjutkan dengan analisis glukosa dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis

3.3.5.10 Analisis Glukosa

Konsentrasi glukosa yang telah diperoleh dari kondisi optimum ditentukan menggunakan peralatan spektrofotometer UV-Vis dan konsentrasi tersebut dibandingkan antara zeolit MOR SCBA dengan pati dan tanpa pati.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka diperoleh simpulan sebagai berikut:

1. Silika SCBA (*Sugarcanne Bagasse Ash*) yang telah diekstraksi memiliki rendemen 3,19 %, memiliki fasa *amorf*, rasio Si/Al sebesar 3,257.
2. Hasil karakterisasi XRD menunjukkan bahwa zeolit mordenit (MOR) SCBA dengan pati dan tanpa pati telah berhasil di sintesis dan telah ditunjukkan dengan *peak* yang sama dengan zeolit mordenit standar.
3. Zeolit mordenit (MOR) SCBA terkonfirmasi memiliki pori hierarki luas permukaan sebesar 20.931 m²/g dan volume pori sebesar 5,026 x 10⁻³ cm³/g; memiliki pori tambahan 3,2341 nm.
4. Tepung kulit singkong dapat dijadikan bahan baku utama penghasil glukosa dengan menggunakan reaksi hidrolisis menggunakan katalis heterogen yaitu zeolit.
5. Kondisi optimum yang diperoleh pada reaksi hidrolisis selulosa dengan bantuan zeolit H-MOR SCBA ialah pada suhu 140 °C selama 3 jam, dan jumlah katalis sebesar 0,05 g.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka disarankan untuk menggunakan silika SCBA dengan rasio Si/Al yang lebih tinggi sehingga lebih mudah terbentuk zeolit mordenit (MOR). Selanjutnya, hasil glukosa yang diperoleh pada penelitian ini tidak

dilakukan karakterisasi menggunakan HPLC sehingga tidak dapat dipastikan bahwa glukosa yang diperoleh merupakan glukosa murni, oleh sebab itu disarankan pada penelitian selanjutnya untuk melakukan karakterisasi glukosa dengan menggunakan HPLC untuk mengetahui jenis gula pereduksi yang diperoleh. Selain itu, perlu dilakukannya proses delignifikasi terhadap biomassa yang digunakan sebagai bahan baku reaksi hidrolisis sehingga didapatkan selulosa dengan kemurnian yang lebih tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- Adeks, P., Razzaq, A. R., dan Prismawiryanti. 2016. Hidrolisis Selulosa Dari Sekam Padi (*Oryza Sativa*) Menjadi Glukosa Dengan Katalis Arang Tersulfonasi. *Jurnal Riset Kimia*. 2(3):61–66.
- Aeni, D.N., Hadisantoso, E.P., dan Suhendar, D. 2017. Adsorpsi Ion Logam Mn^{2+} dan Cu^{2+} Oleh Silika Gel dari Abu Ampas Tebu. *al-Kimiya*. 4(2): 70-80.
- Affandi, S.H., Setyawan, S., Winardi, A. Purwanto, and Balgis, R. 2009. A Facile Method for Production of High-Purity Silica Xerogels from Bagasse Ash. *Journal Advanced Powder Tecnology*. 20: 468-472.
- Aly, H. M., Moustafa, M. E., and Abdelrahman, E. A. 2012. Synthesis of Mordeinite Zeolite in Absence of Organic Template. *Advanced Powder Technology*. 23:757–760.
- Akhinov, A. F., Puspaning, D. 2010. *Sintesis Silika Aerogel Berbasis Abu Bagasse dengan Pengeringan pada Tekanan Ambient*. Seminar Rekayasa Kimia dan Proses 2010, ISSN: 1411-4216
- Amalia, F. 2010. Penumbuhan Nanokarbon pada Carbon Foam melalui Reaksi Dekomposisi Katalitik Metana untuk Meningkatkan Luas Permukaan Carbon Foam Sebagai Katalis Terstruktur. *Skripsi*. Jurusan Teknik Kimia. Fakultas Teknik. Universitas Indonesia. Depok.
- Anshori, A, Z. 2008. Pemanfaatan Ampas Tebu dalam Pembuatan Silika Gel. *Skripsi*. Jurusan Teknik Kimia. Fakultas Teknik. Universitas Indonesia. Depok.
- Arizona, R. dan Vantiningtyas, E.K. 2010. Sintesis Silika Aerogel Berbasis Abu Bagasse Untuk Media Penyimpan Hidrogen. *Laboratorium Elektrokimia dan Korosi*. Teknik Kimia. FTI. ITS. Surabaya. 8-9.
- Badan Pusat Statistik (BPS). 2012. *Luas Produktivitas Tanaman Ubi Kayu Di Seluruh Provisi Tahun 2012*. Pusat Data dan Sistem Informasi Pertanian. Kementerian Pertanian. Jakarta.
- Baerlocher, C., Meier, W.M., and Olson, D.H. 2001. *Atlas of Zeolite Framework Types 5th Ed*. Elsevier. Amsterdam.

