

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI ZEOLIT ANALSIM PORI HIERARKI
MENGUNAKAN PATI SEBAGAI MESOPOROGEN SERTA UJI
AKTIVITAS KATALITIK PADA REAKSI
ISOMERISASI GLUKOSA**

(Skripsi)

Oleh

Ester Hellen Novalina Lumban Gaol



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

ABSTRAK

SINTESIS DAN KARAKTERISASI ZEOLIT ANALSIM PORI HIERARKI MENGUNAKAN PATI SEBAGAI MESOPOROGEN SERTA UJI AKTIVITAS KATALITIK PADA REAKSI ISOMERISASI GLUKOSA

Oleh

Ester Hellen Novalina Lumban Gaol

Limbah biomassa yang melimpah di Provinsi Lampung seperti ampas tebu belum banyak dimanfaatkan menjadi produk yang lebih bernilai terkhusus dibidang industri, sehingga dilakukan penelitian ini untuk mempelajari aktivitas katalitik H-ANA termodifikasi logam Ni yang disintesis menggunakan silika berbasis abu ampas tebu (*Sugarcane Bagasse Ash/SCBA*) dalam reaksi isomerisasi glukosa. Tahapan yang dilakukan pada penelitian ini yaitu ekstraksi silika SCBA sebagai prekursor dalam mensintesis zeolit ANA pada suhu 170 °C selama 120 jam melalui metode *Steam-Assisted Crystallization* (SAC) dengan penambahan pati sebagai mesoporogen dan disintesis zeolit ANA tanpa penambahan pati sebagai pembanding, pertukaran ion menjadi bentuk H-ANA pori hierarki dan impregnasi menggunakan logam Ni serta uji aktivitas katalitik pada reaksi isomerisasi. Silika SCBA memiliki rendemen sebesar 3.19 % dominan berfasa amorf dari hasil XRD. Rasio Si/Al 1,42 dan terkonfirmasi memiliki gugus silanol (Si-OH) dan siloksan (Si-O-Si). ANA dengan penambahan pati dan ANA tanpa penambahan pati telah berhasil disintesis karena memiliki kemiripan dengan pola difraksi standar ANA serta memiliki kristalinitas masing-masing 76,08 % dan 74,53 %, ANA dengan penambahan pati memiliki luas permukaan 61.635 m²g⁻¹, volume pori 0.04 cm³g⁻¹ dan pori tambahan sebesar 2.30 nm. Kondisi optimum uji katalitik pada reaksi isomerisasi yaitu pada suhu 80 °C selama 30 menit dengan jumlah katalis sebesar 0.03 g. Konversi glukosa tertinggi diperoleh menggunakan katalis Ni/H-ANA dengan penambahan pati yaitu sebesar 38,14 %.

Kata Kunci: Silika SCBA, H-ANA, Mesoporogen Pati, Impregnasi, Reaksi Isomerisasi.

ABSTRACT

SYNTHESIZED AND CHARACTERISED BY ZEOLITE ANA/CIME PORE HIERARCHIES USE STARCH AS AN MESOPOROUS AND CATALYTIC ACTIVITY TESTS IN THE GLUCOSE ISOMERIZATION REACTION

By

Ester Hellen Novalina Lumban Gaol

Abundant biomass waste in Lampung province such as bagasse has not been widely used as a more valuable product, especially in the industrial field, so this study was conducted to study the catalytic activity of H-ANA modified Ni metal synthesized using silica-based bagasse ash (Sugarcane Bagasse Ash/SCBA) in glucose isomerization reaction. The steps carried out in this study were the extraction of silica SCBA as a precursor in synthesizing ANA zeolite at 170 °C for 120 hours through the Steam-Assisted Crystallization (SAC) method with the addition of starch as a mesoporous and the synthesis of ANA zeolite without the addition of starch as a comparison, exchange ions into hierarchical pore H-ANA forms and impregnation using Ni metal as well as testing the catalytic activity in the isomerization reaction. Silica SCBA has a dominant amorphous yield of 3.19 % from the XRD results. Si/Al ratio of 1.42 and confirmed to have silanol (Si-OH) and siloxane (Si-O-Si) groups. ANA with the addition of starch and ANA without the addition of starch have been successfully synthesized because they are similar to the standard ANA diffraction pattern and have a crystallinity of 76.08 % and 74.53 % respectively, ANA with the addition of starch has a surface area of 61.635 m²g⁻¹, pore volume of 0.04 cm³g⁻¹ and an additional pore of 2.30 nm. The optimum condition for the catalytic test for the isomerization reaction was at 80 °C for 30 minutes with a catalyst amount of 0.03 g. The highest glucose conversion was obtained using a Ni/H-ANA catalyst with the addition of starch which was 38.14 %.

Keywords: Silica SCBA, H-ANA, Starch as a Mesoporegen, Impregnation, Isomerization Reaction

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI ZEOLIT ANALSIM PORI HIERARKI
MENGUNAKAN PATI SEBAGAI MESOPOROGEN SERTA UJI
AKTIVITAS KATALITIK PADA REAKSI
ISOMERISASI GLUKOSA**

Oleh

Ester Hellen Novalina Lumban Gaol

Skripsi

**Sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar
SARJANA SAINS**

Pada

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



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

Judul : **SINTESIS DAN KARAKTERISASI ZEOLIT
ANALSIM PORI HIERARKI MENGGUNAKAN
PATI SEBAGAI MESOPOROGEN SERTA UJI
AKTIVITAS KATALITIK PADA REAKSI
ISOMERISASI GLUKOSA**

Nama : **Ester Hellen Novalina Lumban Gaol**

No Pokok Mahasiswa : **1817011096**

Jurusan : **Kimia**

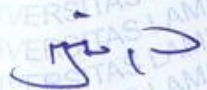
Fakultas : **Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**




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


Dr. Dra. Ilim, M.S.
NIP. 196505251990032002

2. Ketua Jurusan Kimia
FMIPA Universitas Lampung


Mulyono, Ph.D.
NIP. 197406112000031002

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

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



Sekretaris : Dr. Dra. Ilim, M.S.



**Penguji
Bukan Pembimbing : Dr. Zipora Sembiring, M.Si.**



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

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



Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 18 Januari 2023



SURAT PERNYATAAN

Yang bertandatangan di bawah ini :

Nama : Ester Hellen Novalina Lumban Gaol
Nomor Pokok Mahasiswa : 1817011096
Jurusan : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Perguruan Tinggi : Universitas Lampung

Menyatakan bahwa skripsi yang berjudul “ **Sintesis dan Karakterisasi Zeolit Analsim Pori Hierarki Menggunakan Pati Sebagai Mesoporogen serta Uji Aktivitas Katalitik pada Reaksi Isomerisasi Glukosa** “ adalah benar hasil karya sendiri dan tidak pernah digunakan dan diterima sebagai syarat penyelesaian studi universitas lain. Saya tidak keberatan jika data dalam skripsi ini digunakan oleh dosen atau program studi untuk kepentingan publikasi sesuai dengan kesepakatan.

Bandar Lampung, 18 Januari 2023

Yang Menyatakan



Ester H N Lumban Gaol

1817011096

RIWAYAT HIDUP

Penulis bernama lengkap Ester Hellen Novalina Lumban Gaol, lahir di desa Sosortambok pada tanggal 14 November 1999. Penulis merupakan anak pertama dari 4 bersaudara dari pasangan Bapak Drs.Kegoan Lumban Gaol dan Ibu Murni Riama Tambunan, AM.Keb.S.Keb. Penulis mengawali pendidikan formal di TK Nazareth Pematang Siantar yang diselesaikan pada tahun 2006. Sekolah dasar di SD Methodist Pematang Siantar yang diselesaikan pada tahun 2012. Sekolah menengah pertama di SMP St. Lusia Dolok Sanggul yang diselesaikan pada tahun 2014, dan Sekolah Menengah Atas di SMAN 2 Lintong Nihuta, Dolok Sanggul yang diselesaikan pada tahun 2018 dan dari tahun 2018 penulis terdaftar sebagai Mahasiswa Jurusan Kimia di Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) Universitas Lampung melalui jalur SBMPTN.

Selama perkuliahan, penulis juga aktif dibidang pelayanan mahasiswa yaitu di Unit Kegiatan Mahasiswa Krisen Universitas Lampung pada tahun 2018 dan Persekutuan Ouikumene Mahasiswa Kristen MIPA pada tahun 2019-2022. Mengikuti kegiatan organisasi sebagai Kader Muda (KAMI) Himaki pada tahun 2018-2019. Penulis pernah menjadi asisten praktikum kimia dasar pada tahun 2022 untuk mahasiswa 2022 dan asisten praktikum kimia anorganik II pada tahun 2022 untuk mahasiswa 2020.

Penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) pada februari-Maret 2021 di Desa Karang Maritim, Kecamatan Panjang, Bandar Lampung. Penulis melaksanakan Praktik Kerja Lapangan pada Oktober-November 2021 dengan judul **“Sintesis Dan Karakterisasi Zeolite Secony Mobile-5 (ZSM-5) Pori Hierarki Menggunakan Pati Sebagai Mesoporagen Dengan Metode SAC”** di Laboratorium Kimia Anorganik-Fisik FMIPA Universitas Lampung.

MOTTO

“Jangan Selalu melihat keatas untuk bisa meraih kesuksesan, karena itu hanya akan menimbulkan rasa iri dan benci terhadap orang lain bahkan terhadap diri sendiri, jadilah versi terbaik untuk diri sendiri dan perbanyak bersyukur atas kehidupan yang sedang dijalani”

Ester Lumban Gaol

“Kesuksesan paling sering diraih oleh mereka yang tidak mengetahui bahwa kegagalan tidak bisa dihindari” Coco Chanel

“It does not matter how slowly you go as long as you do not stop.”

Confucius.

“Don't give up when you still have something to give. Nothing is really over until the moment you stop trying” Brian Dyson

“ ALLAH menyertai engkau dalam segala sesuatu yang engkau lakukan” Kejadian 21:22 b

“Sebab Aku ini mengetahui rancangan-rancangan apa yang ada pada-Ku mengenai kamu, demikianlah firman TUHAN, yaitu rancangan damai sejahtera dan bukan rancangan kecelakaan, untuk memberikan kepadamu hari depan yang penuh harapan” Yeremia 29:1

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa yang senantiasa selalu membimbing langkahku, menjadikan aku manusia yang berakal dan berilmu, semoga keberhasilan ini menjadi salah satu langkahku untuk meraih cita-cita dan membahagiakan ibunda tercinta.

Kupersembahkan karya ini sebagai wujud bakti dan tanggung jawab kepada :

Kedua pahlawan terhebat dalam hidupku,

Mama dan Alm. Bapak tercinta

Yang senantiasa berjuang, berkorban, mendoakan, memotivasi, memberi dukungan, perhatian dan kasih sayang tanpa henti, sehingga menghantarkan penulis sampai tahap ini. Semoga dengan adanya karya kecil ini dapat memberikan sedikit rasa bangga di hati kalian.

Serta rasa hormatku teruntuk,

Ibu Dr. Mita Rilyanti, M.Si.

Terimakasih atas ilmu, nasehat, saran, motivasi, dedikasi dan kesabaran dalam membimbing penulis selama ini

Bapak dan Ibu dosen Kimia atas segala bimbingan, nasehat dan ilmu yang telah diberikan.

Seluruh sahabat dan rekan-rekan tersayang, yang selalu mendengarkan keluh kesahku, mendukung, menyemangati, berbagi pengalaman, kebahagiaan dan keceriaan kepada penulis.

Almamater Kebangganku,
"Universitas Lampung"

SANWACANA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan karunia-Nya yang melimpah sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Pada kesempatan ini penulis menyampaikan terimakasih atas segala dukungan, doa, bantuan, dan bimbingan dari berbagai pihak selama proses studi dan juga selama proses penyusunan skripsi ini. Penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Diri sendiri, Ester Lumban Gaol, terimakasih telah bertahan dan kebersamai hampir 24 tahun ini, menjalani berbagai suka duka serta menerima pahit manisnya skenario yang telah di rencanakan oleh sang Pencipta, semoga tetap melakukan hal yang terbaik di kehidupan ini walupun kedepannya mungkin akan lebih berat dari sebelumnya.
2. Teristimewa kepada Bapak tercinta dan tersayang yang sudah jauh di keabadian dan Mama yang paling berperan dalam kehidupan ku yang selalu menjadi pendengar yang baik, menjadi teman berbagi suka dan duka, selalu sabar, selalu pengertian, selalu memberikan doa, dukungan moral, dan motivasi. Adik-adik tercinta Isac, Alexander dan Natanael yang selalu menjadi penyemangat dan motivasi kepada penulis.
3. Ibu Dr. Mita Rilyanti, M.Si. selaku Pembimbing I atas ketersediaannya memberikan bimbingan, ilmu, nasehat, saran serta arahan dengan penuh kesabaran dan keikhlasan tanpa lelah kepada penulis hingga penelitian dan penulisan skripsi ini bisa selesai.
4. Ibu Dr. Ilim, M.S. selaku Pembimbing II dan ibu Dr. Zipora Sembiring, M.Si. selaku Pembahas penelitian ini, atas ketersediaannya dalam memberikan ilmu, nasehat, saran dan pembelajaran untuk penulis dengan penuh ketulusan sehingga penelitian dan penulisan skripsi ini bisa selesai.
5. Bapak Prof. Dr. Ir. Yandri AS, M.S selaku Pembimbing Akademik yang telah membimbing, memberikan pengarahan, bantuan, saran, dan motivasi selama proses perkuliahan, dan dalam penyusunan skripsi ini.

6. Bapak Dr. Eng. Suropto Dwi Yuwono, M.T selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam.
7. Bapak Mulyono, Ph.D sebagai Ketua Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung.
8. Seluruh Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Kimia FMIPA, atas semua ilmu dan wawasan yang telah diberikan kepada penulis selama menempuh pendidikan di Jurusan Kimia, Fakultas MIPA, Universitas Lampung.
9. Mba Liza Apriyani, S. Si. Selaku laboran yang senantiasa membantu penelitian dan kegiatan selama di Laboratorium Kimia Anorganik.
10. *Special for my best research partner ever*, Chetrine enamia. Terima kasih sudah sabar dan setia membantu, mendengarkan dan membersamai penulis sejak kepantian di POM MIPA tahun 2019 bahkan sampai satu tim penelitian, sering kompak walaupun kadang tidak sepemikiran, sudah bersedia direpotkan oleh penulis, sering cerita-cerita tentang kehidupan dan sering menjadi tempat aku mengeluh, tempat aku menangis, tempat aku menyalahkan keadaan. Meskipun kita sering tidak satu pendapat tapi gak ada lagi aku nemu bestie macem kamu, dan aku gak akan kebayang bagaimana aku bisa menjalankan penelitian ini kalau gak ada kamu, bingung antara bahagia atau sedih, bahagia karna kita berdua udah bisa sampai dititik ini dan sebentar lagi mendapat gelar dan sedih kita akan berpisah, semoga waktu bisa mempertemukan kita kembali. Semoga kita sukses bareng ya.
11. Zhaafira Allia Zahra dan Vincent Ferdinand sebagai partner penelitian yang selalu membantu, memberikan nasihat, semangat, dan menjadi pendengar yang baik bagi penulis. Terima kasih guys untuk 1 tahun bersama dalam penelitian ini, terima kasih sudah mengajarkan banyak hal kepada diriku ini. Semoga suatu saat nanti kita dipertemukan kembali dalam keadaan yang sukses.
12. *My special partners in kost ciwik-ciwik* (Dora, Meryam, April, Grace, Ninid) yang penulis sudah anggap sebagai keluarga dan sudah membersamai selama kurang lebih 4 tahun ini, terimakasih sudah menjadi tempat berkeluh kesah, tempat menangis, tempat mengadu nasib dan

kalian tetap mau menjadi pendengar yang baik meskipun penulis tidak bisa menjadi pendengar yang baik buat kalian hehe, penulis sangat bahagia memiliki kalian di dunia perkuliahan ini. Semoga suatu saat nanti kita dipertemukan kembali dalam keadaan yang sukses.

13. Teman sepermainan penulis (Kevin, vanny, Haposan dan frikles) terimakasih untuk waktu yang singkat tetapi sudah mengajarkan penulis banyak hal, terimakasih juga buat ke randoman kita, yang selalu bisa membangkitkan mood penulis ketika sedang tidak baik-baik saja, waktu yang cukup singkat mengajarkan penulis untuk lebih menghargai waktu bersama kalian, walupun terkadang ada seseorang yang selalu bikin kesal, tapi kalau gak ada dia gak rame. Semoga suatu saat nanti kita dipertemukan kembali dalam keadaan yang sukses.
14. Teman-teman di Laboratorium Anorganik-Fisik dan teman sepermainan diperkuliahan Kadek fani, Hendriko, Iin, Shafa, Kak Arya dan yang lainnya yang tidak bisa disebut satu persatu terimakasih sudah kebersamai selama di laboratorium dan mau berbagi kisah sedih ataupun suka yang bisa dijadikan motivasi untuk menyelesaikan penelitian, semoga kita bisa segera mendapatkan gelar dan bisa bertemu dalam keadaan sukses.
15. Teman-teman main bulu tangkis yang selalu ngajak mainnya dadakan (Christ, Joey, Roni dan Timot) terimakasih sudah kebersamai dalam waktu singkat dan juga sudah mau menemani penulis beberpakali di lab. Semoga suatu saat nanti kita dipertemukan kembali dalam keadaan yang sukses.
16. Teman-teman SMA (Nibeth, desi, tati,nadia) terimakasih sudah selalu ada sampai saat ini, meskipun sedang LDR di tempat dan perkuliahan masing-masing, tapi kalian selalu mau membantu penulis dan mendengarkan cerita penulis, semoga kita bisa segera bertemu.
17. Kakak-kakak di Mita's Research 2016 (Kak Azizah) dan 2017 (kak Mia, kak Eroh, kak Amel dan kak Nurma)terimakasih atas semua ilmu penelitian maupun ilmu kehidupannya, Kak. Teruntuk Adik-Adikku di Mita's Research 2019 (Silvi, yesica, yusuf dan nafisa) terima kasih dan

semangat untuk kalian yaa. Selamat untuk berproses, semoga dimudahkan semua proses kalian menuju gelar S.Si.

18. Terimakasih untuk POM MIPA dan orang-orang yang ada didalamnya yang sudah menjadi wadah untuk penulis bertumbuh dalam rohani sehingga penulis bisa memiliki pondasi untuk lebih bersyukur dan semangat dalam mengerjakan skripsi dan penelitian ini.
19. Keluarga *Chemistry* Kelas A 2018 yang tidak dapat disebutkan satu per satu, terimakasih atas kebersamaan yang telah dilalui dalam kehidupan di kampus dari awal sampai sekarang. Terima kasih sudah mewarnai kehidupan selama perkuliahan. Penulis beruntung sekali ditempatkan dikelas yang diisi oleh kalian semua. *See you on top, guys.*
20. Keluarga *Chemistry* 18 yang tidak dapat disebutkan satu per satu, terima kasih atas kebersamaan yang telah dilalui dalam kehidupan dikampus dari awal sekarang.
21. Semua pihak yang telah membantu dan mendukung penulis dalam penyusunan skripsi ini.