- Bahri, S. 2015. Sintesis dan Karakterisasi Zeolit X dari Abu Vulkanik Gunung Kelud dengan Variasi Rasio Molar Si/Al menggunakan Metode Sol-Gel. (Skripsi). Universitas Islam Negeri Malik Ibrahim Maulana Malang. Malang. 22-24 hlm.
- Budi, C. S., Kartini, I., dan Rusdiarso, B. 2010. Synthesis of Mesoporous Titania by Potato Starch Templated Sol-Gel Reactions and Its Characterization. *Indonesian Journal of Chemistry*. 10 (1): 26–31.
- Callister, W. D. 2009. *Materials Science and Engineering an Introduction 8th*. John Wiley & Sons Inc. New York.
- Cejka, J., Bekkum, H. V., Corma, A., and Schuth, F. *Introduction to Zeolite Science and Practice 3RD Revised Edition*. 2007. Elsevier. Amsterdam.
- Channoy, C., Maneewan, S., and Punlek, C. 2018. Preparation and Characterization of Silica Gel from Bagasse Ash. *Advanced Materials Research*. 1145: 44-48.
- Charde, M. S., Welankiwar, A. S., and Jitendra, K. 2014. Method Development by Liquid Chromatography with Validation. *International Jurnal of Pharmaceutical Chemistry*. 4 (2): 57-61.
- Che, Q., Yang, M., Wang, X., Yang, Q., Chen, Y., Chen, X., Chen, W., Hu, J., Zeng, K., Yang, H., dan Chen, H. 2019. Preparation of Mesoporous ZSM-5 Catalysts Using Green Templates and Their Performance in Biomass Catalytic Pyrolysis. *Bioresource Technology*. 289: 121- 125.
- Chen, Y., Shuli, C., Qiqi, W., Hongjing, H., Jia, L., Yue, K., Wei, K., Haiying, W., Shuyu, H., Hua, S., and Jiaojing, Z. 2018. Optimization of Crystal Growth of Sub-micron ZSM-5 Zeolite Prepared by Using Al(OH)₃ Extracted from Fly Ash as an Aluminum Source. *Journal of Hazardous Materials*. 349 (1):18–26.
- Chetam, D.A. 1992. *Solid State Compound*. Oxford University Press. Oxford.
- Dewi, Y.L. 2012. Pemilihan Katalis yang Ideal. Prosiding Seminar Nasional Penelitian, Pendidikan dan Penerapan MIPA, Fakultas MIPA, Universitas Negeri Yogyakarta.
- Durrani, S. K., Syed, Z. H., Khalid S, Y. K., & Mohammad A, N. A. 2012. Hydrothermal Synthesis and Characterization of Nanosized Transition Metal Chromite Spinel. *Turk J Chem*. 36:20–21.
- Fessenden, R.J. dan Fessenden, J.S. 1982. *Kimia Organik Jilid 2 Edisi 3*. Erlangga. Jakarta.
- Flanigen, E.M. 2010. Infrared Structure Studies of Zeolite Framework Molecular Sieve. Zeolite – I. *American Society Advances in Chemistry*. 101, 201-229.