Bandar Lampung, 18 Januari 2023

Penulis
Ester H N Lumban Gaol

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	i
DAFTAR TABEL	iv
DAFTAR GAMBAR	v
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	5
1.3 Manfaat Penelitian	5
II. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Ampas Tebu	6
2.2 Abu Ampas Tebu/ <i>Sugarcane Bagasse Ash</i> (SCBA)	7
2.3 Silika	8
2.4 Ekstraksi Silika dari Abu Ampas Tebu	10
2.5 Zeolit	11
2.6 Zeolit Analsim (ANA).....	14
2.7 Sintesis Zeolit	15
2.8 Sintesis Zeolit Pori Hierarki.....	17
2.9 Mesoporogen.....	19
2.10 Impregnasi Logam Ni	22
2.11 Katalis	23
2.12 Isomerisasi Glukosa.....	24
2.12 Metode <i>Steam Assisted Conversion</i> (SAC).....	27
2.13 <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	29
2.14 <i>X-Ray Fluoresence</i> (XRF).....	31
2.15 <i>Brunauer-Emmett-Teller</i> (BET)	33

2.16	<i>Fourier Transform Infra Red (FTIR)</i>	36
2.17	Spektrofotometri UV-Vis dan Metode Asam 3,5 Dinitrosalisilat (DNS).....	37
III.	METODE PENELITIAN	40
3.1	Waktu dan Tempat Penelitian.....	40
3.2	Alat dan Bahan	40
3.4	Prosedur Kerja	41
3.4.1	Ekstraksi Silika dari Abu Ampas Tebu.....	41
3.4.2	Karakterisasi Slika Hasil Ekstraksi	42
3.4.3	Sintesis Zeolit Analsim (ANA).....	42
3.4.4	Karakterisasi Zeolit ANA	44
3.4.5	Persiapan Katalis.....	44
3.4.6	Karakterisasi Zeolit Ni/H-ANA.....	45
3.4.7	Uji Aktivitas Katalitik	45
3.4.8	Analisis Gula Pereduksi.....	46
IV.	HASIL DAN PEMBAHASAN	47
4.1	Ekstraksi Silika dari SCBA.....	47
4.1.1	Preparasi Ampas Tebu	47
4.1.2	Preparasi SCBA (<i>Sugarcanne Bagasse Ash</i>)	48
4.1.3	Ekstraksi Silika.....	49
4.2	Karakterisasi silika.....	51
4.2.1	Hasil XRF silika SCBA	51
4.2.2	Hasil XRD silika SCBA.....	52
4.2.3	Analisis FTIR Silika Hasil Ekstraksi	53
4.3	Sintesis Zeolit ANA.....	54
4.3.1	Sintesis Zeolit ANA berbasis Silika SCBA tanpa Menggunakan Pati dengan metode <i>Steam-Assisted Crystallization (SAC)</i>	54
4.3.2	Sintesis Zeolit ANA Berbasis Silika SCBA Menggunakan Pati sebagai Mesoporogen dengan metode <i>Steam-Assisted Crystallization (SAC)</i>	55
4.4	Analisis Zeolit Analasim	56
4.4.1	Analisis <i>X-Ray Diffraction (XRD)</i>	57

4.4.2	Karakterisasi BET Zeolit ANA SCBA	58
4.5	Persiapan Katalis	61
4.5.1	Persiapan H-ANA	61
4.5.2	Impregnasi Logam Ni	63
4.5.3	Karakterisasi Ni/H-ANA	64
4.6	Uji Aktvitas Katalitik.....	66
4.6.1	Penentuan Waktu Optimum	66
4.6.2	Penentuan Suhu Optimum	67
4.6.3	Penentuan Jumlah Katalis Optimum	69
4.6.4	Analisis Gula Pereduksi.....	70
V.	KESIMPULAN	72
5.1	Kesimpulan	72
5.2	Saran.....	73
	DAFTAR PUSTAKA	74
	LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Senyawa Kimia dalam Ampas Tebu	7
2. Contoh dari Mesoporogen yang dapat digunakan pada Zeolit ANA dengan Pori Intrakristalin	21
3. Komposisi Kimia SCBA	33
4. Komposisi Molar Preaksi Sintesis dengan Silika SCBA	42
5. Perhitungan Komposisi Molar Campuran Sintesis dengan Silika SCBA	43
6. Komposisi senyawa dalam silika SCBA	51
7. Pita Serapan dalam Silika SCBA	54
8. Data Analisis BET Zeolit ANA Menggunakan Mesoporogen Pati	59
9. Data Analisis BET Zeolit ANA tanpa Menggunakan Mesoporogen Pati	60

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Ampas Tebu	6
2. Abu Ampas Tebu	8
3. Struktur Bangun Kristalin Dan Amorf Pada Silika	9
4. Kerangka Zeolit.....	11
5. Kerangka Zeolit (A) Kerangka Cincin Dari Zeolit (B) Detail Struktur Atom Dalam Cincin.	12
6. (A) <i>Primary Building Unit</i> (PBU) Dan (B) <i>Secondary Building Unit</i> (SBU)	13
7. Kerangka Zeolit Analsim	14
8. Ilustrasi Zeolit Pori Hierarki	18
9. Struktur Glukosa	25
10. Struktur Fruktosa.....	26
11. Reaksi Isomerisasi Glukosa Menjadi Fruktosa	26
12. Ilustrasi Skema Dari Proses Kristalisasi Kristal Tunggal Zeolit.....	28
13. Alat Sintesis Secara SAC Atau Autoklaf	29
14. Skematik Dasar Perhitungan Bragg	30
15. Pola XRD Zeolit ANA Hierarki.....	31
16. Prinsip XRF.....	32
17. Tipe Grafik Adsorpsi-Desorpsi Isotherm.....	34
18. Isoterm Adsorpsi-Desorpsi Nitrogen Dari Sampel Zeolit ANA Mesopori Dan Mikropori	35
19. Spektra FTIR Material Komposit Zeolit ANA Dan Cu/ANA	37
20. Reaksi DNS Dengan Fruktosa	38
21. Ilustrasi Analisis Glukosa	39

22. Preparasi Ampas Tebu (A) Ampas Tebu (B) Proses Pencucian Ampas Tebu (C) Ampas Tebu Setelah Dikeringan	48
23. Abu Ampas Tebu	49
24. Ekstraksi Silika SCBA (A) Ekstraksi Abu (B) Natrium Silikat (C) Hidrogel (D) Hidrogel Setelah Dibilas (E) Silika	50
25. Difaktogram Silika SCBA	52
26. Spektra FTIR Silika SCBA	53
27. Sintesis Zeolit dengan Silika SCBA Tanpa Penambahan Pati (A) Pelarutan Prekursor (B) <i>Dry Gel</i> (C) Hasil Sintesis (D) Zeolit Silika SCBA.....	55
28. Sintesis Zeolit dengan Silika SCBA dengan Penambahan Pati (A) Pelarutan Prekursor (B) <i>Dry Gel</i> (C) Hasil Sintesis (D) Zeolit Silika SCBA.....	56
29. Difaktogram Zeolit ANA	57
30. Grafik Isotherm Zeolit ANA Mesoprogen Pati.....	58
31. Grafik Isotherm Zeolit ANA Tanpa Mesoprogen Pati.....	59
32. Jenis-Jenis Loop Histeresis Isoterm Adsorpsi/Desorpsi N ₂ dan Bentuk Pori .	61
33. Proses Pertukaran Ion pada Zeolit	62
34. Hasil Impregnasi (a) H-ANA Pati dan (b) H-ANA Tanpa Pati	64
35 Spektrum Ni-ANA, H-ANA dan Ni/H-ANA.....	65
36. Konversi Glukosa pada Waktu Bervariasi	67
37. Konversi Glukosa pada Suhu Bervariasi.....	68
38. Konversi Glukosa pada Jumlah Katalis Bervariasi.....	69
39 Hasil Analisis Produk Berdasarkan Jenis Katalis	70

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tebu (*Saccharum officinarum L*) merupakan tanaman perkebunan semusim yang masih termasuk ke dalam keluarga rumput-rumputan seperti halnya padi, glagah, jagung dan bambu. Tebu memiliki sifat tersendiri yaitu mempunyai zat gula hingga 20 % di dalam batangnya, tanaman tebu bisa hidup mulai dari dataran rendah sampai dataran tinggi. Tanah yang sesuai untuk tanaman tebu merupakan tanah yang dapat menjamin ketersediaan air secara optimal, keasaman tanah antara 5,5 -7,0 serta ketersediaan unsur hara. Tebu juga merupakan salah satu komoditas penting di bidang pertanian, karena hasil dari pengolahan tebu dapat dijadikan sebagai bahan baku pembuatan gula yang menjadi sumber kebutuhan industri dan rumah tangga. Mengingat pentingnya tanaman tebu, maka pengelolaan budidaya tanaman tebu banyak dikembangkan di berbagai daerah (Susilowati dan Tinaprilla, 2020). Pada saat ini, luas areal tanaman tebu di Indonesia dapat mencapai 344 ribu hektar dengan kontribusi utama adalah di daerah Jawa Timur (43,29 %), Jawa Tengah (10,07 %), Jawa Barat (5,87 %) dan Lampung (25,71 %) (Suryana, 2007).

Dalam memproduksi gula dari tebu, hal yang pertama dilakukan adalah menghancurkan batang tebu yang kemudian diambil cairannya untuk diproses menjadi gula. Sisa batang tebu yang telah dihancurkan disebut sebagai ampas tebu (*bagasse*). Berdasarkan data dari pusat penelitian perkebunan gula Indonesia (P3GI), ampas tebu yang dapat dihasilkan dari berat tebu yang digiling yaitu sebesar 32 %, pada jumlah tersebut, 60 % nya dapat digunakan sebagai bahan

bakar ketel uap (*boiler*) untuk penggerak mesin pabrik dan pembangkit tenaga listrik untuk perumahan karyawan dan perkantoran. Sedangkan, selebihnya dijual, digunakan untuk pakan ternak, bahan baku pembuatan pupuk dan pembuatan kertas (Kusumorini *et al.*, 2014). Namun, beberapa pabrik masih kurang memperhatikan pengolahan dari limbah ampas tebu yang jika diolah kembali akan meningkatkan nilai ekonomis dari limbah ampas tebu. Salah satu metode yang dapat dilakukan untuk meningkatkan pemanfaatan ampas tebu yaitu dengan proses pembakaran ampas tebu menjadi abu ampas tebu/ *sugarcane bagasse ash* (SCBA).

Berdasarkan beberapa hasil penelitian diketahui bahwa SCBA mengandung beberapa mineral diantaranya Si, Al, K, Ca, Mg, Fe, dan P. Pembakaran ampas tebu menghasilkan SCBA yang mengandung silika (SiO_2) yang cukup tinggi. Kandungan silika yang cukup tinggi tersebut menjadi salah satu alasan utama untuk menggantikan sumber silika yang lebih mahal, seperti bibit silika murni, asam silikat dan silika sol. Selain itu, silika ampas tebu mudah untuk didapatkan dan tidak membahayakan karena tidak beracun. Kandungan silika dalam abu ampas tebu sangat bervariasi tergantung dari kondisi pembakaran, jenis peleburan (*furnace*), iklim dan wilayah geografis. Menurut Purnawan *et al.*, (2018) kandungan abu ampas tebu dari hasil analisis *X-Ray Fluorescence* (XRF) adalah SiO_2 70,32; Al_2O_3 5,14; Fe_2O_3 7,38; CaO 7,38; MgO 2,41; K_2O 4,20 dan P_2O_3 2,58 %. Menurut Widati *et al.*, (2010) hasil dari *X-Ray Fluorescence* (XRF) kandungan SiO_2 adalah sebesar 88,7 %. Kandungan silika yang cukup melimpah dapat dimanfaatkan sebagai bahan sintesis zeolit.

Zeolit merupakan kristal aluminosilikat dari alkali dan alkali tanah yang tersusun atas $[\text{SiO}_4]^{-4}$ dan $[\text{AlO}_4]^{-5}$, serta membentuk struktur tetrahedral yang memiliki pori dengan ukuran pori mikro (< 2 nm). Zeolit menjadi salah satu material serbaguna terkait dengan karakteristik yang dimilikinya. Zeolit sendiri telah banyak diaplikasikan dalam berbagai bidang yaitu sebagai adsorben, katalis, penukar ion, penyaring molekul serta aplikasi baru dalam bidang sensor kimia, elektronik, magnetik dan kesehatan (Cejka *et al.*, 2007). Hal ini menyebabkan studi dan peneliti terkait sintesis, modifikasi dan aplikasi zeolit telah berkembang

sangat luas. Berdasarkan *International Zeolit Association* (IZA) ada 255 tipe zeolit salah satunya adalah zeolit analsim.

Zeolit analsim atau yang biasa disebut sebagai zeolit ANA, memiliki rumus molekul $\text{Na}_{16}(\text{Al}_{16}\text{Si}_{32}\text{O}_{96}) \cdot 16\text{H}_2\text{O}$. Zeolit ANA memiliki morfologi trapezohedral tidak teratur (*irregular trapezohedral*). Zeolit ANA termasuk ke dalam salah satu jenis zeolit alam dari 40 jenis zeolit alam lainnya. Dalam bidang industri, zeolit ANA telah banyak diaplikasikan sebagai adsorben pada proses pemurnian air, katalis heterogen yang selektif terhadap berbagai reaksi kimia dan juga telah diaplikasikan dalam pengembangan nanoelektronik (Aisyah, 2015). Zeolit ANA memiliki ukuran pori yang kecil yaitu 0,16-0,42 nm (Sun *et al.*, 2021), dimana ukuran pori ini dapat menghalangi proses difusi dari reaktan yang berukuran besar pada sisi aktif katalis (Narayanan *et al.*, 2014). Hal ini yang dapat menyebabkan terbentuknya kokas sehingga akan menurunkan aktivitas katalitik zeolit terutama dalam mengkatalisis reaksi-reaksi yang melibatkan reaktan dengan ukuran molekul yang lebih besar dari pada ukuran pori. Banyak peneliti kini telah melakukan modifikasi dari zeolit ANA pori mikro menjadi zeolit ANA dengan pori hierarki yang memiliki pori gabungan antara mikro dan meso tanpa menghilangkan sifat khas dari zeolit ANA.

Ada beberapa metode yang bisa digunakan dalam mensintesis zeolit pori hierarki yaitu menggunakan metode hidrotermal, *Steam Assisted Crystallization* (SAC), dan *Solid State Conversion* (SSC). Pada penelitian ini menggunakan metode SAC karena metode ini merupakan salah satu metode kristalisasi dengan menggunakan bantuan uap. Metode ini dapat digunakan sebagai metode alternatif dalam mensintesis zeolit ANA. Selain itu metode SAC mampu membentuk pori hierarki dengan menggunakan induksi gel mesopori dan dengan pemanfaatan gel homogen (Junliang *et al.*, 2016; Jia *et al.*, 2018). Akan tetapi, morfologi yang dihasilkan dari metode SAC masih terlihat berbentuk bola dengan ukuran yang sangat beragam (Rilyanti *et al.*, 2016), sehingga dibutuhkan mesoporogen untuk membuat morfologi yang dihasilkan menjadi seragam dengan ukuran yang sama. Mesoporogen yang digunakan pada penelitian ini adalah pati. Pati merupakan bahan yang ramah lingkungan serta mudah untuk didapatkan. Che *et al.*, (2019)

telah melakukan penelitian dengan memodifikasi suatu zeolit yang telah disintesis menggunakan *green mesoporous* seperti sukrosa, selulosa dan pati. Diketahui bahwa modifikasi menggunakan mesoporigen sukrosa dan selulosa hanya menunjukkan sedikit peningkatan ukuran pori yaitu sekitar 3,52-3,69 nm, sedangkan dengan menggunakan pati cukup besar yaitu 4,9 nm. Ukuran pori seperti inilah yang dapat menyebabkan ruang antar partikel kristal semakin meningkat untuk membentuk mesopori tambahan.

Zeolit ANA dapat dimanfaatkan dalam berbagai bidang seperti adsorben, agen penukar kation maupun katalis. Namun pada saat ini pemanfaatan zeolit ANA yang paling sering dilakukan adalah sebagai katalis (Kadja *et al.*, 2013). Karena zeolit ANA memiliki sifat keasaman yang kuat dari dehidroksilasi yang menghasilkan situs asam lewis serta pertukaran ion H^+ dengan kation penyeimbang pada kerangka zeolit sehingga menghasilkan situs asam Bronsted. Hal ini yang membuat zeolit ANA yang telah dimodifikasi menjadi katalis padat yang bagus dan menarik untuk transformasi gula, termasuk dalam mengisomerisasi glukosa menjadi fruktosa, dimana fruktosa yang telah dihasilkan sangat reaktif dalam memproduksi *5-hydroxymethylfurfural* yang dapat dijadikan bahan baku dalam pembuatan biodiesel (Ye *et al.*, 2021).

Zeolit ANA yang digunakan sebagai katalis masih memiliki kekurangan, yaitu tingkat keasaman yang dimiliki oleh zeolit masih rendah (Bordoloi *et al.*, 2015). Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk meningkatkan keasaman dari zeolit tersebut adalah dengan melakukan proses impregnasi logam. Impregnasi logam biasanya menggunakan logam transisi. Salah satu jenis logam transisi yang paling sering digunakan adalah logam nikel (Ni). Penggunaan logam Ni sebagai peningkat asam zeolit dikarenakan logam transisi orbital d yang masih kosong sehingga dapat meningkatkan sisi asam lewis pada zeolit, selain itu harga logam Ni yang masih relatif lebih murah dibandingkan logam transisi lainnya serta memiliki aktivitas katalitik yang baik (Trisunaryanti *et al.*, 2010).

Berdasarkan pemaparan tersebut, pada penelitian ini dilakukan ekstraksi silika dari SCBA dan mensintesis zeolit ANA pori hierarki dari silika SCBA dengan

menggunakan pati sebagai mesoporogen melalui metode SAC serta dilakukan uji katalitik pada reaksi isomerisasi glukosa. Selanjutnya, silika hasil ekstraksi dilakukan karakterisasi *X-Ray Fluoresence (XRF)*, *X-Ray Diffraction (XRD)*, *Fourier Transform Infra Red (FTIR)*, kemudian zeolit analsim hasil sintesis dikarakterisasi menggunakan *X-Ray Diffraction (XRD)*, *Surface Area Analyzer (SAA)* metode BET, *Fourier Transform Infra Red (FTIR)*. Zeolit yang telah dikarakteristik akan diuji aktivitas katalitiknya dengan analisis produk dari hasil reaksi isomerisasi menggunakan Spektrofotometer UV-Vis.

1.2 Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang yang telah dijabarkan, tujuan dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memperoleh silika melalui proses ekstraksi abu ampas tebu atau *Sugarcane baggase ash (SCBA)* yang digunakan sebagai prekursor dalam mensintesis zeolit ANA.
2. Memperoleh zeolit ANA pori hierarki dari silika SCBA dengan menggunakan pati sebagai mesoporogen melalui metode SAC.
3. Memperoleh zeolit hasil impregnasi logam Ni dan mempelajari hasil aktivitas katalitik zeolit ANA pori hierarki sebagai katalis pada reaksi isomerisasi glukosa.

1.3 Manfaat Penelitian

Selain sebagai informasi pengetahuan ilmiah, manfaat penelitian ini untuk meningkatkan pemanfaatan ampas tebu sebagai sumber silika-alumina yang ramah lingkungan pada sintesis zeolit analsim, sehingga dapat digunakan sebagai katalis dalam mengisomerisasi glukosa menjadi fruktosa. Dengan demikian, dapat meningkatkan nilai ekonomis dari pemanfaatan ampas tebu baik dalam bidang pertanian maupun industri.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Ampas Tebu

Ampas tebu (*bagasse*) merupakan campuran dari serat yang kuat, dengan jaringan parenkim yang lembut, yang memiliki tingkat higrokopis yang relatif tinggi dan dihasilkan melalui penggilingan tebu. Proses ekstraksi cairan tebu yang diolah pabrik gula memiliki hasil samping yang disebut dengan ampas tebu (*bagasse*) pada Gambar 1. Hasil dari ampas tebu yang didapat dari suatu pabrik gula sekitar 35-40 % dari berat tebu yang digiling.



Gambar 1. Ampas tebu

Ampas tebu termasuk biomassa yang mengandung lignoselulosa yang dapat dimanfaatkan menjadi sumber energi alternatif seperti bioetanol dan biogas. Ampas tebu memiliki kandungan lignin 24,2 %, selulosa 52,7 % dan hemiselulosa 20 % (Samsuri *et al.*, 2007), hanya 50 % industri yang memanfaatkan kembali limbah ampas tebu tersebut. Limbah ampas tebu dapat digunakan sebagai bahan bakar, bahan pembuat pulp kertas, pupuk organik dan pakan ternak

Pada saat ini masih banyak industri yang belum dapat mengembangkan produk-produk berbahan dasar ampas tebu. Sehingga beberapa peneliti melakukan identifikasi terhadap kandungan abu ampas tebu yang ternyata memiliki silika yang cukup tinggi. Menurut Widati *et al.*, (2010) dengan kandungan silika yang tinggi tersebut, abu ampas tebu dapat dimanfaatkan sebagai bahan utama dalam mensintesis zeolit.

2.2 Abu Ampas Tebu (*Sugarcane Bagasse Ash, SCBA*)

Abu ampas tebu atau *sugarcane bagasse ash* (SCBA) merupakan sisa dari pembakaran ampas tebu. Ampas tebu tersebut merupakan hasil limbah yang berlimpah dari proses pembuatan gula (30 % dari kapasitas giling). Komposisi kimia dari abu ampas tebu dapat dilihat pada Tabel 1, yang dapat menjelaskan bahwa kandungan dari senyawa kimia yang dominan adalah SiO₂ (silika) sekitar 46-81 %. Komposisi tersebut dapat menguntungkan untuk dilakukannya sintesis zeolit.

Tabel 1. Senyawa kimia dalam ampas tebu

No	Senyawa	Jumlah (%)
1	SiO ₂	70,32
2	Al ₂ O ₃	5,14
3	Fe ₂ O ₃	7,38
4	CaO	7,38
5	K ₂ O	4,20
6	MgO	2,41
7	P ₂ O ₅	2,58

(Purnawan *et al.*,2018)

Abu ampas tebu salah satu material sampah padatan *biodegradable* seperti pada Gambar 2. Abu ampas tebu biasanya digunakan sebagai pupuk dalam perkebunan tetapi tidak memiliki nutrisi mineral yang memadai untuk perkebunan tersebut (Sales dan Lima, 2010). Selain itu juga abu ampas tebu telah banyak digunakan

sebagai bahan dasar pembuatan keramik, zat aditif untuk semen, beton, dan campuran mortar, serta pembuatan keramik lempung (*clay*) (Faria *et al.*, 2012).



Gambar 2. Abu ampas tebu

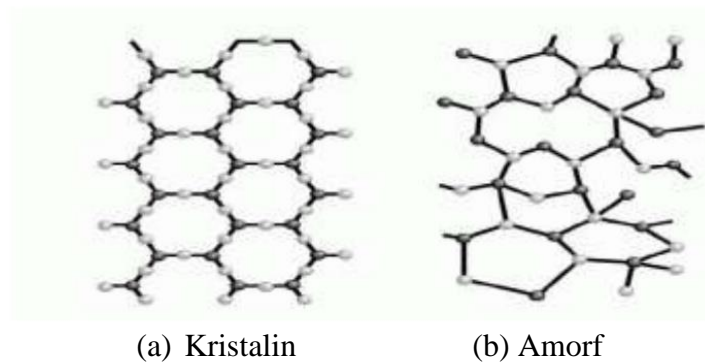
2.3 Silika

Silika atau kuarsa (*quartz*) adalah suatu mineral di mana jumlahnya sangat melimpah di permukaan kerak bumi, silika memiliki rumus kimia Si dan memiliki sifat yang menonjol yaitu kekerasannya yang cukup tinggi dan juga sangat tahan terhadap asam. Silika paling banyak ditemukan di alam dalam bentuk pasir dan sering disebut sebagai pasir silika atau pasir kuarsa. Silika di alam dapat berasal dari batuan beku dan batuan metamorf yang dapat dihancurkan melalui pelapukan dan mengalami transportasi dan pengendapan (Bergaya *et al.*, 2006).

Silika murni terdapat dalam dua bentuk yaitu kuarsa dan kristobalit. Silika selalu terikat secara tetrahedral pada ke empat atom oksigen, namun ikatan-ikatannya mempunyai sifat yang cukup ionik. Pada kristobalit, atom-atom pada silika yang ditempatkan seperti halnya pada atom-atom karbon pada intan dengan atom-atom oksigen berada di tengah dari setiap pasangan tersebut, sedangkan dalam kuarsa terdapat *heliks* sehingga dapat terbentuk kristalenansiomorf. Kuarsa dan kristobalit dapat saling bertukaran apabila dipanaskan, akan tetapi proses ini sangat lambat karena dibutuhkan pemutusan dan pembentukan kembali ikatan-ikatan dan energi pengaktifannya cukup tinggi. Silika tidak reaktif terhadap H₂,

Cl_2 , asam-asam dan sebagian besar logam yang berada pada suhu $25\text{ }^\circ\text{C}$ atau pada suhu yang relatif tinggi, tetapi silika dapat di serang oleh HF akua, hidroksida alkali, F_2 dan leburan-leburan karbonat (Erbachan, 2019).

Secara umum silika dapat dibedakan menjadi 2 berdasarkan bentuknya yaitu bentuk kristalin dan bentuk amorf. Perbedaan yang paling umum dari kedua jenis ini adalah bahwa silika kristalin merupakan bahan yang terbuat dari silika alamiah yang banyak terdapat di alam seperti batuan bumi, pasir, granit dan abu vulkanik. Bentuk dari silika kristalin antara lain bentuk kuarsa (*quartz*), *tridymite* dan kristobalit. Sedangkan silika amorf berasal dari produk samping bahan alami dan zeolit sintetik. Silika amorf yang berasal dari alam contohnya dapat seperti kalsin dan *flux* kalsinasi. Silika amorf dari bahan sintetik yaitu ampas tebu, sekam padi dan lain sebagainya, sementara contoh silika amorf dari produk sampingan yaitu *fused silica* dan *fume silica* (Boinski *et al.*, 2010).



Gambar 3. Struktur bangun kristalin dan amorf pada silika (Handoyo, 1996).

Berdasarkan Gambar 3 silika amorf memiliki unit atau struktur bangun yang kurang teratur sehingga masih terlalu reaktif, sedangkan kristalin memiliki keteraturan yang sempurna dan bentuk unit yang dimiliki kaku sehingga kurang reaktif dibandingkan dengan amorf. Pada suhu yang tinggi dan menggunakan waktu yang lama silika amorf akan berubah menjadi padatan kristalin dengan sendirinya.

2.4 Ekstraksi Silika dari Abu Ampas Tebu

Dalam memproduksi silika dari biomassa dapat dilakukan dengan menggunakan proses *leaching* secara kimia dan proses pembakaran untuk menghilangkan karbon yang ada pada biomassa tersebut (Atta *et al.*, 2012). *Leaching* merupakan salah satu metode pelarutan yang terarah dari satu atau lebih senyawa. Pelarut tersebut akan melarutkan sebagian bahan padatan sehingga bahan dapat terlarut sesuai dengan yang diinginkan.

Secara umum ekstraksi silika menggunakan larutan alkali (NaOH) dari ampas tebu yang dapat ditingkatkan atau dipermudah dengan melakukan proses *pretreatment* terhadap ampas tebu. Proses *pretreatment* tersebut dapat dilakukan dengan 2 cara yaitu sebagai berikut:

1. Metode pembakaran (termal)

Silika dapat diperoleh dari ampas tebu melalui proses pembakaran (Atta *et al.*, 2012). Pembakaran tersebut dapat bertujuan untuk mengubah senyawa organik berupa selulosa, hemiselulosa dan lignin dalam ampas tebu menjadi karbon yang kemudian dapat dipisahkan dengan cara ekstraksi. Penghilangan senyawa organik yang terkandung di dalam ampas tebu dapat mempermudah proses ekstraksi sehingga didapatkan silika dengan kemurnian yang cukup tinggi (Candra *et al.*, 2012).

2. Metode tanpa pembakaran (non-termal)

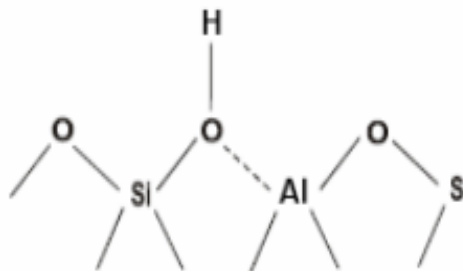
Proses non-termal ini menggunakan larutan asam yang digunakan sebagai perlakuan awal ampas tebu yang akan sangat membantu menghasilkan silika dengan komposisi yang cukup tinggi dibandingkan dengan mineral lainnya.

Zat-zat anorganik pengotor yang ada di dalam ampas tebu seperti mineral-mineral dalam jumlah yang sedikit dapat dihilangkan dengan melakukan perlakuan asam seperti menggunakan larutan H_2SO_4 , HCl atau HNO_3 . Senyawa-senyawa anorganik ini harus dapat dihilangkan sebelum proses pembakaran karena akan dapat menghambat pembentukan silika yang memiliki struktur amorf. Namun

demikian, metode non-termal jarang untuk digunakan karena proses penghilangan pengotor dapat berlangsung cukup lama, oksidator asam dapat menyebabkan korosi, butuh perlakuan khusus untuk pembuangan limbah yang dihasilkan sehingga memerlukan dana yang cukup besar (Candra *et al.*, 2012).

2.5 Zeolit

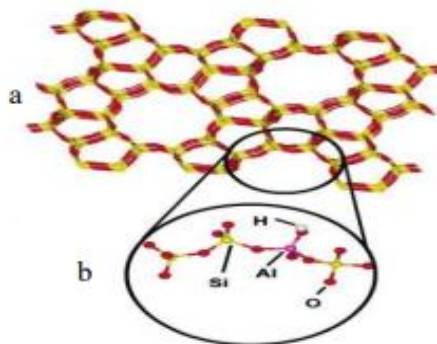
Zeolit merupakan material kristal berpori yang mengandung pori-pori molekul dengan ukuran (5-12 Å atau 0.15-1,2 nm). Nama zeolit berasal dari bahasa Yunani "zeo" yang berarti mendidih, dan "litos" yang berarti batu jadi zeolit memiliki arti yaitu batu mendidih. Sehingga dari pengertiannya zeolit memiliki kemampuan untuk menyerap air serta melepaskannya saat dilakukan pemanasan. Zeolit konvensional didasarkan pada kerangka silikat yang disubstitusi dari beberapa Si dengan Al atau pada logam lainnya yang mengarah pada muatan negatif pada suatu kerangka, dengan kation yang biasanya Na atau alkali dan alkali tanah logam lainnya dalam suatu struktur pori. Kerangka zeolit disusun dari satuan-satuan tetrahedral $[\text{SiO}_4]^{4-}$ dan $[\text{AlO}_4]^{5-}$ dengan atom oksigen sebagai penghubung antara atom silikon dan aluminium yang dapat digabungkan secara tiga dimensi dan dapat ditunjukkan sebagai TO_4 , dimana T = Si atau Al. Penggabungan satuan tetrahedron satu dengan yang lainnya dapat terjadi dengan adanya pemakaian bersama suatu atom oksigen oleh dua tetrahedral, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4 tetrahedral $[\text{AlO}_4]^{5-}$ yang bermuatan negatif, sehingga zeolit alam atau zeolit sintesis dapat memerlukan kation logam alkali (Na^+ , K^+) atau alkali tanah (Ca^{2+} , Ba^{2+}) sebagai pusat penyeimbang muatan yang dapat menjaga kenetralan pada muatan zeolit.



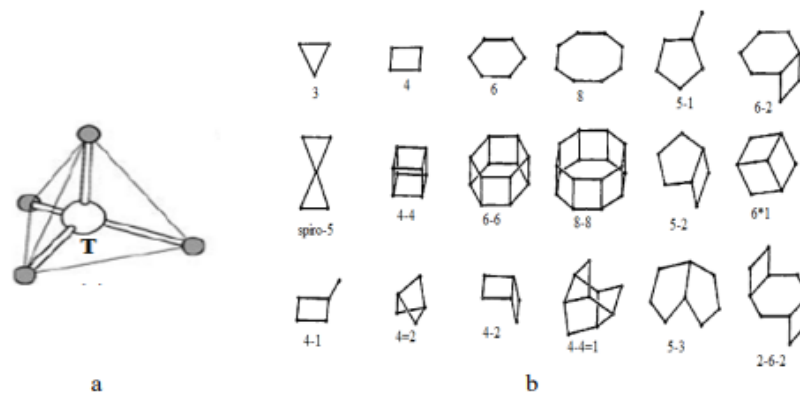
Gambar 4. Kerangka zeolit (Smart dan Moore, 1993).

Zeolit merupakan suatu kristal aluminosilikat dari suatu alkali dan alkali tanah yang tersusun dari $[\text{SiO}_4]^{4-}$ dan $[\text{AlO}_4]^{5-}$ dan membentuk suatu kerangka yang teratur (Patdhanagul *et al.*, 2010). Zeolit pada mulanya dikenal sebagai mineral alam yang dapat dimanfaatkan untuk adsorpsi, media dehidrasi, katalis dan pertukaran ion oleh peneliti pada tahun 1880. Mineral zeolit ditemukan pertama kali oleh seorang mineralogist asal swedia yang bernama Cronstedt pada tahun 1756 (Johnson dan Arshad, 2014). Pada dasarnya zeolit mengandung silika, oksigen, alumina dan kation dalam struktur kerangkanya. Sehingga zeolit memiliki rumus umum yaitu pada $M_{X/N}[\text{Si}_{1-x}\text{Al}_y\text{O}_z].m\text{H}_2\text{O}$, dimana M adalah kation logam dengan valensi n. X merupakan jumlah atom Si, Y adalah jumlah atom Al dan z jumlah atom O (Xu *et al.*, 2007). Struktur dari suatu zeolit dapat terdiri atas *Primary Building Unit* (PBU), unit pembangun rongga (*cage*), unit pembangun polihedral dan *Secondary Building Unit* (SBU).

Primary Building Unit (PBU) adalah unit tetrahedral TO_4 . *Secondary Building Unit* (SBU) terbentuk dari gabungan beberapa PBU dimana terdiri atas cincin 3, 4, 5, 6 dan 8 (n-MR) pada Gambar 5. Unit pembangunan rongga (*cage*) atau unit pembangunan polihedra merupakan gabungan dari SBU yang saling berikatan untuk dapat membentuk struktur tiga dimensi yang dimana bentuknya seperti sangkar (*cage*) pada Gambar 6. Pada umumnya cage digambarkan dalam bentuk n-cincin yang dapat memberikan ciri penampang dari zeolit (Xu *et al.*, 2007).



Gambar 5. Kerangka zeolit (a) kerangka cincin dari zeolit (b) detail struktur atom dalam cincin (Cundy dan Cox, 2003).



Gambar 6. (a) *Primary building unit* (PBU) dan (b) *secondary building unit* (SBU) (Xu *et al.*, 2007).

Secara umum zeolit dapat terbagi menjadi 2 jenis yaitu :

1. Zeolit Alam

Zeolit alam terbentuk karena adanya proses kompleks antara kimia atau fisika pada suatu batuan-batuan yang akan mengalami berbagai proses perubahan dalam yang terjadi secara alami. Komposisi dari zeolit alam dapat bervariasi, namun yang menjadi komponen utamanya adalah tetap silika dan alumina. Pada kedua komponen utama tersebut masih ada beberapa kandungan atau komponen minor seperti K, Ca, Mg dan Fe. Zeolit alam memiliki keunggulan yaitu harganya yang relatif murah, mudah untuk didapatkan dan memiliki aplikasi yang luas. Terlepas dari keunggulan yang dimilikinya zeolit juga memiliki kelemahan yaitu diantaranya masih mengandung banyak pengotor. Dimana keberadaan pengotor ini dapat berdampak pada aktivitas zeolit yang kurang baik. Salah satu solusi dalam meningkatkan efektifitas zeolit alam adalah dengan melalui aktivitas dan modifikasi dari zeolit tersebut.

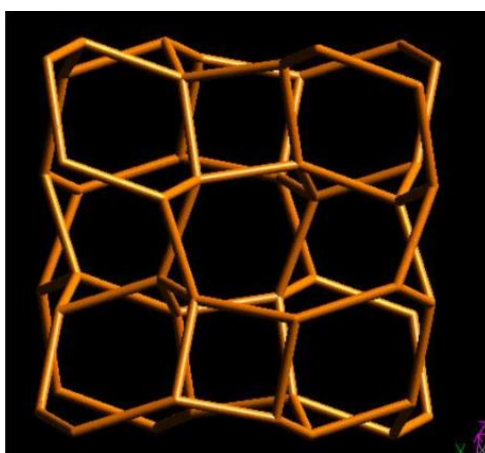
2. Zeolit Sintetik

Berbeda dengan zeolit alam yang harus dibuat dan direkayasa sedemikian rupa agar diperoleh karakteristik zeolit yang diinginkan sesuai dengan tujuan penggunaannya. Prinsip dasar dari pembuatan zeolit sintetik dengan menggunakan bahan baku yang dapat menjadi sumber komponen utama dari zeolit, yaitu silika dan alumina, sehingga dapat disintesis dengan perbandingan komposisi tertentu untuk memperoleh jenis zeolit yang diinginkan. Dengan ini, zeolit sintetik

memiliki kemurnian yang lebih tinggi dibandingkan dengan zeolit alam (Hidayat *et al.*, 2019).

2.6 Zeolit Analsim (ANA)

Zeolit analsim merupakan zeolit mikropori dengan rumus molekul $\text{Na}_{16}(\text{Al}_{16}\text{Si}_{32}\text{O}_{96}) \cdot 16\text{H}_2\text{O}$. Kerangka zeolit analsim tidak teratur (*irregular channel*) seperti pada Gambar 7. Zeolit ANA merupakan salah satu zeolit alam, namun demikian masih dapat disintesis dalam skala laboratorium. .



Gambar 7. Kerangka zeolit analsim (Aisyah, 2015)

Zeolit ANA membentuk fasa kristal dengan puncak tertinggi yang khas pada posisi $2\theta = 15,85^\circ$; $26,01^\circ$ dan $30,61^\circ$. Hal tersebut membuktikan bahwa terbentuknya fasa kristal yang merupakan intensitas dan jenis kristal berbentuk *cubic* (Kafillah dan Nurlina, 2018). Zeolit ANA merupakan salah satu zeolit dengan tingkat silika yang rendah. Zeolit ANA ini banyak terdapat di alam dan dapat digunakan sebagai katalis heterogen. Ukuran pori yang kecil sekitar 0,16 – 0,42 nm memungkinkan zeolit ANA untuk diaplikasikan sebagai adsorben, katalis, dan penukar ion, bahkan baru-baru ini zeolit ANA diaplikasikan oleh ahli elektronik dalam mensintesis material murni yang terdispersi dengan baik dari struktur zeolitik. Aplikasi dalam bidang lain adalah dalam stomatology dan keramik untuk gigi tiruan (Sandoval *et al.*, 2009), sebagai tambahan ANA juga digunakan dalam matrik penyimpanan material radioaktif (Aisyah, 2015).