- Goenadi, H. D. 2004. Teknologi Pengolahan Zeolit Menjadi Bahan yang Memiliki Nilai Ekonomi Tinggi. *Jurnal Zeolit Indonesia*. **3** (1): 1411–6723.
- Gougazeh, M. and Buhl, J.C. (2013). "Synthesis and characterization of zeolite A by hydrothermal transformatio of natural jordanian kaolin", *Journal of the Association of Arab Universities for Basic and Applied Sciences*, page 35-42.
- Gupta, K.M. and Jiang, J. 2015. Cellulose Dissolution and Regeneration in Ionic Liquid. *Chemical Engineering Science*. 121: 180-189.
- Hajiha, H and Sain, M. 2015. The Use of Sugarcane Bagasse Fibers as Reinforcements in Composites. *Biofiber Reinforcements in Composite Materials*. 525-549.
- Hay, R. L. (1966). *Zeolites and zeolitic reactions in sedimentary rocks*. California: Dept. Geology and Geophysics, University of California.
- Hindryawati, N. dan A. 2010. Sintesis dan Karakterisasi Silika Gel dari Abu Sekam Padi dengan Menggunakan Natrium Hidroksida (NaOH). *Jurnal Kimia Mulawarman*. 7(2):1693-5616.
- Hu, L., Lin, L., Zhen, W., Shouyong, Z., and Shijie, L. 2015. Chemocatalytic Hidrolysis of Cellulosa into Glucose Over Solid Acid Catalyst. *Review. Applied Catalysis B: Environmental*. 174: 225-243.
- Huang, A., Q. Liu, N. Wang, X. Tong, B. Huang, M. Wang, and J. C. 2013. Covalent Synthesis of Dense Zeolite LTA Membranes on Various 3-Chloropropyltrimethoxysilane Functionalized Supports. *J. Membr.* 57–64.
- Jamaludin, Agus., Adiantoro, Darma. 2012. *Analisis Kerusakan X-RAY fluorescence (XRF)*. Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir. Batan.
- Jin, J., Zhang, X., Li, Y., Li, H., Wu, W., Cui, Y., Chen, Q., Li, L., Gu, J., Zhao, W., dan Shi, J. 2016. A Simple Route To Synthesize Mesoporous ZSM-5 Template by Ammonium-Modified Chitosan. *Chemistry - A European Journal*. 18 (51): 16549–16555
- Kadja, Grandprix T.M, Rilyanti, Mita, Mukti, Rino R., Marsih, I Nyoman, I. 2013. Strategi Sintesis Zeolit Hirarkis: Kajian Metode Cetak Lunak dan Cetak Keras. *Jurnal Matematika & Sains*. 18(3). 103–114.
- Kalpathy, U., Proctor, and A., Shultz, J. 2002. An Improved Method for Production of Silica from Rice Hull Ash. *Biores Technology*. 85: 285–289.

- Khaleel, M., Andrew, J., Wagner, K., Andre M., and Michael T. 2014. On the Rotational Intergrowth of Hierarchical FAU/EMT Zeolites. *Angewandte Communications*. 53: 9456-9461.
- Kobayashi, H., Mizuho, Y., Tasuku, K., Kenji, H., Ichiro, F., and Atsushi F. 2013. High-Yielding One-Pot Synthesis of Glucose from Cellulose Simple Activated Carbons and Trace Hydrochloric Acid. *American Chemical Society Catalysis*. 3: 581-587.
- Masina, N., Choonara, Y. E., Kumar, P., du Toit, L. C., Govender, M., Indermun, S., dan Pillay, V. 2017. A Review of the Chemical Modification Techniques of Starch. *Carbohydrate Polymers*. 157: 1226–1236.
- Mastuti, E. dan Setyawardhani, D.A. 2010. Pengaruh Variasi Temperatur dan Konsentrasi Katalis pada Kinetika Reaksi Hidrolisis Tepung Kulit Ketela Pohon. *Ekuilibrium*. 9: 23-27.
- Matmin, J. 2019. Rice Starch-Templated Synthesis of Nanostructured. *Proceedings Green Nanomaterial*. 1: 3–7.
- Megawati, Fardhyanti, D. S., Artanti Putri, R. D., Fianti, O., Simalango, A. F., dan Akhir, A. E. 2018. Synthesis of Silica Powder from Sugar Cane Bagasse Ash and Its Application as Adsorbent in Adsorptive-distillation of Ethanol-water Solution. *MATEC Web of Conferences*. 237:1–6.
- Mujiyanti, D. R., Nuryono, N., dan Kunarti, E. S. 2010. Sintesis dan Karakterisasi Silika Gel dari Abu Sekam Padi yang Diimobilisasi Dengan 3-(Trimetoksisilil)-1-Propantiol. *Jurnal Sains dan Terapan Kimia*, 4(2), 150-167.
- Muljohardjo, M. 2007. *Teknologi Pengolahan Pati*. PAU Pangan dan Gizi UGM. Yogyakarta.
- Murray, R. K., Granner, D. K., & Rodwell, V. W. Biokimia harper (27 ed.). Jakarta: Buku Kedokteran EGC; 2009.
- Nandan, D., Saxena, S. K., dan Viswanadham, N. 2014. Synthesis of Hierarchical ZSM-5 Using Glucose as A Templating Precursor. *Journal of Materials Chemistry*. 2 (4): 1054–1059.
- Nasikin, M. dan Susanto, B. 2010. *Katalis Heterogen*. UI Press, Jakarta. 12-52-57.
- Noviyanti, A. R., Haryono, H., Pandu, R., dan Eddy, D. R. 2017. Struktur dan Morfologi Elektrolit Apatit Lantanum Silikat Berbahan Dasar Silika Sekam Padi. *Jurnal Material dan Energi Indonesia*. 6 (2): 1–6.