Perkembangan sintesis ANA juga telah dilakukan oleh beberapa peneliti salah satunya variasi sumber silika dan alumina. Zeolit ANA telah disintesis dari sekam padi sebagai sumber silika dan kaolin sebagai sumber alumina (Atta *et al.*, 2012). Selain dari sekam padi, ternyata zeolit ANA juga dapat disintesis dari abu ampas tebu yang memiliki kandungan silika dan alumina yang cukup tinggi sehingga tidak memerlukan alumina tambahan dalam mensintesis zeolit ANA.

2.7 Sintesis Zeolit

Zeolit dapat terbentuk di alam secara alami dan dapat ditimbang secara global namun juga dapat disintesis dalam skala laboratorium. Menurut Cejka *et al.*, (2007), ada beberapa faktor yang dapat mempengaruhi proses pembentukan kristal dalam sintesis zeolit, diantaranya sumber Si/Al, rasio Si/Al, jumlah H₂O, cetakan organik, kation anorganik, alkalinitas, komposisi molar pereaksi.

1. Sumber Si/Al

Sumber silika yang biasa digunakan dalam sintesis zeolit biasanya yaitu: silika koloid (LUDOX), tetraetil orto silikat (TEOS), Cab-O-Sil (*Fumed Silica*), tetrametil orto silika (TMOS), dan natrium silikat (Na₂SiO₃). Karakteristik suatu polisilikat dapat berbeda dengan sumber silika yang lain. Karakteristik ini dapat memainkan peran penting dalam proses nukleasi dan kristalisasi zeolit. Perbedaan luas permukaan dari sumber silikon akan dapat memberikan efek terhadap laju pengkristalan, ukuran kristal, dan distribusi ukuran partikel terhadap zeolit hasil sintesis. Silika yang memiliki luas permukaan yang sangat mudah larut dalam medium basa dibandingkan dengan silika yang memiliki luas permukaan yang kecil. Silika jenis ini lebih mudah membentuk kristal dengan ukuran yang lebih kecil sedangkan kristal dengan luas permukaan yang kecil dan kelarutan yang rendah lebih cenderung untuk membentuk kristal yang besar. Selain sumber silika, sumber alumina juga dapat memberikan pengaruh yang cukup besar terhadap laju pengkristalan suatu zeolit. Sumber alumina yang biasanya digunakan dapat berupa natrium alumina (NaAlO₂), alumina hidroksida (Al(OH)₃), aluminium isopropoksida (C₉H₂₁AlO₃), aluminium nitrat (Al(NO₃)₃), aluminium sulfat (Al₂(SO₄)₃), atau logam aluminium (bubuk Al atau foil).

2. Rasio Si/Al

Rasio Si/Al dapat berperan dalam menentukan struktur dan komposisi dari kristal produk. Secara umum zeolit dengan perbandingan Si/Al yang rendah ($\text{Si/Al} \leq 5$) seperti zeolit A (LTU), X(FAU), dan ANA yang dapat disintesis dengan campuran reaksi Si/Al yang rendah dan alkali yang kuat. Sementara itu, zeolit dengan rasio Si/Al yang tinggi ($\text{Si/Al} > 5$) seperti zeolit beta (BEA), ZSM-11 (MEL), dan MFI dapat dipeparasi dari gel dengan rasio Si/Al yang tinggi dan memiliki tingkat kebebasan yang rendah atau dalam medium.

3. Jumlah H₂O

Dalam mensintesis zeolit secara hidrotermal, air yang digunakan dapat berperan sebagai pelarut. Jumlah air dalam suatu campuran reaksi akan dapat mempengaruhi konsentrasi dari suatu reaktan sehingga berpengaruh juga kepada proses kristalisasi dari zeolit tersebut. Dengan demikian mengubah jumlah air akan menyebabkan perubahan laju kristalisasi zeolit.

4. Cetakan (*template*) organik

Kation organik dapat berperan sebagai pengisi rongga kosong yang dapat mengarahkan pembentukan struktur spesifik dari zeolit (*Structure directing agent/SDA*), antara kerangka zeolit dengan SDA terjadi interaksi karena disebabkan adanya gaya Van Der Waals. Dengan demikian, hidropobisitas dan hidrofilitas ion organik yang berperan sebagai SDA, sangat berpengaruh terhadap rasio Si/Al dalam melakukan sintesis zeolit.

5. Kation Anorganik

Kation anorganik dapat berasal dari basa hidroksida logam alkali (MOH) sebagai sumber basa dalam sintesis zeolit. Basa logam alkali yang biasa digunakan adalah natrium hidroksida (NaOH) dan kalium hidroksida (KOH). Perbedaan kation anorganik akan memengaruhi pembentukan unit kerangka penyusun pada zeolit yang tentunya juga dapat mempengaruhi jenis zeolit yang di hasilkan. Beberapa zeolit seperti ANA, CAN, FAU (X dan Y), MOR, LTA, dan SOD dapat terbentuk dengan kehadiran ion Na⁺ sebagai kation anorganik, sedangkan zeolit NAT, PAU,

OFF, dan PHI terbentuk dengan adanya kation K^+ . Hal ini dikarenakan kation anorganik juga dapat berperan sebagai agen pengarah struktur.

6. Alkalinitas (Kebasaan)

Alkalinitas memberikan kontribusi terhadap rasio OH-/Si atau rasio H_2O/Na_2O . Sifat alkali yang tinggi dapat meningkatkan kelarutan silika dan alumina serta dapat juga mempercepat polimerisasi dari ion polisilikat dan aluminat. Proses induksi, nukleasi, dan kristalisasi dapat dipercepat dengan meningkatkan alkalinitas. Disamping itu, tingkat kebasaaan juga dapat mempengaruhi ukuran pada partikel dan morfologi zeolit.

7. Komposisi molar pereaksi

Komposisi molar pada campuran pereaksi dapat memberikan peranan penting terhadap kristalisasi zeolit. Hal-hal yang berkaitan dengan komposisi molar pereaksi adalah sumber prekursor, rasio Si/Al, alkalinitas (Kebasaan), jumlah H_2O , kation anorganik, dan *template* organik.

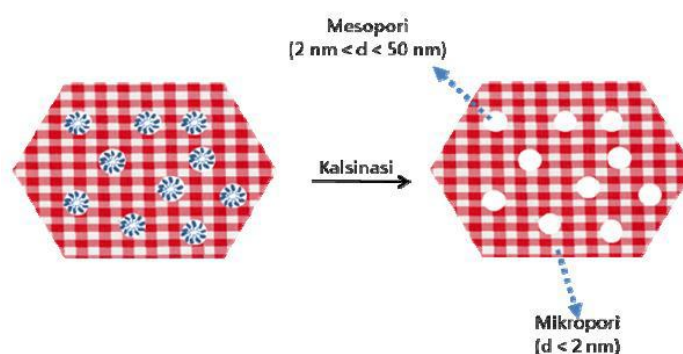
2.8 Sintesis Zeolit Pori Hierarki

Zeolit hierarkis adalah salah satu jenis zeolit yang memiliki paling sedikit dua tingkat porositas. Tingkat porositas sendiri terbagi dalam tiga jenis, yaitu mikropori (< 2 nm), mesopori (2-50 nm), dan makropori (>50 nm). Zeolit hierarkis saat ini banyak diminati karena sering digunakan sebagai katalis yang mampu menyelesaikan masalah pada industri petrokimia seperti mempercepat reaksi hidrolisis dan reaksi isomesrisasi. Masalah yang biasa ditemukan pada reaksi katalitik ini menyangkut kepada hambatan difusi molekul, deaktivasi katalis, rendahnya rendemen produk dan selektivitas produk. Hal ini dapat terselesaikan karena zeolit hierarkis memiliki pori tambahan yang berskala meso (>2 nm) selain keberadaan pori mikro (Kadja *et al.*, 2013).

Menurut Cejka *et al.*, (2007), zeolit pori hierarki dapat membuat reaktan mudah masuk kedalam porinya, sehingga tumbukan reaktan dengan situs aktifnya menjadi efektif dan juga reaktan mudah untuk keluar menjadi produk, sehingga

dapat mengurangi tingginya residu karbon dan hambatan difusi. Zeolit pori hierarki dapat secara efektif disintesis melalui metode kristalisasi penguapan (*Steam-Assisted Crystallization (SAC)*) yang dapat membantu meningkatkan hasil produknya, mengurangi pembuangan air limbah, dan dapat menghindari pemisahan fasa antara templet dan prekursor aluminosilikat (Zhang *et al.*, 2018)

Zeolit pori hierarki dapat mengatasi masalah hambatan difusi molekul, deaktivasi katalis, rendahnya rendemen produk dan selektivitas produk dikarenakan zeolit pori hirarki memiliki pori mikro (<1 nm) dan pori tambahan berskala meso (>2 nm). Zeolit pori hierarki dapat dibuat dengan bantuan templet, yang mana templet tersebut akan hilang setelah dilakukan kalsinasi (Rilyanti *et al.*, 2016). Bentuk ilustrasi dari zeolit pori hierarki dapat dilihat pada Gambar 8



Gambar 8. Ilustrasi zeolit pori hierarki (Kadja *et al.*, 2013)

Zeolit ANA merupakan salah satu zeolit yang sering digunakan dalam industri. Zeolit ANA dapat digunakan sebagai katalis aktif ataupun pendukung katalis dalam serangkaian reaksi dalam sebuah industri pengolahan minyak bumi. ANA mempunyai kativitas katalitik yang sangat tinggi, selektivitas bentuk yang baik dan juga memiliki struktur pori yang baik sehingga dapat digunakan dalam berbagai reaksi dalam suatu industri (Rahimi dan Karimzadeh, 2011). Diameter dari pori zeolit ANA berada dalam rentang 0,16-0,42 nm, dimana ukuran pori seperti ini terlalu kecil dan dapat menghalangi proses difusi dari suatu reaktan yang berukuran besar pada sisi aktif katalis (Narayanan *et al.*, 2014). Pada saat ini banyak peneliti yang telah melakukan modifikasi zeolit ANA dengan pori hierarki yang memiliki pori gabungan antara mikropori dan mesopori agar reaktan dengan

ukuran besar dapat masuk ke dalam pori dan dapat terdifusi pada sisi aktif suatu katalis (Song *et al.*, 2017).

Pori hierarki yang terbentuk berada pada intrakristal yaitu interkristal dari celah antar lapisan zeolit dan interkristal dari agregat nanokristal (Schwieger *et al.*, 2016). Sintesis dari ANA pori hierarki ini telah banyak dilakukan para peneliti dengan berbagai metode pembentukan pori meso. Metode yang digunakan untuk membentuk pori meso umumnya terbagi menjadi dua yaitu *top-down* dan *bottom-up* (Feliczak-Guzik, 2018). Pada metode *top-down*, pembentukan pori kedua dari ANA yaitu pori meso dapat dilakukan melalui modifikasi pasca-sintesis (*post-synthesis*) seperti proses dealuminasi dan desilikasi (Wang *et al.*, 2017). Sedangkan, metode *bottom-up*, pembentukan pori kedua (pori meso) dilakukan dengan penggunaan *template* atau modifikasi kondisi sintesis (*non-template*).

2.9 Mesoporogen

Dalam mensintesis zeolit terstruktur memiliki dua katalog strategi, yaitu “konstruktif” (*bottom-up*) dan “dekonstruktif” (*top-down*) yang telah dikembangkan. Dibandingkan dengan rute “dekonstruktif” yang menciptakan sistem pori sekunder melalui ekstraksi preferensi elemen kisi zeolit dengan asam pasca sintetik, alkali. Metode “konstruktif”, sering disebut metode *template* yang bergantung pada desain atau seleksi rasional templat berpori dan prosedur sintesis. Mesoporogen memiliki fungsi sebagai pengarah struktur yang berurutan dari berbagai porogen skala panjang, kombinasi mikroporogen molekul kecil dan mesoporogen besar adalah praktik umum dalam mensintesis zeolit. Namun, hal ini dapat mengalami persaingan terkait antara dua porogen ketika *template* mesopori surfaktan biasa digunakan, dan produk yang dihasilkan sering merupakan komposit mesopori dengan dinding kerangka zeolitik, sehingga mengatasi masalah ini, peneliti telah membuat kemajuan besar melalui adopsi positif mesoporogen polimer bermuatan untuk memperkuat interaksinya dengan prekursor zeolit negatif (Ge *et al.*, 2016).

Sebagian besar metode sintesis yang dikenal saat ini menggunakan cetakan mesopori untuk mengontrol pembentukan mesoporitas tambahan. Namun, mesoporositas juga dapat terjadi pada bahan zeolit tanpa cetakan. Jika menggunakan metode cetak, digunakan suatu mesoporogen (agen pengarah mesopori) agar kristal zeolit yang tercetak memiliki porositas tambahan dengan ukuran meso atau makro. Terdapat dua jenis metode cetak, yaitu metode cetak keras (*hard templating*) dan metode cetak lunak (*soft templating*).

1. Metode Cetak Keras (*Hard Templating*)

Metode cetak keras atau yang biasa disebut dengan *hard templating* banyak dilakukan dengan penambahan material padat dengan struktur yang kaku ke dalam gel zeolit dan dapat bertindak sebagai mesoporogen selama proses kristalisasi zeolit. Penghilang cetakan keras ini dapat dilakukan dengan proses kalsinasi. Cetakan keras memiliki sifat yang kaku dan hanya dapat berinteraksi secara fisik dengan sumber anorganik dan dapat berfungsi sebagai pengarah mesoporositas (He *et al.*, 2016).

2. Metode cetak lunak (*soft templating*)

Pada metode ini menggunakan kumpulan dari template supramolekul, seperti misel surfaktan dan polimer sebagai mesoporogen, yaitu pada struktur misel yang terbentuk yang dapat direkayasa dengan cara mengatur pemilihan surfaktan berdasarkan muatannya, gugus fungsi maupun packing parameter. Pada metode mesoporogen ini tidak hanya bertindak sebagai pengarah struktur tetapi juga dapat berinteraksi secara kimiawi dengan prekursor anorganik (Kadja *et al.*, 2013).

Soft-template (ST) yang baru dibuat dan telah berhasil digunakan sebagai mesoporogen untuk dapat mensintesis zeolit ANA pori hierarkis dengan mesoporositas yang baik dan faktor hierarki yang tinggi. *Soft-template* yang diproduksi dapat terhubung terus dengan kerangka zeolit oleh ikatan kovalen –Si–O–Si– selama proses hidrotermal suhu tinggi proses kristalisasi. Jenis mode koneksi ini dapat secara efektif menghindari pembentukan bahan amorf, dan struktur spesifik dari *soft-template* ini dapat secara efisien memasukkan banyak mesopori dengan sedikit mikropori dapat diketahui bahwa mesoporogen tidak

hanya harus memiliki kelompok hidrofobik untuk memperluas ruang dan menyediakan kondisi dalam pembentukan mesopori, tetapi juga harus memiliki koneksi yang bagus seperti metode dengan prekursor zeolit selama proses kristalisasi suhu tinggi (Song *et al.*, 2017).

Tabel 2. Contoh dari mesoporogen yang dapat digunakan pada zeolit ANA dengan pori intrakristalin

Mesoporogen	Ukuran Pori (nm)	Referensi
N-doped carboneous	12-16	(Dagle <i>et al.</i> , 2014)
Glukosa	2,3-7,2	(Nandan <i>et al.</i> , 2014)
Sukrosa	3,52	(Che <i>et al.</i> , 2019)
Selulosa	3,69	
Pati	4,90	
CaCO ₃	50-100	(Zhu <i>et al.</i> , 2013)

Katalis zeolit ANA berstruktur mikro mesopori dapat disintesis dan dimodifikasi dengan menggunakan template hijau (sukrosa, selulosa, dan pati) seperti pada Tabel 2 untuk memperkenalkan mesopori tambahan. Ditemukan bahwa katalis yang dimodifikasi menggunakan templet sukrosa dan selulosa hanya menunjukkan sedikit peningkatan ukuran pori, sedangkan ukuran mesopori ANA (dimodifikasi dengan templat pati) mencapai hingga 03,52 nm. Peningkatan ini mendorong pemecahan oksigenat yang besar dan menekan reaksi polimerisasi pada permukaan zeolit ANA, sehingga menghasilkan lebih banyak produk aromatik. Penambahan pati dapat menyebabkan ruang antara partikel kristal semakin meningkat untuk membentuk mesopori tambahan, yang menghasilkan hasil organik dan aromatik tertinggi.

2.10 Impregnasi Logam nikel (Ni)

Pengembangan logam pada zeolit menjadi salah satu usaha untuk memperbaiki dan mengatasi kelemahan katalis logam murni karena penggunaannya memiliki beberapa kekurangan seperti, stabilitas termal yang rendah, mudah mengalami penurunan luas permukaan akibat pemanasan dan mudah mengalami *sintering* (penggumpalan) serta harganya yang tinggi. Pemakaian zeolit sebagai pengembangan memberikan dasar yang stabil sehingga dapat memperbesar luas permukaan katalis dan memperpanjang waktu pakai katalis. Pengembangan logam pada zeolit juga mampu meningkatkan jumlah situs asam total (keasaman) katalis. Jumlah situs ini penting karena menjadi salah satu penentu aktivitas katalis. Hingga saat ini telah banyak penelitian melakukan memodifikasi zeolit menjadi logam zeolit dengan cara memasukkan logam dengan metode impregnasi (Hassan *et al.*, 2020)

Impregnasi didefinisikan sebagai salah satu metode dalam preparasi katalis yang paling sederhana dan mudah. Metode impregnasi dilakukan dengan cara mengadsorpsi komponen aktif logam dalam larutan kepada padatan pengembangan, dalam hal ini yang digunakan adalah zeolit. Tujuan dari impregnasi adalah untuk memenuhi pori zeolit dengan larutan logam dengan konsentrasi tertentu. Metode impregnasi juga sangat cocok untuk katalis dengan persen berat komponen aktif katalis yang kecil, yaitu komponen aktif yang termasuk logam mulia semacam platina, namun diharapkan terdistribusi sempurna sehingga diperoleh luas permukaan komponen aktif yang besar (Dewi *et al.*, 2016).

Terdapat dua metode impregnasi, yaitu impregnasi basah (*wet impregnation*) dan impregnasi kering (*dry impregnation*). Impregnasi basah, jumlah larutan prekursor fasa aktif ditambahkan ke penyangga melebihi volume pori penyangga. Walaupun metode ini adalah yang termudah, tetapi dapat menghasilkan deposisi prekursor fasa aktif yang sangat banyak pada bagian luar penyangga setelah dikeringkan dan menghasilkan distribusi fasa aktif mirip kulit telur pada bagian luar penyangga. Distribusi seperti ini bermanfaat bila dilihat dari sisi aplikasi karena dapat mengurangi kebutuhan penetrasi reaktan ke dalam katalis, sehingga

dapat meningkatkan aktivitas katalis. Impregnasi kering, metode ini sering juga disebut impregnasi tetes menggantung (*incipient wetness impregnation*), pada metode ini, jumlah larutan prekursor fasa aktif (impregnasi) yang ditambahkan sama dengan jumlah volume penyangga. Keuntungan dari metode ini adalah akurat dalam mengontrol komponen aktif yang akan digabungkan dalam katalis, kelemahannya sulit melakukan pembuatan dengan % berat komponen aktif yang besar.

Logam nikel (Ni) merupakan salah satu logam transisi yang umum digunakan dalam pengembangan zeolit. Pada sistem periodik unsur, logam nikel terdapat pada golongan VIII B dengan konfigurasi elektron $3d^8 4s^2$. Konfigurasi elektron tersebut menunjukkan bahwa atom nikel memiliki orbital $3d$ yang belum terisi penuh. Oleh karena itu logam nikel akan dengan mudah membentuk ikatan kovalen koordinat sehingga pembentukan zat antara pada permukaan katalis akan lebih mudah (Irvantino, 2013). Penggunaan logam nikel sebagai pengemban pada zeolit disebabkan karena harga logam nikel yang murah serta memiliki aktivitas katalitik yang baik akibat adanya orbital d yang kosong sehingga dapat meningkatkan sisi asam lewis pada zeolit (Trisunaryanti *et al.*, 2003)

2.11 Katalis

Katalis merupakan salah satu zat yang dapat mempercepat laju reaksi kimia dengan cara menurunkan energi aktivasi reaksi tersebut. Energi aktivasi adalah energi minimum yang diperlukan untuk membentuk suatu produk (Raidah, 2012). Berdasarkan fasa reaktan dan fasa katalis yang digunakan, reaksi katalitik dapat dibedakan menjadi reaksi katalitik homogen dan reaksi katalitik heterogen. Katalis homogen adalah katalis yang memiliki fase yang sama dengan reaktan dan produk, sedangkan katalis heterogen adalah katalis yang fasenya berbeda dengan reaktan dan produk. Katalis homogen yang banyak digunakan alkoksida logam seperti KOH dan NaOH dalam alkohol. Penggunaan katalis homogen mempunyai kelemahan yaitu bersifat korosif, sulit dipisahkan dari produk, dan katalis tidak dapat digunakan kembali.

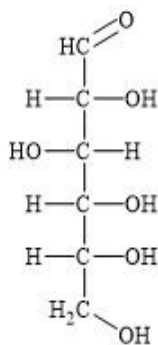
Pada kelemahan katalis homogen tersebut banyak industri yang menggunakan katalis heterogen yang mempunyai banyak keuntungan dan sifatnya yang ramah akan lingkungan, yaitu tidak bersifat korosif, mudah dipisahkan dari produk dengan cara filtrasi, serta dapat digunakan berulang kali dalam jangka waktu yang lama. Selain itu katalis heterogen meningkatkan kemurnian hasil karena reaksi samping dapat dieliminasi. Salah satu contoh dari katalis heterogen adalah zeolit, oksida logam dan resin *ion exchange*.

2.12 Isomerisasi Glukosa

Monosakarida atau gula sederhana terdiri atas satu unit polihidroksi aldehyd dan polihidroksi keton. Monosakarida yang paling banyak dijumpai di alam yaitu D-glukosa yaitu monosakarida yang memiliki 6 atom karbon. Jumlah atom karbon dalam monosakarida sangat bervariasi dari 3 hingga 9, namun paling banyak dijumpai adalah yang mengandung 6 atom C atau kurang (Gultom, 2001). Tiap atom karbon dalam monosakarida dapat mengandung gugus hidroksil, kecuali sebuah atom karbon yang mengandung gugus karbonil atau keton. Jika suatu gugus karbonil ada di ujung dari rantai, maka monosakarida tersebut disebut aldose dan jika terletak dilain tempat ada monosakarida itu dapat disebut sebagai ketosa (Poedjiadi, 2006). Glukosa dan fruktosa adalah salah satu contoh monosakarida dan merupakan pasangan isomer. Isomer adalah senyawa-senyawa yang memiliki rumus molekul yang sama, tetapi memiliki sifat kimia dan fisika yang berbeda, karena letak atom-atomnya yang berbeda (Riswiyanto, 2009). Kedua senyawa ini biasanya digolongkan sebagai isomer fungsional karena memiliki gugus fungsi yang berbeda dan urutan atom yang berbeda sehingga mengakibatkan strukturnya berlainan (Susanti dan Fibriana, 2017). Kedua jenis monosakarida ini merupakan penyusun gula sukrosa. Ikatan antara molekul glukosa dan fruktosa dalam membentuk sukrosa yaitu antara karbon nomor 1 pada glukosa dengan atom karbon nomor 2 pada fruktosa melalui atom oksigen (Poedjiadi, 2006).

1. Glukosa

Glukosa merupakan monosakarida yang paling berlimpah di alam dan memiliki rumus molekul $C_6H_{12}O_6$ dengan berat molekul 180,18 g/mol. Glukosa juga merupakan aldehida polihidroksi lima karbon dan satu oksigennya membentuk cincin piranosa, bentuk yang paling stabil untuk aldose berkarbon enam (Susanti dan Fibriana, 2017). Gula ditemukan dalam berbagai jenis buah-buahan dan sayuran, glukosa juga dapat digunakan secara komersial sebagai aditif untuk meningkatkan rasa makanan dan minuman olahan. Struktur glukosa ditunjukkan pada Gambar 9.



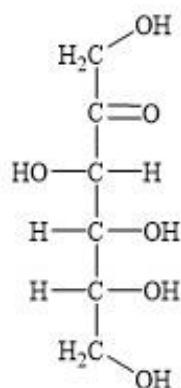
Gambar 9. Struktur glukosa (Ju *et al.*, 2019)

Glukosa juga merupakan suatu aldohexosa dan sering disebut dekstrosa karena memiliki sifat dapat memutar cahaya terpolarisasi ke arah kanan. Karena masih tergolong aldohexosa maka glukosa mempunyai 4 buah pusat atom karbon stereogenik (atom C-kiral). Glukosa dapat membentuk cincin piranosa akibat reaksi intramolekuler antara gugus karbonil pada C-1 dengan gugus hidroksil pada C-5 (Riswiyanto, 2009).

2. Fruktosa

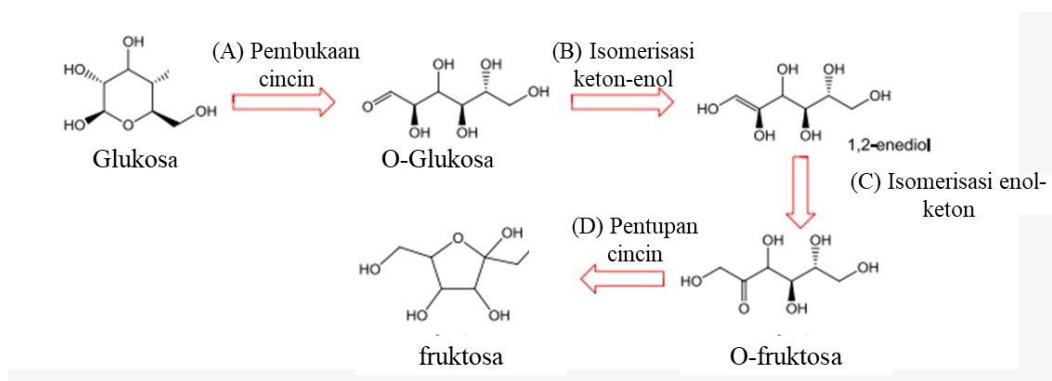
Fruktosa adalah monosakarida yang banyak ditemukan di berbagai jenis tumbuhan dan merupakan salah satu dari tiga gula darah yang penting bersama dengan glukosa dan galaktosa yang bisa langsung diserap ke dalam aliran darah selama proses pencernaan. Fruktosa adalah polihidroksiketon dengan 6 atom karbon. Fruktosa merupakan isomer dari glukosa, keduanya memiliki rumus molekul yang sama yaitu $C_6H_{12}O_6$ namun memiliki struktur yang berbeda (Susanti dan Fibriana,

2017). Fruktosa juga merupakan ketoheksosa dan sering juga disebut sebagai levulosa karena memiliki sifat yang dapat memutar cahaya terpolarisasi ke arah kiri. Struktur fruktosa di tunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Struktur fruktosa (Ju *et al.*, 2019)

Fruktosa ini merupakan gula yang paling manis dan terdapat bersama-sama dengan glukosa di dalam buah-buahan. Karena masih tergolong dalam ketoheksosa maka fruktosa memiliki 3 buah atom karbon yang stereogenik. Fruktosa juga dapat membentuk cincin furanosa akibat dari reaksi intramolekuler antara gugus karbonil pada C-2 dengan gugus hidroksil pada C-5 (Riswiyanto, 2009).



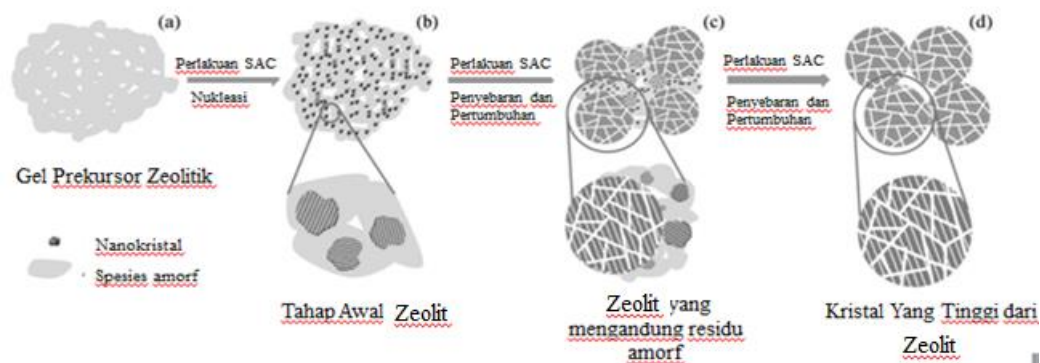
Gambar 11. Reaksi isomerisasi glukosa menjadi fruktosa (Kang *et al.*, 2018).

Isomerisasi glukosa menjadi fruktosa telah banyak dilakukan oleh peneliti menggunakan katalis enzim. Reaksi isomerisasi pada glukosa dapat dilihat pada Gambar 11. Menurut Zhang *et al.*, (2005), konversi glukosa menjadi fruktosa

sebanyak 42 % dengan menggunakan enzim isomerase. Konversi glukosa menjadi fruktosa 40 % juga telah dihasilkan menggunakan enzim yang dimobilisasi dengan konsentrasi glukosa 10 % dan enzim sebanyak 0,5 g pada suhu 60 °C selama 60 jam (Gaily *et al.*, 2010). Namun, katalis enzim ini tidak memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan katalis anorganik. Moliner *et al.*, (2010) telah melakukan penelitian reaksi isomerisasi glukosa menjadi fruktosa menggunakan katalis anorganik yaitu zeolit Sn-Beta memberikan hasil produk sekitar 46 % glukosa, 31 % fruktosa dan 9 % manosa. Saravanamurugan *et al.*, (2013) juga melakukan penelitian reaksi isomerisasi glukosa dengan menggunakan zeolit Y yang dimana zeolit Y merupakan zeolit yang memiliki rasio Si/Al yang rendah sama seperti zeolit ANA, zeolit Y memberikan hasil produk 56 % glukosa, 16 % fruktosa dan 19 % metil fruktosida.

2.12 Metode *Steam Assisted Conversion* (SAC)

Zeolit dapat disintesis atau dibuat sedemikian rupa sehingga dapat dimodifikasi sesuai kebutuhan dan memiliki karakteristik yang lebih baik. Prinsip dasar untuk produksi zeolit sintetik adalah silika dan alumina yang menjadi komponen utamanya, sehingga dapat disintesis dari berbagai bahan baku yang mengandung kedua komponen tersebut dengan perbandingan tertentu (Rini, 2010). Metode SAC adalah suatu metode kristalisasi yang dilakukan dengan menggunakan bantuan uap. Teknik SAC dapat melibatkan proses kristalisasi zeolit dalam fase padat dengan menggunakan bantuan air sebagai prekursor nya berupa gel kering. Metode ini dapat digunakan sebagai metode alternatif untuk mensintesis zeolit ANA. Metode SAC telah menjadi pusat perhatian banyak peneliti, karena kebutuhan *template* organik yang sedikit dalam mensintesis suatu zeolit akan tetapi metode ini juga dapat digunakan untuk mempersiapkan membran zeolit dengan berbagai struktur topologi, seperti ANA, MFI dan MOR.



Gambar 12. Ilustrasi skema dari proses kristalisasi kristal tunggal zeolit berpori hierarkis di bawah kondisi SAC (Ge *et al.*, 2016)

Ilustrasi skema proses kristalisasi kristal tunggal zeolit berpori hierarkis dengan menggunakan kondisi SAC dapat dilihat pada Gambar 12. (a) Konsentrat zeolitik pra-gel kursor, (b) Pembentukan *nanocrystallites* dalam jumlah besar yang dihasilkan dari fluktuasi konsentrasi dan air yang sangat terlokalisasi yang bertindak sebagai "mesoporgen awal" dalam pembentukan akhir mesoporositas, (c) Pembentukan partikel zeolit berpori hierarkis yang memiliki fase amorf akan dilakukan perawatan secara SAC yang disertai dengan air yang saling berhubungan, (d) Setelah hampir sepenuhnya mengkristal Zeolit berpori hierarkis dengan mesoporositas penetrasi dan interkoneksi yang baik (Ge *et al.*, 2016)

Dengan menggunakan metode SAC memungkinkan kita untuk mencapai kristalinitas yang diharapkan dari gel kering yang diperoleh, dibandingkan sintesis hidrotermal, ketika gel kering diperlakukan dengan metode SAC, semua spesies aluminosilikat atau silikat, SDA, dan alkali kation tetap dalam fase padat sepanjang proses kristalisasi. Dengan demikian, hal tersebut dianggap bahwa dalam melakukan sintesis hasil yang diperoleh dalam proses kristalisasi dengan metode SAC, mendapatkan informasi mengenai perubahan struktural dalam gel induk yang dapat mengarah pada pemahaman yang lebih baik tentang mekanisme kristalisasi (Smeets *et al.*, 2020). Alat yang digunakan dalam mensintesis ANA menggunakan metode SAC adalah autoklaf seperti Gambar 13.



Gambar 13. Alat sintesis secara SAC atau autoklaf (Yulianti, 2017)

2.13 *X-Ray Diffraction (XRD)*

X-Ray Diffraction (XRD) merupakan metode karakterisasi yang dapat digunakan untuk mengetahui ciri utama kristal, seperti parameter kisi dan tipe struktur. Selain itu XRD juga dapat dimanfaatkan untuk melihat rincian lain seperti susunan berbagai jenis atom dalam kristal dan orientasi pada kristal. Analisis menggunakan alat difraktogram sinar-X ini didasarkan pada pola difraksi dari perpaduan atau senyawa yang dihasilkan oleh proses difraksi, ukuran panjang gelombang sinar-X yang tidak berbeda jauh dengan jarak antar atom di dalam kristal, sehingga pola yang berulang dari kisi kristal akan berfungsi seolah-olah seperti kisi difraksi yang panjang gelombang sinar-X. Suatu kristal mineral dapat ditentukan strukturnya dengan cara membandingkan pola difraksi yang telah dihasilkan dengan menggunakan pola difraksi mineral acuan atau baku (Callister, 2009).

Dasar dari prinsip pendifraksian sinar-X yaitu difraksi sinar-X yang terjadi pada pembubaran elastis foton-foton sinar-X oleh atom adalah sebuah kisi periodik. Hamburan monokromatis sinar-x dalam suatu fasa tersebut yang memberikan interferensi yang konstruktif. Dasar dari suatu penggunaan difraksi sinar-X untuk mempelajari kisi kristal dapat digunakan persamaan Bragg seperti pada Persamaan 1.

$$n \cdot \lambda = 2 \cdot d \cdot \sin \theta ; n = 1, 2, \dots \quad (1)$$

dimana:

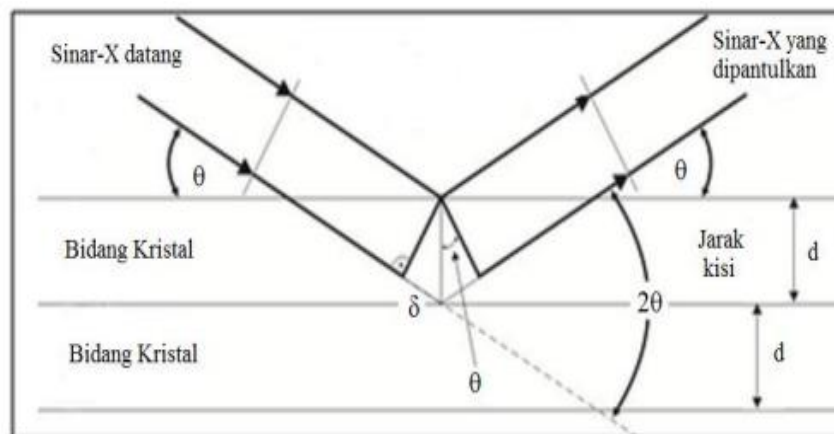
d = jarak antar bidang kisi (Å)

θ = sudut difraksi

λ = panjang gelombang (Å)

n = orde (1,2,3,... n)

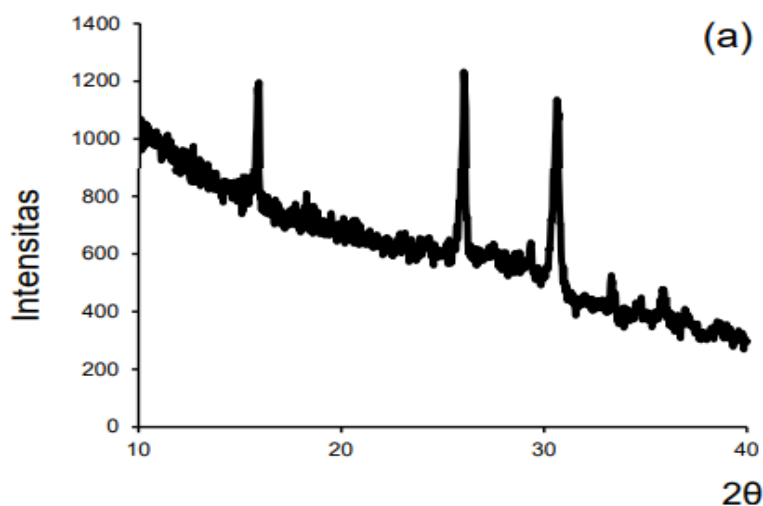
Berdasarkan Persamaan 1, jika seberkas sinar-X dijatuhkan pada sampel kristal, maka bidang kristal itu yang akan membiaskan sinar-X yang memiliki panjang gelombang yang sama dengan jarak antar kisi dalam sebuah kristal. Sinar yang dibiaskan akan ditangkap oleh detektor yang kemudian dapat diterjemahkan sebagai sebuah puncak difraksi. Makin banyak bidang kristal yang terdapat dalam sampel, maka semakin kuat intensitas pembiasan yang dihasilkannya. Tiap puncak yang muncul pada pola XRD mewakili satu bidang kristal yang memiliki orientasi tertentu dalam sumbu tiga dimensi. Puncak-puncak yang didapatkan dari data pengukuran ini kemudian dicocokkan dengan menggunakan standar difraksi sinar-X pada semua jenis material (Smallman dan Bishop, 2000). Skema alat difraksi sinar-X yang disajikan pada Gambar 14.



Gambar 14. Skematik Dasar Perhitungan Bragg (Smallman dan Bishop, 2000)

Sinar-X merupakan suatu bentuk radiasi elektromagnetik yang berbeda dengan sinar ($\lambda = 400\text{-}800\text{ nm}$) yaitu memiliki panjang gelombang lebih pendek ($\lambda \approx 0,1\text{ nm}$). Hamburan sinar ini dapat menghasilkan jarak suatu elektroda logam yang

dapat ditembak dengan elektron-elektron kecepatan yang tinggi dalam tabung vakum. Elektron-elektron dengan kecepatan yang tinggi yang mengalami perlambatan saat masuk kedalam logam dan menghasilkan radiasi dengan jarak panjang gelombang kontiniu yang dapat disebut dengan Bremsstrahlung.