- Onda, A. Takafumi, O., and Kazumichi, Y. 2008. Selective Hydrolysis of Cellulose into Glucose Over Solid Acid Catalyst. *Green Chemistry*. 10: 1033-1037.
- Pan, F., Lu, X., Wang, Y., Chen, S., Wang, T., and Yan, Y. 2014. Synthesis and Crystallization Kinetics of ZSM-5 Without Organic Template from Coal-Series Kaolinite. *Microporous Mesoporous Materials*. 184: 134-140.
- Pan, T., Zhijie, W., and Alex, C.K. Yip. 2019. Advances in the Green Synthesis of Microporous and Hierarchical Zeolites: A Short Review. *Catalysts*. 9 (274): 2-18.
- Paramitha, T., Saputra, T. R., Aliah, A. N., Tarigan, A. V., dan Ghozali, M. 2019. Karakterisasi Silika dari Abu Ampas Tebu. *Jurnal Riset Kimia*. 5 (3). 290–298.
- Peréz, R. J., Verboekend, D., Bonilla, A., dan Abelló, S. 2009. Zeolite Catalysts with Tunable Hierarchy Factor by Pore-Growth Moderators. *Advanced Functional Materials*. 19 (24): 3972–3979.
- Purnawan, C., Martini, T., dan Rini, I. P. 2018. Sintesis dan Karakterisasi Silika Abu Ampas Tebu Termodifikasi Arginin sebagai Adsorben Ion Logam Cu(II). *Jurnal Penelitian Kimia*. 4(2): 333-348.
- Raidah, A. 2012. Pengaruh Garam Prekursor Terhadap Aktivitas Katalis CuO/ γ - Al₂O₃ yang Digunakan dalam Reaksi Hidrogenasi Minyak Jarak. *Skripsi*. Jurusan Teknik Kimia. Fakultas Teknik. Universitas Indonesia. Depok.
- Ren, L., Wu, Q., Yang, C., Zhu, L., Li, C., Zhang, P., Zhang, H., Meng, X., and Xiao, F. 2012. Solvent-Free Synthesis of Zeolites from Solid Raw Materials. *Journal of the American Chemical Society*. 134(37): 15173– 15176.
- Ren, S., Gong, C., Zeng, P., Guo, Q., and Shen, B. 2016. Synthesis Of Flammulina-like Mordenite Using Starch As Template And High Catalytic Performance In Crack Of Wax Oil. *Journal Fuel*. 166: 347-351.
- Reule, A. C., Shen, J., and Semagina, N. 2018. Copper Affects Locations of Zinc in Bimetallic Ion-Exchanged Mordenite. *Chemical Physics and Chemistry*. 1 (2):1–10.
- Rilyanti, M., Mukti, R. R., Kadja, G. T. M., Ogura, M., Nur, H., Ng, E. P., dan Ismunandar. 2016. On the Drastic Reduction Of Organic Structure Directing Agent In The Steam-Assisted Crystallization Of Zeolite With Hierarchical Porosity. *Microporous and Mesoporous Materials*. 230: 30–38.

- Rilyanti, M., Ella G. S., Buhani, Kamisah D. P., dan Ni Luh G. R. S. 2020. Sintesis dan Karakterisasi Zeolit Mordenit (MOR) Berbasis Silika Abu Ampas Tebu Menggunakan Metode Solid-State Crystallization (SSC). *Analytical and Environmental Chemistry*. 8 (5): 55.
- Sabarish, R., dan Unnikrishnan, G. 2019. Synthesis, Characterization and Evaluations of Micro/Mesoporous ZSM-5 Zeolite Using Starch as Bio Template. *Applied Sciences*. 1 (9): 2-8.
- Santos, S. P., Almeida, C. N., Santos, I., Marques, F. M., Fernandes, D. L. 2018. Synthesis and Characterization of Mesoporous Mordenite Zeolite using Soft Templates. *Catalysis Letter*. 148: 1870–1878.
- Sartipi, S., K. Parashar, M. J. Valero-Romero, V. P., Santos, B. van der Linden, M. Makkee, F., & Kapteijn, and J. G. 2013. Hierarchical H-ZSM-5-supported cobalt for the direct synthesis of gasoline-range hydrocarbons from syngas. *J. Catal.* 305:179–190.
- Saryanto, H., "High Temperature Oxidation Behavior of Fe₈₀Cr₂₀ Alloys Implanted with Lanthanum and Titanium Dopant" Master Thesis, Universiti Tun Hussein Onn Malaysia, Malaysia, 2011.
- Sastrohamidjojo, H. 1992. *Kromatografi*. Liberty. Yogyakarta. 213 hlm.
- Sing, K. S., Everett, D. H., Haul, R. A., Moscou, R. A., Pierotti, J., Rouquerol, and Siemieniewska. 1985. Reporting Physisorption Data for Gas/Solid Systems with Special Reference to the Determination of Surface Area and Porosity. *Pure Applied Chemistry*. 57 (1): 603–619.
- Siska, S. D. 2018. Sintesis dan Karakterisasi Zeolit dari Abu Sekam Padi Menggunakan Metode Hidrotermal. *Indonesian Journal of Chemical Science*. 7.
- Smart, L., dan Moore, E. 1993. *Solid State Chemistry First edition*. Chapman and Hall University and Professional Division. London.
- Snyder, L., Kirkland, J., and Dolan, J. 2010. *Introduction to Modern Liquid Chromatography Edisi Ketiga*. John Wiley dan Sons. Canada.
- Souza, A.E., Teixeira, S.R., Santos, G.T.A., Costa, F.B., dan Longo, E. 2011. Reuse of Sugarcane Bagasse Ash (SCBA) to Produce Ceramic Materials, *Journal of Environment Management*, 92, 2774-2780.
- Sugiyarto, Kristian H. 2004. *Common Textbook Kimia Anorganik I*. UNY Press. Yogyakarta.