Gambar 15. Pola XRD Zeolit ANA Hierarki (Kafillah dan Nurlina, 2018)

Berdasarkan Gambar 15 ditunjukkan pola difraksi sinar-X dari zeolit ANA hasil sintesis. Pola difraksi zeolit ANA hasil sintesis tersebut sesuai dengan pola difraksi standar acuan zeolit ANA yang memiliki puncak-puncak karakteristik pada 2θ yaitu $15,85^\circ$; $26,01^\circ$ dan $30,61^\circ$ (Kafillah dan Nurlina, 2018).

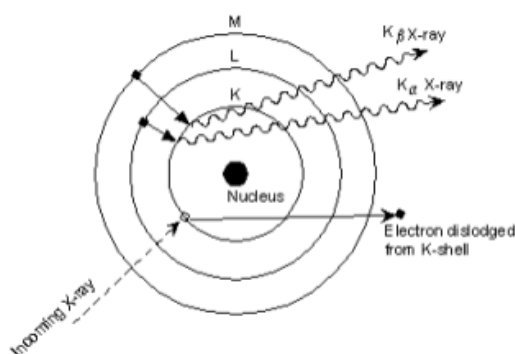
Difaktogram dari zeolit ANA hasil sintesis mengindikasikan bahwa zeolit ANA hasil sintesis berfasa kristal dan jenis kristalnya berupa *cubic* (Kafillah dan Nurlina, 2018).

2.14 X-Ray Fluorescence (XRF)

X-Ray Fluorescence (XRF) adalah salah satu instrument yang sering digunakan untuk menganalisis komposisi kimia dan juga konsentrasi unsur-unsur yang terkandung di dalam suatu sampel dengan menggunakan metode spektrometri. XRF biasanya dapat digunakan untuk menganalisa elemen dengan kemampuan yang unik, antara lain dapat menentukan elemen utama dengan akurasi yang relatif tinggi dan analisa kualitatif terhadap sampel. Limit deteksi untuk melihat

elemen berat sekitar 1 = 100 ppm, sedangkan elemen yang lebih ringan dari pada natrium sangat sulit bahkan tidak mungkin terdeteksi (Aurelia, 2005).

Prinsip kerja dari XRF adalah ketika foton memiliki energi yang tinggi menembak elektron pada kulit dalam (biasanya kulit K atau L) yang dapat mengakibatkan elektron tersebut akan berpindah kelapisan kulit luarnya seperti yang terlihat pada Gambar 16. Pada saat yang bersamaan, akan terjadi kekosongan elektron pada kulit dalam dan akan menyebabkan keadaan yang tidak stabil sehingga elektron akan berpindah dari kulit atasnya untuk mengisi kekosongan dengan mengemisikan sinar (*fluorescence*), dengan energi sebesar perbedaan energi dari kedua keadaan dan panjang gelombang yang sesuai dengan karakteristik dari tiap elemen (Aurelia, 2005)



Gambar 16. Prinsip XRF (Fansuri, 2010)

Hasil analisis kualitatif ditunjukkan oleh puncak spektrum yang mewakili jenis unsur yang sesuai dengan energi sinar-X dan karakteristiknya, sedangkan analisis kuantitatif yang diperoleh dengan cara membandingkan intensitas sampel dengan yang standar. Dalam analisis kuantitatif, faktor-faktor yang berpengaruh dalam analisis antara lain matriks bahan, kondisi kevakuman dan konsentrasi unsur yang terkandung di dalam bahan serta pengaruh unsur yang memiliki energi karakteristik berdekatan dengan energi karakteristik unsur yang dianalisis.

Channoy *et al.*, (2018) melakukan analisis terhadap kandungan kimia yang terkandung dalam SCBA menggunakan XRF. Data yang dihasilkan berupa data kualitatif dan kuantitatif, dapat dilihat dari Tabel 3 bahwa kandungan dari silika yang paling besar di antara unsur lainnya.

Tabel 3. Komposisi kimia SCBA

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	2,40

(Channoy *et al.*, 2018)

2.15 Brunauer-Emmett-Teller (BET)

Teori BET telah lama dikenal sejak tahun 1938 oleh Stephen Brunauer, Paul Haugh Emmett, dan Edward Teller. Teori BET dapat menjelaskan mengenai tentang adsorpsi molekul gas yang ada dipermukaan zat padat (melekatnya suatu molekul gas pada suatu gas pada permukaan zat padat). Banyaknya molekul gas yang dapat diadsorpsi dapat tergantung pada luas permukaan zat padatnya, oleh karena itu teori BET dapat digunakan sebagai penentuan luas permukaan suatu zat padat. Selain itu, metode BET juga dapat digunakan sebagai penentuan porositas suatu zat padat yang berpori.

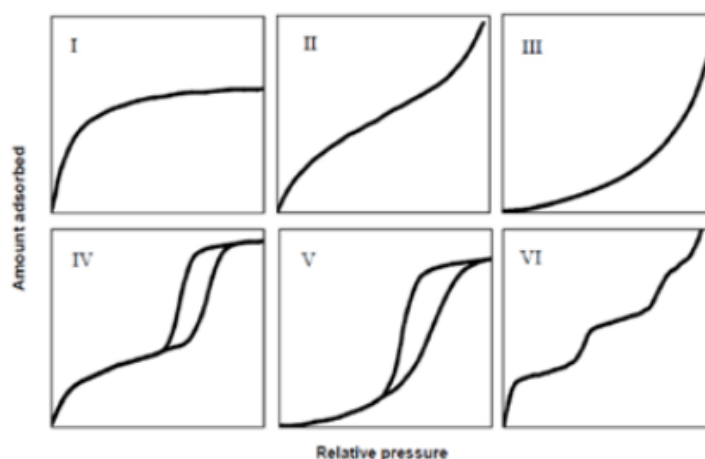
Isoterm BET juga merupakan salah satu metode untuk menentukan luas permukaan zat padat dengan menggunakan prinsip adsorpsi molekul gas pada permukaan padatan. Isotherm BET juga menyediakan informasi dasar untuk teknik analisis penentuan luas permukaan spesifik suatu material.

Distribusi pori dapat diklasifikasi menjadi 3 jenis yaitu :

1. Mikropori (berpori kecil) yaitu kurang dari 2 nm.
2. Mesopori (berpori sedang) yaitu 2-50 nm.
3. Makropori (berpori besar) yaitu lebih dari 50 nm.

Pengukuran adsorpsi isotherm dapat dilakukan dengan menggunakan gas pada suhu mendekati titik kondensasi gas adsorbat yang juga merupakan teknik konvensional dan sederhana dalam suatu karakterisasi padatan berpori. Teknik ini

dilakukan dengan mengukur jumlah gas yang diadsorpsi (adsorbat) oleh suatu padatan pada variasi tekanan gas dalam suatu keadaan isothermal. Penentuan jumlah adsorbat dapat dilakukan dengan menggunakan pengukuran pengurangan tekanan dan volume gas setelah kondisi keseimbangan adsorpsi-desorpsi dapat tercapai. Gas yang dapat digunakan harus bersifat inert seperti gas nitrogen dan argon (Kadarisman dan Nurhasanah, 2020). Luas permukaan, rata-rata jari-jari pori dan volume total pori merupakan salah satu faktor penentu suatu adsorben. Suatu bahan padat seperti adsorben, memiliki luas permukaan yang dapat dibedakan menjadi permukaan eksternal (makroskopik) dan internal (mikroskopik). Luas permukaan internal dapat meliputi semua pori-pori kecil, celah, dan rongga pada padatan, sedangkan luas permukaan eksternal hanya meliputi permukaan luar bahan.

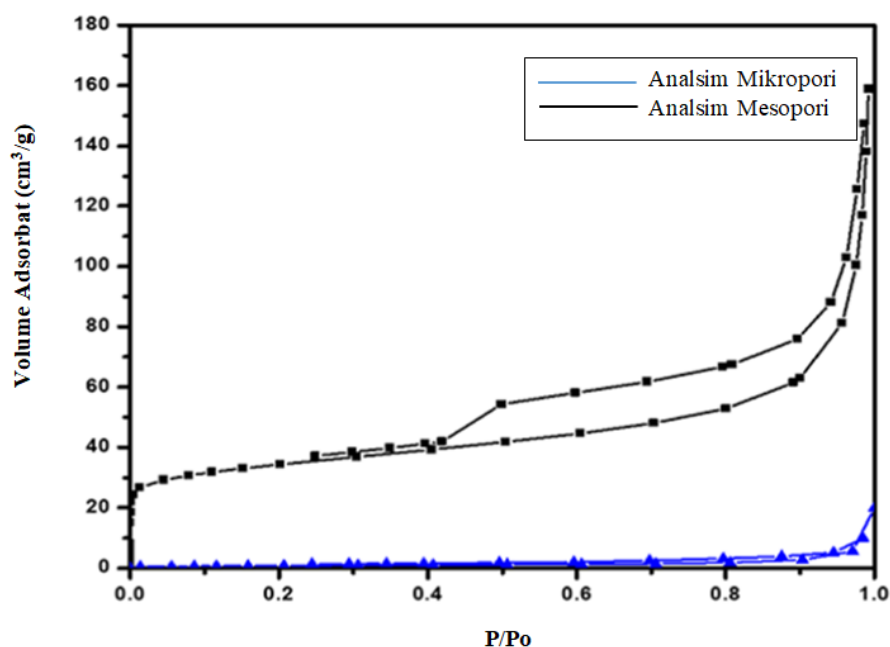


Gambar 17. Tipe grafik adsorpsi-desorpsi isotherm (Affandi *et al.*, 2009)

Tipe-tipe grafik adsorpsi-desorpsi isotherm seperti yang tertera pada Gambar 17 dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

1. Tipe I : tipe ini sering terjadi untuk fisisorpsi gas pada padatan mikropori dan kemisorpsi isothermal.
2. Tipe II : tipe ini biasanya digunakan untuk adsorpsi pada padatan non-pori.
3. Tipe III : grafik ini khas untuk uap, misalnya air pada padatan hidrofobik.

4. Tipe IV : tipe ini dapat memperlihatkan loop pada histerisis yang disebabkan oleh kondensasi kapiler dalam mesopori, sehingga tipe ini khas untuk material mesopori.
5. Tipe V : grafik seperti ini khas untuk uap seperti halnya tipe III, akan tetapi terlihat adanya loop histerisis yang juga disebabkan oleh kondensasi kapiler pada mesopori.
6. Tipe VI : grafik isotherm seperti anak tangga tersebut, biasanya terlihat untuk adsorpsi nitrogen pada karbon tertentu (Affandi *et al.*, 2009).



Gambar 18. Isotherm adsorpsi-desorpsi nitrogen dari sampel zeolit ANA mesopori dan mikropori (Sun *et al.*, 2021)

Gambar 18 tersebut menunjukkan jenis isotherm adsorpsi-desorpsi nitrogen dari sampel ANA mesopori yang mirip dengan tipe IV, yang hampir mirip dengan sampel ANA mikropori pada tekanan yang rendah, namun juga mengalami peningkatan yang signifikan dalam jumlah adsorpsi dengan tekanan tertentu. Sampel ANA mikropori juga menunjukkan isotherm tipe I (dataran yang tinggi pada tekanan yang relatif dan tanpa hysteresis), yang biasanya diamati untuk bahan mikro yang memiliki permukaan eksternal yang relatif rendah.

Fitur karakteristik dari jenis isotherm tipe IV adalah lingkungan histeresis, yang berhubungan dengan kondensasi kapiler yang terjadi pada pori berukuran meso. Mesoporositas ANA pada Gambar 18 menunjukkan loop histeresis tipe 4, yang sering dikaitkan dengan bahan berpori dengan celah yang sempit (Sun *et al.*, 2021).

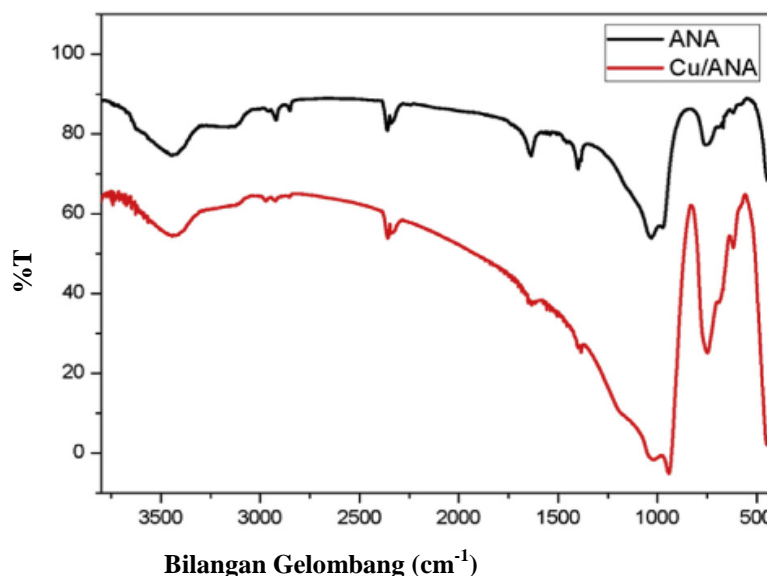
2.16 *Fourier Transform Infra Red (FTIR)*

Spektroskopi inframerah atau *Fourier Transform-Infra Red (FT-IR)* adalah metode analisis yang digunakan untuk indentifikasi gugus fungsi berdasarkan spektra absorbs sinar inframerahnya. Metode ini dapat menentukan komposisi gugus fungsi dari senyawa sehingga dapat membantu memberikan informasi untuk penentuan struktur molekulnya. Sampel yang digunakan dapat berupa padatan, cairan ataupun gas. Analisis dengan metode ini didasarkan pada fakta bahwa molekul memiliki frekuensi spesifik yang dihubungkan dengan vibrasi internal dari atom gugus fungsi (Handayani *et al.*, 2015).

Spektroskopi inframerah merupakan alat untuk pengenalan gugus fungsi molekul dan identifikasi senyawa dengan membandingkan spektra standar dari gugus fungsi dengan spektra yang ada. Prinsip kerjanya adalah ketika molekul-molekul menyerap radiasi infra merah, energi yang diserapkan menyebabkan kenaikan amplitude getaran atom-atom yang terikat sehingga molekul berada dalam keadaan vibrasi tereksitasi. Prinsip dasar spektroskopi inframerah yaitu interaksi antara vibrasi atom-atom yang berikatan atau gugus fungsi dalam molekul dengan mengadsorpsi radiasi gelombang elektromagnetik inframerah. Absorpsi terhadap radiasi inframerah dapat menyebabkan eksitasi energi vibrasi molekul ke tingkat energi vibrasi yang lebih tinggi. Untuk dapat mengabsorpsi, molekul harus mempunyai perubahan momen dipol sebagai akibat dari vibrasi. Daerah radiasi spektroskopi inframerah berkisar pada bilangan gelombang $12800-10\text{ cm}^{-1}$. Umumnya daerah radiasi inframerah terbagi dalam daerah inframerah dekat ($12800-4000\text{ cm}^{-1}$), daerah inframerah tengah ($4000-200\text{ cm}^{-1}$), daerah inframerah jauh ($200-10\text{ cm}^{-1}$). Daerah yang paling banyak digunakan untuk keperluan adalah $400-800\text{ cm}^{-1}$ daerah ini biasanya disebut sebagai daerah inframerah tengah

(Khopkar, 2008). Pengujian FT-IR memiliki 3 fungsi, yaitu untuk mengidentifikasi material yang belum diketahui, untuk menentukan kualitas atau konsistensi sampel, dan untuk menentukan intensitas suatu komponen dalam sebuah campuran. FT-IR merupakan pengujian kuantitatif untuk sebuah sampel (Najma, 2012).

Gu *et al.*, (2019) melakukan analisis FTIR mengenai zeolit ANA yang diimpregnasi dengan logam Cu. Spektra FTIR ANA dan Cu/ANA ditunjukkan pada Gambar 19. Puncak sekitar 3400 dan 1630 cm^{-1} masing-masing adalah vibrasi ulur dan tekukan gugus hidroksil. Ikatan yang berada pada 450 cm^{-1} dan 1000 cm^{-1} berhubungan dengan vibrasi internal tetrahedron $(\text{Si, Al})\text{O}_4$ dan vibrasi tidak simetris yang berhubungan antara tetrahedron. Pita antara 600 dan 800 cm^{-1} disebabkan oleh mode peregangan simetris T–O–T (T = Si, Al).

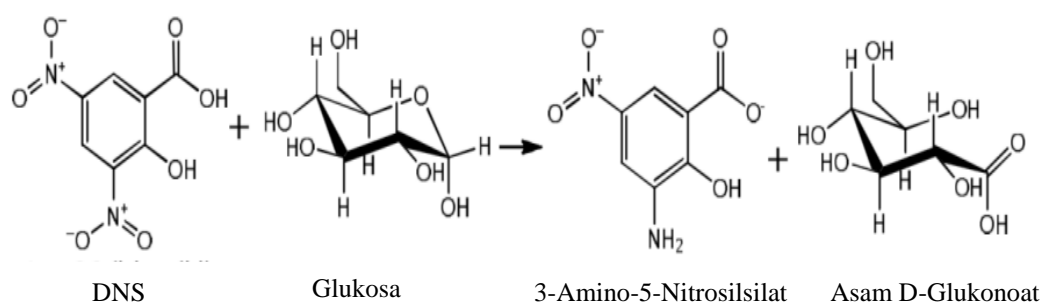


Gambar 19. Spektra FTIR material komposit zeolit ANA dan Cu/ANA
(Gu *et al.*, 2019)

2.17 Spektrofotometri UV-Vis dan Metode Asam 3,5 Dinitrosalisilat (DNS)

Gula pereduksi dapat diuji dengan menggunakan metode dinitrosalisilat (DNS). Dinitrosalisilat terdiri dari 3,5-dinitrosalisilat, NaOH, Na_2SO_3 , Na-K-tartarat, fenol, dan akuades. DNS merupakan senyawa aromatis yang dapat bereaksi dengan gula pereduksi dan akan membentuk asam 3-amino-5-nitrosalisilat, dimana senyawa ini

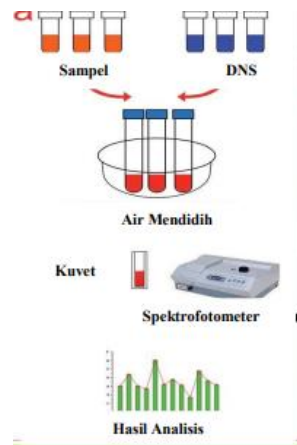
mampu menyerap radiasi gelombang elektromagnetik pada panjang gelombang maksimum 550 nm (Kusmiati dan Agustini, 2010). Semakin tinggi kadar gula pereduksi dalam sampel, maka akan semakin banyak pula molekul asam 3-amino-5-nitrosilisilat yang terbentuk, sehingga absorbansi sampel akan semakin tinggi. Gambar 20 menunjukkan reaksi antara DNS dengan glukosa yang akan menghasilkan Asam 3-Amino-5-Nitrosilisilat dan Asam Glukonoat



Gambar 20. Reaksi DNS dengan glukosa (Miller, 1959)

Reaksi gula pereduksi dengan reagen DNS merupakan reaksi redoks dimana gugus aldehyd yang bertindak sebagai pereduksi akan teroksidasi menjadi karboksil, sedangkan DNS yang bertindak sebagai oksidator akan tereduksi membentuk asam 3- amino-5-nitrosilisilat. Apabila terdapat gula pereduksi pada sampel, maka larutan DNS yang awalnya berwarna kuning bereaksi dengan gula pereduksi akan menimbulkan warna jingga kemerahan. Reaksi ini berlangsung pada suhu 100°C (Kusmiati dan Agustini, 2010). 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 Kadar gula pereduksi dapat dianalisis secara kuantitatif dengan spektrofotometer UV-Vis (Khopkar, 2008). Ilustrasi pengukuran glukosa ditunjukkan pada Gambar 21.



Gambar 21. Ilustrasi analisis glukosa (Xia *et al.*, 2015)

Spektrofotometer UV-Vis (*Ultraviolet-Visible*) merupakan alat untuk mengukur transmittan atau absorbansi suatu sampel sebagai fungsi panjang gelombang. Spektrofotometri UV-Vis sebagai gabungan antara spektrofotometri visual dan UV, menggunakan dua buah sumber cahaya yang berbeda. Sehingga spektrofotometri UV-Vis dapat digunakan baik untuk sampel berwarna yang berbeda serapan setiap zat warnanya (Day and Underwood, 2001).

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan selama 6 bulan pada bulan Mei - Oktober 2022 di Laboratorium Kimia Anorganik/Fisik FMIPA Universitas Lampung. Karakterisasi sampel menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) dan *X-Ray Fluorescence* (XRF) yang dilakukan di Laboratorium Instrument Jurusan Kimia FMIPA Universitas Negeri Padang (UNP) Padang, *Brunauer-Emmet-Teller* (BET) dilakukan di Laboratorium Terpadu Instrument Universitas Islam Indonesia (UII) Yogyakarta, Spektrofotometer UV-VIS dilakukan di Laboratorium Kimia Anorganik/Fisik (UNILA) Lampung dan Spektrofotometer *Fourier Transform Infra Red* (FTIR) dilakukan di Laboratorium Kimia Anorganik Institut Teknologi Bandung (ITB).

3.2 Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain sebagai berikut; neraca analitik, oven, gelas kimia 1000 mL dan 2000 mL, gelas ukur 25 mL dan 50 mL, spatula, thermometer, labu ukur 1000 ml, *stirrer*, spinbar, corong kaca, erlenmayer, cawan penguap, tanur, batang pengaduk, seperangkat autoklaf, botol propilen, seperangkat alat refluks kondensor, pipet tetes, *oil bath*, *hot plate*, mortal dan alu, *X-Ray Diffraction* (XRD) merek PANalytical, *X-Ray Fluorescence* (XRF) merek PANalytical Epsilon 3, *Brunauer-Emmet-Teller* (BET) dengan merek QuadraSorb Station 2 versi 7.01, *Fourier Transform Infra Red* (FTIR) merek Agilent Carry 630, *Ultra Violet-Visible* (UV-Vis) merek Spektrofotometer Cary 100.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain; ampas tebu, larutan asam nitrat (HNO_3 2,5 % dan 10 %), larutan natrium hidroksida (NaOH 2 M), larutan natrium hidroksida (NaOH 50 % (w/w)), starch merck, aluminium hidroksida $\text{Al}(\text{OH})_3$ dan akuades.

3.4 Prosedur Kerja

3.4.1 Ekstraksi silika dari abu ampas tebu

Ampas tebu yang diperoleh kemudian dilakukan proses pencucian dan pembakaran terlebih dahulu untuk mendapatkan abu ampas tebu. Pencucian dilakukan dengan merendam 70 gr ampas tebu kedalam larutan HNO_3 2,5 % sebanyak 1750 mL diaduk sampai mendidih untuk menghilangkan logam-logam atau pengotor yang tidak diinginkan didalam ampas tebu, selanjutnya ampas tebu didinginkan. Kemudian, ampas tebu disaring dan dibilas sampai pH netral untuk membersihkan sisa-sisa asam nitrat yang ada didalam ampas tebu sehingga diperoleh ampas tebu yang bebas dari filtratnya. Kemudian ampas tebu yang telah dicuci dikeringkan dengan oven sampai air menguap. Setelah itu dilakukan proses pembakaran dengan menggunakan tanur untuk memperoleh abu ampas tebu (SCBA) dengan suhu 600°C selama ± 5 menit.

Tahap selanjutnya, sebanyak 35 gram SCBA di ekstrak dengan 875 mL larutan NaOH 2 M sambil diaduk dan dipanaskan diatas *hotplate* pada suhu $80^\circ \pm 1$ jam. Campuran dibiarkan pada suhu kamar selama 24 jam untuk memaksimalkan proses pengekstraksian, sehingga akan diperoleh abu ampas tebu yang telah mengendap dan filtrat yang berwarna kuning kecoklatan (Saputri, 2022), kemudian akan disaring menggunakan kertas saring sehingga diperoleh hanya filtrat. Filtrat yang diperoleh dari ekstraksi abu ampas tebu ditambahkan larutan HNO_3 10 % tetes demi tetes sambil diaduk hingga terbentuk hidrogel dengan pH 7. Hidrogel yang diperoleh dibiarkan selama ± 24 jam untuk memaksimalkan pembentukan hidrogel. Gel yang diperoleh kemudian disaring menggunakan kertas saring dan dicuci dengan akuades lalu dikeringkan dalam oven pada suhu 80°C selama 24 jam. Silika yang didapatkan selanjutnya akan digunakan sebagai prekursor untuk sintesis zeolit ANA menggunakan metode SAC.

3.4.2 Karakterisasi silika hasil ekstraksi

Karakterisasi silika menggunakan *X-Ray Fluoresence* (XRF) untuk mengetahui komposisi senyawa yang dihasilkan dari proses ekstraksi. Analisis *X-Ray Diffraction* (XRD) dilakukan untuk melihat fasa dan tingkat kristalinitas dari silika hasil ekstraksi. Analisis Spektrofotometer *Fourier Transform Infra Red* (FTIR) untuk mengetahui gugus fungsi penyusun kerangka silika (gugus silanol Si-OH dan siloksan Si-O-Si)

3.4.3 Sintesis zeolit analsim (ANA)

Sintesis zeolit ANA pori hierarki dengan penambahan pati sebagai mesoporogen dilakukan dengan menggunakan metode *Steam-assisted Conversion* (SAC) dengan menggunakan silika SCBA sebagai prekursor.

3.4.3.1 Sintesis zeolit ANA menggunakan silika SCBA

Pada penelitian ini ANA dapat disintesis dengan menggunakan metode SAC dari ekstraksi silika abu ampas tebu, dengan menggunakan perbandingan molar pereaksi yang digunakan adalah sebagai berikut. $1 \text{ SiO}_2 : 0,0667 \text{ Al}_2\text{O}_3 : 0,25 \text{ NaOH} : 30,00 \text{ H}_2\text{O}$ (Che *et al.*, 2019). Secara rinci komposisi molar dari masing-masing pereaksi tertera pada Tabel 4.

Tabel 4. Komposisi molar pereaksi sintesis dengan silika 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
ρ (g/mL)	1,3	1,515	-	-
W (g)	60	10	540	6,80

Komposisi *dry gel* pada Tabel 5 dilakukan dengan menggunakan *hotplate stirrer*. Pertama, silika SCBA yang telah dilarutkan dengan H₂O ditimbang dan dimasukkan ke dalam botol polipropilen, kemudian diaduk dengan menggunakan magnetik stirer, NaOH 50 % (w/w) ditambahkan dalam botol polipropilen yang berisi SCBA. Kemudian dihomogenkan kurang lebih 5 jam menggunakan suhu ruang, kemudian botol propilen dipindahkan kedalam wadah yang berisi air es

yang telah diatur suhu 10°C sambil diaduk, lalu ditambahkan pati serbuk sebanyak 10 % dari total silika SCBA yang digunakan dalam sintesis selama 5 jam, selanjutnya botol polipropilen dipindahkan ke dalam wadah yang berisi *silicon oil* dan dipanaskan sambil diaduk pada suhu 60° C (Saputri, 2022) sampai air dalam botol polipropilen menguap, 2 jam pertama dalam kondisi botol polipropilen tertutup , setelah itu diaduk dengan kondisi botol polipropilen terbuka, kemudian *dry gel* yang terbentuk dikumpulkan dan digerus menggunakan mortal dan alu sampai menjadi serbuk halus. Kemudian dihomogenkan. Serbuk halus yang sudah homogen selanjutnya dimasukkan ke dalam autoklaf yang sudah berisi akuades sebanyak 10 ml untuk disintesis secara SAC.

Tabel 5. Perhitungan komposisi molar campuran sintesis dengan silika SCBA

Bahan	ρ (g/mL)	Kemurnian (%)	MW (g/mol)	Massa (g)	Massa untuk 1 autoklaf (g)*
SiO ₂ (SCBA)	-	77,073	60	-	-
Al ₂ O ₃ (SCBA)	-	17,634	102	77,89	2,2060
NaOH 50 %	1,515	50	40	20	0,5664
H ₂ O dari NaOH	-	-	18	10,00	-
H ₂ O ditambahkan	-	-	18	530,00	5,0108

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

Sintesis zeolit ANA dari silika SCBA hasil ekstraksi dilakukan sesuai kondisi optimum yang didapat yaitu menggunakan suhu 170 °C selama 120 jam dengan menggunakan oven, selanjutnya *crude* disaring dan dicuci menggunakan akuades. Padatan sintesis dikeringkan dengan oven pada suhu 90 °C selama 2 jam dan kemudian dikalsinasi menggunakan suhu 550 °C selama 6 jam.

Sebagai pembandingan untuk sintesis zeolit ANA dengan penambahan pati 10 %, dilakukan sintesis zeolit ANA tanpa penambahan pati dengan prosedur kerja dan

komposisi molar yang sama pada saat mensintesis zeolit ANA dengan penambahan pati.

3.4.4 Karakterisasi zeolit ANA

Hasil sintesis zeolit H-ANA dari silika SCBA yang diperoleh selanjutnya dikarakterisasi menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk mengetahui jenis fasa kristal zeolit yang dihasilkan dari proses sintesis. Kemudian, penentuan luas permukaan dan ukuran pori zeolit yang terbentuk dengan menggunakan metode *Brunauer-Emmett-Teller* (BET).

3.4.5 Persiapan katalis

3.4.5.1 Persiapan katalis H-ANA

Zeolit ANA dari silika SCBA yang dihasilkan selanjutnya diubah menjadi bentuk H-ANA menggunakan metode pertukaran ion (*ion exchange*) dengan menambahkan larutan NH_4NO_3 1 M berdasarkan metode yang telah dilakukan oleh Veses *et al.* (2016). Sebanyak 1 gram ANA dicampurkan dengan 12 mL larutan NH_4NO_3 1 M sambil diaduk dan dipanaskan pada suhu $80\text{ }^\circ\text{C}$ selama 48 jam. Setelah itu, campuran yang didapat kemudian disaring dan dicuci akuades untuk memastikan bahwa Na telah larut dalam air, lalu dikeringkan menggunakan oven pada suhu $105\text{ }^\circ\text{C}$ selama 13 jam dan dikalsinasi pada suhu $450\text{ }^\circ\text{C}$ selama 6 jam.

3.4.5.2 Impregnasi logam nikel (Ni)

H-ANA yang telah diperoleh dari proses pertukaran ion selanjutnya diimpregnasi dengan menggunakan larutan garam nikel. Sebanyak 1 gram zeolit ANA SCBA dimasukkan kedalam 10 mL larutan garam nikel ($\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) dengan konsentrasi 5 % seperti prosedur yang dilakukan oleh Li *et al.*, (2020) kemudian diaduk pada suhu $80\text{ }^\circ\text{C}$ selama 6 jam. Selanjutnya dicuci dengan akuades hingga pH netral dan dikeringkan selama 12 jam dengan suhu $80\text{ }^\circ\text{C}$. kemudian sampel dikalsinasi pada suhu $550\text{ }^\circ\text{C}$ selama 6 jam (Nurjanah, 2019)

3.4.6 Karakterisasi zeolit Ni/H-ANA

Zeolit ANA SCBA dengan penambahan pati dan tidak penambahan pati hasil pertukaran ion (ion exchange) dan impregnasi dengan Ni selanjutnya dikarakterisasi menggunakan Spektrofotometer *Fourier Transform Infra Red* (FTIR) untuk mengetahui apakah logam Ni telah terikat pada zeolit.

3.4.7 Uji aktivitas katalitik

Pada reaksi isomerisasi glukosa menjadi fruktosa dapat dilakukan dengan menggunakan seperangkat alat refluks. Sebanyak 200 mg glukosa ditambahkan ke dalam 5 mL air yang mengandung zeolit. Kemudian dilakukan variasi suhu, waktu dan jumlah katalis yang digunakan untuk menentukan kondisi optimum yang dihasilkan dari fruktosa tertinggi

3.4.7.1 Penentuan suhu optimum

Pada penelitian ini dilakukan uji aktivitas katalitik zeolit ANA pada reaksi isomerisasi glukosa. Metode reaksi isomerisasi menggunakan metode yang telah dilakukan oleh (Patria *et al.*, 2021). 200 mg glukosa ditambahkan kedalam 5 mL akuades kemudian dilakukan variasi suhu yaitu 60, 70, 80, 90, dan 100°C dengan waktu 20 menit pada jumlah katalis 0,03 g. Suhu optimum merupakan suhu dengan konsentrasi gula pereduksi tertinggi dan digunakan untuk penentuan waktu reaksi optimum.

3.4.7.2 Penentuan waktu optimum

Setelah mendapatkan kondisi suhu optimum maka dapat ditentukan waktu reaksi optimum. 200 mg glukosa ditambahkan ke dalam 5 mL akuades kemudian dilakukan variasi waktu yaitu 20, 30, 40, 50 dan 60 menit dengan jumlah katalis 0,03 g pada suhu optimum yang telah didapat. Kondisi optimum yang didapat dari waktu reaksi digunakan untuk menentukan jumlah katalis optimum (Patria *et al.*, 2021).

3.4.7.3 Penentuan jumlah katalis

Berdasarkan penelitian yang dilakukan Patria *et al* (2021) dilakukan variasi jumlah katalis yaitu 0,03, 0,04, 0,05, 0,06 dan 0,07 g dengan menambahkan 200 mg glukosa dicampur dalam 5 mL akuades pada suhu dan waktu optimum yang telah didapatkan. Kemudian jumlah katalis optimum yang diperoleh selanjutnya digunakan untuk analisis fruktosa pada reaksi isomerisasi dalam kondisi optimum.

3.4.8 Analisis produk

Filtrat yang didapat dari hasil isomerisasi kemudian diuji dengan metode DNS untuk menentukan kadar gula reduksi dalam sampel. Sebanyak 1,5 mL sampel dimasukkan ke dalam tabung reaksi, kemudian ditambahkan 3 mL akuades dan 1,5 mL reagen DNS. Tabung reaksi ditutup dengan alumunium foil dan dipanaskan dalam waterbath selama 10 menit pada suhu 100 °C. Sampel kemudian didinginkan hingga suhu kamar. Sampel dianalisis dengan spektrofotometer UV-Vis untuk mendapatkan absorbansi pada panjang gelombang 540 nm. Kadar gula reduksi dalam sampel dihitung menggunakan persamaan garis yang didapatkan dari kurva standar, yaitu $y = a + bx$, dimana y adalah absorbansi sampel (nm), x konsentrasi sampel (mg/L), a merupakan intersep, dan b adalah slope.

V. KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut

1. Silika SCBA telah berhasil diekstraksi secara alkali dengan rendemen sebesar 1,42 %, terkonfirmasi berfasa dominan *amorf*, diperoleh rasio Si/Al sebesar 1,422 g serta memiliki gugus fungsi khas seperti silanol dan siloksan.
2. Zeolit ANA dengan penambahan mesoporogen pati dan tanpa mesoporogen pati telah berhasil disintesis dengan menggunakan metode SAC dan memperlihatkan kemiripan dengan pola difraksi standar zeolit ANA serta kristalinitas yang baik, yaitu sebesar 76,08 dan 74,53 %.
3. Zeolit ANA dengan penambahan mesoporogen pati dan tanpa mesoporogen pati telah berhasil diimpregnasi menggunakan logam Ni dengan pita serapan pada 542 dan 582,50 nm.
4. Diperoleh kondisi optimum reaksi isomerisasi glukosa menggunakan katalis H-ANA yaitu pada suhu 80 °C selama 30 menit dengan penambahan jumlah katalis 0,03 g.
5. Ni/H-ANA dengan penambahan mesoporogen pati memiliki aktivitas katalitik yang lebih baik dibandingkan Ni/H-ANA tanpa menggunakan pati, sehingga dapat dijadikan alternatif katalis untuk reaksi isomerisasi glukosa.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dan hasil yang diperoleh, maka disarankan untuk meningkatkan rasio silika SCBA dengan rasio Si/Al 2-10 menggunakan metode dealuminasi, sehingga zeolit yang dihasilkan dapat lebih meningkatkan aktivitas katalitik dan selektivitas yang lebih baik serta perlu dilakukannya uji lebih lanjut terhadap fruktosa yang diperoleh pada reaksi isomerisasi glukosa dengan HPLC.

DAFTAR PUSTAKA

- Affandi, S., Setyawan, H., Winardi, S., Purwanto, A., & Balgis, R. 2009. A facile method for production of high-purity silica xerogels from bagasse ash. *Advanced Powder Technology*, 20(5), 468–472.
- Aisyah, S. J. 2015. *Ekstraksi Silika dari Ampas Tebu Sebagai Prekursor dalam Sintesis Zeolit Analcime*. Thesis. ITB. Bandung.
- Aji, B. B., Lestari, R. O., Shinta, E. N., & Darmansyah. 2017. Sintesis Silika Gel Berbahan Dasar Batuan Perlite Menggunakan Metode Sol-Gel dengan Variasi Rasio Berat NaOH / Perlite. *Prosiding Dalam Rangka Seminar Nasional Riset Industri Ke 3, September*, 46–52.
- Al-zaidi. 2011. *The Effect of Modification Techniques on The Performance of Zeolite-Y Catalyst in Hydrocarbon Cracking Reaction*. University of Manchester.
- Alves, R. H., Reis, T. V. D. S., Rovani, S., & Fungaro, D. A. 2017. Green Synthesis and Characterization of Biosilica Produced from Sugarcane Waste Ash. *Journal of Chemistry*.
- Amri, S., & Utomo, M. P. 2017. Preparasi dan Karakterisasi Komposit ZnO-Zeolit untuk Fotodegradasi Zat Warna Congo Red. *Jurnal Kimia Dasar*, 6(2), 29–36.
- Atta, A. Y., Jibril, B. Y., Aderemi, B. O., & Adefila, S. S. 2012. Preparation of Analcime from local kaolin and rice husk ash. *Applied Clay Science*, 61, 8–13.
- Aurelia, I. 2005. Studi Modifikasi Glassy Carbon dengan Teknik Elektrodeposisi Iridium Oksida untuk Aplikasi sebagai Elektroda Sensor Arsen (III). *Skripsi*.
- Bergaya, F., Theng, B. K. G., & Lagaly, G. 2006. Handbook of Clay Science. In *Developments in Clay Science* (Vol. 1, Issue 2).
- Boinski, F., Khouchaf, L., & Tuilier, M. H. 2010. Study of the mechanisms involved in reactive silica. *Materials Chemistry and Physics*, 122(1), 311–315.
- Bordoloi, A., Anton, J., Ruland, H., Muhler, M., & Kaluza, S. 2015. Metal-support interactions in surface-modified Cu-Co catalysts applied in higher alcohol synthesis. *Catalysis Science and Technology*, 5(7), 3603–3612.