- Wang, L., Yin, C., Shan, Z., Liu, S., Du, Y., dan Xiao, F. S. 2009. Bread-Template Synthesis of Hierarchical Mesoporous ZSM-5 Zeolite with Hydrothermally Stable Mesoporosity. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 340 (1–3): 126–130.
- Wang, Y., Jianjun, S., Nathan, C., Baxter, Guan-Tsern, K., and Shengnian, W. 2017. Synthesis of Hierarchical ZSM-5 Zeolites by Solid-State Crystallization and Their Catalytic Properties. *Journal of Catalysis*. 349 (1): 53–65.
- Weitkamp, J., and Puppe, L. 1999. *Catalysis and Zeolites: Fundamentals and Applications*. Springer. Germany.
- White, R. J., Fischer, A., Goebel, C., Thomas, A., White, R. J., Fischer, A., Goebel, C., dan Thomas, A. 2014. A Sustainable Template for Mesoporous Zeolite Synthesis. *Journal of American Society*. 8: 1-10.
- Wibowo, F. X. N., Hatmoko, J. T., dan Wigroho, H. Y. 2006. *Pemanfaatan Abu Ampas Tebu Sebagai Bahan Pengganti Sebagian Semen dalam Pembuatan Beton*. Universitas Indonesia. Depok.
- Widati, A.A., Baktir, A., Hamami, S., dan Rahmawati, R. 2010. Synthesis of Zeolite-A from Baggase and Its Antimicrobial Activity on Candida Albicans. *Jurnal MIPA*. 15 (2): 78-71.
- Wustoni, S., R. R. Mukti, A. Wahyudi, dan Ismunandar. 2011. Sintesis Zeolit Mordenit dengan Bantuan Benih Mineral Alam Indonesia. *Jurnal Matematika & Sains*. 16 (3): 158-160.
- Wustoni S, Mukti R, W. A., & I, I. 2012. Sintesis Zeolit Mordenit dengan Bantuan Benih Mineral Alam Indonesia. *Jurnal Matematika & Sains*. 16 (3): 158–160.
- Xia, M., Wang, L., Yang, Z., and Chen, H. 2015. A Novel Digital Color Analysis Method for Rapid Glucose Detection. *The Royal Society of Chemistry Analytical Methods*. 7 (16): 6654–6663.
- Xu, R., Pang, W., Yu, J., and Huo, Q. 2007. *Chemistry of Zeolites and Related Porous Material Synthesis and Structure*. John Wiley and Sons. Singapore.
- Zhang, Y., Hu, L., Han, J., Jiang, Z., dan Zhou, Y. 2010. Soluble Starch Scaffolds with Uniaxial Aligned Channel Structure for In Situ Synthesis of Hierarchically Porous Silica Ceramics. *Microporous and Mesoporous Materials*. 130 (1–3) 327–332.
- Zhang, L., Xie, S., Xin, W., Li, X., Liu, S., and Xu, L. 2011. Crystallization and Morphology of Mordenite Zeolite Influenced by Various Parameters in Organic-Free Synthesis. *Materials Research Bulletin*. 46: 894-900.

Zhou. 2013. Synthesis of mesoporous ZSM-5 zeolite crystals by conventional hydrothermal treatment. *RSC Advances*. 3 (36):