- Callister, W. 2009. *Materials Science and Engineering An Introduction 8th*. John Wiley & Sons Inc.
- Candra, A., Miryanti, Y., Widjaja, L., & Pramudita, A. 2012. *Isolasi dan Karakterisasi Silika dari Sekam Padi*. Universitas Katolik.
- Cejka, J., Bekkum, H., Corma, A., & Schuth, F. 2007. Introduction to Zeolit Science and Practice 3rd Revised Edition. *Studies in Surface Science and Catalysis*, 168(103), 39–103.
- Che, Q., Yang, M., Wang, X., Yang, Q., Chen, Y., Chen, X., Chen, W., Hu, J., Zeng, K., Yang, H., & Chen, H. 2019. Preparation of mesoporous ZSM-5 catalysts using green templates and their performance in biomass catalytic pyrolysis. *Bioresource Technology*, 289.
- Chindaprasirt, P., & Rattanasak, U. 2020. Eco-production of silica from sugarcane bagasse ash for use as a photochromic pigment filler. *Scientific Reports*, 10(1), 1–8.
- Choo, M. Y., Oi, L. E., Ling, T. C., Ng, E. P., Lin, Y. C., Centi, G., & Juan, J. C. 2020. Deoxygenation of triolein to green diesel in the H₂-free condition: Effect of transition metal oxide supported on zeolite Y. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 147.
- Cundy, C. S., & Cox, P. A. 2003. The hydrothermal synthesis of zeolites: history and development from the earliest days to the present time. *Chemical Reviews*, 82(1–2), 1–78.
- Dagle, R. A., Lizarazo-Adarme, J. A., Lebarbier Dagle, V., Gray, M. J., White, J. F., King, D. L., & Palo, D. R. (2014). Syngas conversion to gasoline-range hydrocarbons over Pd/ZnO/Al₂O₃ and ZSM-5 composite catalyst system. *Fuel Processing Technology*, 123, 65–74.
- Deviani, S. S., Mahatmanti, F. W., & Widiarti, N. 2018. Sintesis Dan Karakterisasi Zeolit Dari Abu Sekam Padi Menggunakan Metode Hidrotermal. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 7(1), 86–93.
- Dewi, T. K., Mahdi, dan Novriyansyah, T. 2016. Pengaruh Rasio Reaktan Pada Impregnasi Dan Suhu Reduksi Terhadap Karakter Katalis Kobalt/Zeolit Alam Aktif. *Jurnal Teknik Kimia*. 22(3):1-9.
- Erbachan, R. 2019. Ekstraksi Silika Dan Pembentukan Karbon Aktif Dari Arang Sekam Padi Dengan Metode Hidrotermal. In *Skripsi Jurusan Kimia Universitas Jember*.
- Falk, G., Shinhe, G. P., Teixeira, L. B., Moraes, E. G., & de Oliveira, A. P. N. 2019. Synthesis of silica nanoparticles from sugarcane bagasse ash and nano-silicon via magnesiothermic reactions. *Ceramics International*, 45(17), 21618–21624.

- Fansuri, H. 2010. *Modul Pelatihan Operasional XRF*. Laboratorium Energi dan Rekayasa LPPM ITS.
- Faria, K. C. P., Gurgel, R. F., & Holanda, J. N. F. 2012. Recycling of sugarcane bagasse ash waste in the production of clay bricks. *Journal of Environmental Management*, 101, 7–12.
- Feliczak-Guzik, A. 2018. Hierarchical zeolites: Synthesis and catalytic properties. *Microporous and Mesoporous Materials*, 259, 33–45.
- Gaily, M. H., Elhassan, B. M., Abasaeed, A. E., & Al-shrhan, M. 2010. Isomerization and Kinetics of Glucose into Fructose. *International Journal of Engineering & Technology*, 10(3), 1–5.
- Ge, T., Hua, Z., He, X., Lv, J., Chen, H., Zhang, L., Yao, H., Liu, Z., Lin, C., & Shi, J. 2016. On the Mesopore-Free Synthesis of Single-Crystalline Hierarchically Structured ZSM-5 Zeolites in a Quasi-Solid-State System. *Chemistry - A European Journal*, 22(23), 7895–7905.
- Gu, B., Bai, J., Yang, W., & Li, C. 2019. Synthesis of ANA-zeolite-based Cu nanoparticles composite catalyst and its regularity in styrene oxidation. *Microporous and Mesoporous Materials*, 274(April 2018), 318–326.
- Gultom, T. 2001. *Biokimia Struktur dan Fungsi*. FMIPA Universitas Yogyakarta.
- Handayani, I., Paisal, Y., Chaerun, S. K., & Soepriyanto, S. 2015. FTIR Analysis on Organic Sulfur Distribution: Aliphatic Mercaptans in Lignite, Prior and after Multistage Artificial Biotreatment Process. *Advanced Materials Research*, 1130, 503–506.
- Handoyo, K. 1996. *Kimia Anorganik*. Gadjah Mada University Press.
- Hassan, N. S., Jalil, A. A., Hitam, C. N. C., Vo, D. V. N., dan Nabgan, W. 2020. Biofuels and renewable chemicals production by catalytic pyrolysis of cellulose : *Environmental Chemistry Letters*. 19:1-24.
- He, X., Ge, T., Hua, Z., Zhou, J., Lv, J., Zhou, J., Liu, Z., & Shi, J. 2016. Mesopore-Free Synthesis of Hierarchically Structured Zeolites with Variable Si/Al Ratios via a Steam-Assisted Crystallization Process. *ACS Applied Materials and Interfaces*, 8(11), 7118–7124.
- Hidayat, A. E., Moersidik, S. S., & Adityosulindro, S. 2019. Sintesis dan Karakterisasi Zeolit Hidroksi Sodalit dari Limbah Padat Abu Layang PLTU Batubara. *Reka Buana : Jurnal Ilmiah Teknik Sipil Dan Teknik Kimia*, 4(2), 9.
- Irvantino, B. 2013. Preparasi Katalis Ni/Zeolit Alam dengan Metode Sonokimia untuk Perengkahan Katalitik Polipropilen dan Polietilen. Universitas Negeri Semarang. Semarang.

- Jia, Y., Wang, J., Zhang, K., Chen, G., Yang, Y., Liu, S., Ding, C., Meng, Y., & Liu, P. 2018. Hierarchical ZSM-5 zeolite synthesized via dry gel conversion-steam assisted crystallization process and its application in aromatization of methanol. *Powder Technology*, 328, 415–429.
- Johnson, E. B. G., & Arshad, S. E. 2014. Hydrothermally synthesized zeolites based on kaolinite: A review. *Applied Clay Science*, 97–98, 215–221.
- Ju, Z., Zhang, Y., Zhao, T., Xiao, W., & Yao, X. 2019. Mechanism of Glucose–Fructose Isomerization over Aluminum-Based Catalysts in Methanol Media [Research-article]. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 7, 14962–14972.
- Junliang, Z., Peng, C., Yan, H., Wu, Z., & Dou, T. 2016. Synthesis of hierarchical zeolite Beta with low organic template content via the steam-assisted conversion method. *Chemical Engineering Journal*, 291, 82–93.
- Kadarisman, & Nurhasanah, I. 2020. Analisis Permukaan Nanopartikel Ferit Seng Berdasarkan Adsorpsi Isoterm Gas Nitrogen. *Berkala Fisika*. 23(3).78-82.
- Kadja, M., Rilyanti, M., Mukti, R., & Marsih, N. 2013. Strategi Sintesis Zeolit Hirarkis : Kajian Metode Cetak Lunak dan Cetak Keras. *Jurnal Matematika dan sains*. 18(3).103-114
- Kafillah, M., & Nurlina, A. H. A. 2018. Sintesis Dan Karakterisasi Zeolit Analsim Menggunakan Prekursor Silika Dari Limbah Kaca. *Jurnal Kimia Khatulistiwa*, 7(1).
- Kang, S., Fu, J., & Zhang, G. 2018. From lignocellulosic biomass to levulinic acid: A review on acid-catalyzed hydrolysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 94, 340–362.
- Khopkar. 2008. *kimia dasar*. Universitas Indonesia Press. Jakarta.
- Kusumorini, A., Sukmaningrasa, S., & Octaviani, R. 2014. Studi Karakteristik Silika Gel Hasil Sintesis Dari Abu Ampas Tebu Dengan Variasi Konsentrasi Asam Klorida. *Edisi Juli*. Bandung, 3(1) 159–181.
- Li, W., Li, F., Wang, H., Liao, M., Li, P., Zheng, J., Tu, C., & Li, R. 2020. Hierarchical mesoporous ZSM-5 supported nickel catalyst for the catalytic hydrodeoxygenation of anisole to cyclohexane. *Molecular Catalysis*, 480.
- Moisés, M. P., Da Silva, C. T. P., Meneguín, J. G., Giroto, E. M., & Radovanovic, E. 2013. Synthesis of zeolite NaA from sugarcane bagasse ash. *Materials Letters*, 108, 243–246.
- Moliner, M., Román-Leshkov, Y., & Davis, M. E. 2010. Tin-containing zeolites are highly active catalysts for the isomerization of glucose in water. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 107(14), 6164–6168.

- Najma. 2012. *Pertumbuhan Nanokarbon Menggunakan Karbon Aktif Dari Limbah Kulit Pisang Dengan Metode Pirolisis Sederhana Dan Dekomposisi Metana*. Universitas Indonesia Press. Jakarta.
- Nandan, D., Saxena, S. K., & Viswanadham, N. 2014. Synthesis of hierarchical ZSM-5 using glucose as a templating precursor. *Journal of Materials Chemistry A*, 2(4), 1054–1059.
- Narayanan, S., Judith Vijaya, J., Sivasanker, S., Yang, S., & John Kennedy, L. 2014. Hierarchical ZSM-5 catalyst synthesized by a Triton X-100 assisted hydrothermal method. *Cuihua Xuebao/Chinese Journal of Catalysis*, 35(11), 1892–1899.
- Nishu, Liu, R., Rahman, M. M., Sarker, M., Chai, M., Li, C., & Cai, J. 2020. A review on the catalytic pyrolysis of biomass for the bio-oil production with ZSM-5: Focus on structure. *Fuel Processing Technology*, 199. 106-135.
- Norsuraya, S., Fazlena, H., & Norhasyimi, R. 2016. Sugarcane Bagasse as a Renewable Source of Silica to Synthesize Santa Barbara Amorphous-15 (SBA-15). *Procedia Engineering*, 148, 839–846.
- Nurjanah, D. 2019. *Konversi Minyak Kelapa menjadi Biodiesel Menggunakan Zeolit Alam Lampung Termodifikasi Logam Ni sebagai Katalis Asam Melalui Reaksi Transesterifikasi*. Skripsi.
- Patdhanagul, N., Srithanratana, T., Rangsiwatananon, K., & Hengrasmee, S. 2010. Ethylene adsorption on cationic surfactant modified zeolite NaY. *Microporous and Mesoporous Materials*, 131(1–3), 97–102.
- Patria, R. D., Islam, M. K., Luo, L., Leu, S.-Y., Varjani, S., Xu, Y., Wong, J. W.-C., & Zhao, J. 2021. Hydroxyapatite-based catalysts derived from food waste digestate for efficient glucose isomerization to fructose. *Green Synthesis and Catalysis*, 2(4), 356–361.
- Poedjiadi, A. 2006. *Dasar-dasar Biokimia*. UI Press. Jakarta.
- Pratomo, I., Wardhani, S., & Purwonugroho, D. 2013. Pengaruh Teknik Ekstraksi dan Konsentrasi HCl dalam Ekstraksi Silika dari Sekam Padi untuk Sintesis Silika Xerogel. *Kimia Studentjournal*, 2(1), 358–364.
- Purnawan, C., Martini, T., & Rini, I. P. 2018. Sintesis dan Karakterisasi Silika Abu Ampas Tebu Termodifikasi Arginin sebagai Adsorben Ion Logam Cu(II). *ALCHEMY Jurnal Penelitian Kimia*, 14(2), 333.
- Rahimi, N., & Karimzadeh, R. 2011. Catalytic cracking of hydrocarbons over modified ZSM-5 zeolites to produce light olefins: A review. *Applied Catalysis A: General*, 398(1–2), 1–17.

- Rahmani, F., Haghghi, M., & Amini, M. 2015. The beneficial utilization of natural zeolite in preparation of Cr/clinoptilolite nanocatalyst used in CO₂-oxidative dehydrogenation of ethane to ethylene. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 31, 142–155.
- Raidah, A. 2012. *Pengaruh Garam Prekursor Terhadap Aktivitas Katalis CuO/ γ -Al₂O₃ yang Digunakan dalam Reaksi Hidrogenasi Minyak Jarak*. Skripsi. Teknik Kimia-UNDIP. Semarang.
- Rilyanti, Mita, Mukti, R. R., Kadja, G. T. M., Ogura, M., Nur, H., Ng, E.-P., & 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.
- Rini, D. K. 2010. *Optimasi Aktivasi Zeolit Alam untuk Dehumidifikasi*. Skripsi, 3–10.
- Riswiyanto. 2009. *Kimia Organik*. Erlangga. Jakarta.
- Ruswandi, Oktavia, B., & Azhar, M. 1996. Penentuan Kadar Fruktosa Hasil Hidrolisis Inulin Dengan Dns Sebagai Pengoksidasi. *EKSAKATA* 19(1), 1–20.
- Saputri, M. 2022. *Sintesis, Karakterisasi Dan Uji Aktivitas Katalitik Zsm-5 Pori Hierarki Berbasis Silika Ampas Tebu Termodifikasi Logam Ni Pada Reaksi Hidrolisis Selulosa*. Skripsi. UNILA. Lampung.
- Sales, A., & Lima, S. A. 2010. Use of Brazilian sugarcane bagasse ash in concrete as sand replacement. *Waste Management*, 30(6), 1114–1122.
- Samsuri, M., Gozan, M., Mardias, R., Baiquni, M., Hermansyah, H., Wijanarko, A., Prasetya, B., Nasikin, M. 2007. Pemanfaatan Sellulosa Bagas Untuk Produksi Ethanol Melalui Sakarifikasi Dan Fermentasi Serentak Dengan Enzim Xylanase. *Makara*. 11(1), 17–24.
- Sandoval, M. V., Henao, J. A., Ríos, C. A., Williams, C. D., & Apperley, D. C. 2009. Synthesis and characterization of zeotype ANA framework by hydrothermal reaction of natural clinker. *Fuel*, 88(2), 272–281.
- Saraswati, I. 2016. Zeolite-a Synthesis From Glass. *Jurnal Sains Dan Matematika*, 23(4), 112-115–115.
- Saravanamurugan, S., Paniagua, M., Melero, J. A., & Riisager, A. 2013. Efficient isomerization of glucose to fructose over zeolites in consecutive reactions in alcohol and aqueous media. *Journal of the American Chemical Society*, 135(14), 5246–5249.
- Savitri, Nugraha, A. S., & Aziz, I. 2016. Pembuatan Katalis Asam (Ni/ γ -Al₂O₃) dan Katalis Basa (Mg/ γ -Al₂O₃) untuk Aplikasi Pembuatan Biodiesel dari Bahan Baku Minyak Jelantah. *Jurnal Kimia Valensi* 2, 1, 1–10.

- Scarlett, N., & Madsen, I. 2018. Effect of microabsorption on the determination of amorphous content via powder X-ray diffraction. *Powder Diffraction*, 33(1), 26–37.
- Schwieger, W., Machoke, A. G., Weissenberger, T., Inayat, A., Selvam, T., Klumpp, M., & Inayat, A. 2016. Hierarchy concepts: Classification and preparation strategies for zeolite containing materials with hierarchical porosity. *Chemical Society Reviews*, 45(12), 3353–3376.
- Sihotang, E. 2009. *Pemanfaatan Abu Ampas Tebu Pada Pembuatan Mortar*. Skripsi. FMIPA-USU. Medan.
- Smallman, R. E., & Bishop, R. J. 2000. *Metalurgi Fisik Modern dan Rekayasa Material*. Erlangga. Jakarta.
- Smart, L., & Moore, E. 1993. *Solid State Chemistry* (First). Chapman and Hall University and Professional Division. England.
- Smeets, V., Gaigneaux, E. M., & Debecker, D. P. 2020. Hierarchical micro-/macroporous TS-1 zeolite epoxidation catalyst prepared by steam assisted crystallization. *Microporous and Mesoporous Materials*, 293, 109-121.
- Song, G., Xue, D., Xue, J., & Li, F. 2017. Synthesis and catalytic characterization of ZSM-5 zeolite with uniform mesopores prepared in the presence of a novel organosiloxane. *Microporous and Mesoporous Materials*, 248, 192–203.
- Sun, C., Du, F., Wang, C., Zhao, J., & Wang, Y. 2021. Synthesis and ion adsorption properties of hierarchical ANA zeolite with nanosheets-assembled spheres shape. *Inorganic Chemistry Communications*, 133, 108869.
- Suryana, A. 2007. *Prospek Dan Arah Pengembangan Agribisnis Tebu* (II). Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian Departemen Pertanian.
- Susanti, R., & Fibriana, F. 2017. *Teknologi Enzim*. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang.
- Susilowati, S. H., & Tinaprilla, N. 2020. Analisis Efisiensi Usaha Tani Tebu Di Jawa Timur. *Jurnal Penelitian Tanaman Industri*, 18(4), 162.
- Trisunaryanti, W., Triyono, T., & A, D. F. 2010. Preparation Of Ni-Mo/Mordenite Catalysts Under The Variation Of Mo/Ni Ratio And Their Characterizations For Stearic Acid Conversion. *Indonesian Journal Of Chemistry*, 3(2), 80–90.
- Wang, Q., Han, W., Hu, H., Lyu, J., Xu, X., Zhang, Q., Wang, H., & Li, X. 2017. Influence of the post-treatment of HZSM-5 zeolite on catalytic performance for alkylation of benzene with methanol. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 1777–1783.

- Wang, Z., Jiang, X., Pan, M., & Shi, Y. 2020. Nano-scale pore structure and its multi-fractal characteristics of tight sandstone by n₂ adsorption/desorption analyses: A case study of shihezi formation from the sulige gas filed, ordos basin china. *Journal Minerals*, 10(4). 377.
- Widati, A., Baktir, A., Hamami, Setiawati, H., & Rahmawati, A. 2010. Synthesis Of zeolit A From Baggase and Its Antimicrobial Activity On Candida Albicans. *Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam*, 15(2).
- Xu, R., Pang, W., Yu, J., Huo, Q., & Chen, J. 2007. *Structural of Chemistry of Microporous Materials*. John Wiley and Sons Pte Ltd.
- Ye, X., Shi, X., Jin, B., Zhong, H., Jin, F., & Wang, T. 2021. Natural mineral bentonite as catalyst for efficient isomerization of biomass-derived glucose to fructose in water. *Science of the Total Environment*, 778, 146-150.
- Yulianti, I. T. 2017. *Sintesis ZSM-5 (Zeolite Secony Mobile-5) Dari Silika Ampas Tebu (Bagasse) Menggunakan Metode Steam Assisted Conversion (SAC)*. Skripsi. FMIPA-UNILA. Lampung.
- Zhang, P., Whistler, R. L., Bemiller, J. N., & Hamaker, B. R. 2005. Banana starch: Production, physicochemical properties, and digestibility - A review. *Carbohydrate Polymers*, 59(4), 443–458.
- Zhang, S., Zhang, H., Liu, X., Zhu, S., Hu, L., & Zhang, Q. 2018. Upgrading of bio-oil from catalytic pyrolysis of pretreated rice husk over Fe-modified ZSM-5 zeolite catalyst. *Fuel Processing Technology*, 175, 17–25.
- Zhu, Y., Hua, Z., Song, Y., Wu, W., Zhou, X., Zhou, J., & Shi, J. 2013. Highly chemoselective esterification for the synthesis of monobutyl itaconate catalyzed by hierarchical porous zeolites. *Journal of Catalysis*, 299, 20–29.