SINTESIS ZEOLIT ANALSIM DAN Na-P PORI HIERARKI BERBASIS SILIKA AMPAS TEBU MENGGUNAKAN PATI SEBAGAI MESOPOROGEN SERTA UJI AKTIVITAS KATALIK PADA REAKSI ISOMERISASI GLUKOSA

(Skripsi)

Oleh

Chetrine Enamia

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023

ABSTRAK

SINTESIS ZEOLIT ANALSIM DAN Na-P PORI HIERARKI BERBASIS SILIKA AMPAS TEBU MENGGUNAKAN PATI SEBAGAI MESOPOROGEN SERTA UJI AKTIVITAS KATALIK PADA REAKSI ISOMERISASI GLUKOSA

Oleh

CHETRINE ENAMIA

Pada penelitian ini, dilakukan uji aktivitas katalitik pada zeolit analsim dan Na-P pori hierarki berbasis silika ampas tebu (*Sugarcane Bagasse Ash*/SCBA) menggunakan pati sebagai mesoporogen pada reaksi isomerisasi glukosa. Penelitian ini diawali dengan ekstraksi silika menggunakan metode alkali dari abu ampas tebu sebagai prekursor utama pada sintesis zeolit analsim dan Na-P. Hasil sintesis dilakukan penukaran ion dan uji aktivitas katalis. Karakterisasi silika menggunakan XRD, XRF, dan FTIR. Fasa *amorf* mendominasi silika ampas tebu dengan perbandingan Si/Al 1,4 dan terkonfirmasi adanya gugus fungsi siloksan dan silanol dengan FTIR. Zeolit analsim dan Na-P berhasil disintesis. Hal ini dinyatakan melalui kemiripan bentuk difraktogram zeolit analsim dan Na-P terhadap standar dengan memiliki tingkat kristalinitas sebesar 44,90% dan 58,12%. Perbandingan Si/Al didapatkan sebesar 1,98 dan 1,79 menggunakan XRF. Adanya penambahan pori ada analsim dan Na-P sekitar 2,272 dan 3,246 nm menggunakan BET. Kondisi optimum aktivitas katalis pada waktu 30 menit untuk zeolit analsim dan 20 menit untuk zeolit Na-P pada suhu 80°C dengan 0,03 g dari katalis. Konsentrasi glukosa yang minimum diperoleh dengan menggunakan zeolit Na-P yaitu sebesar 90,88 mg/L dengan konversi glukosa sebesar 29,92% sedangkan zeolit analsim sebesar 93,11 mg/L dengan konversi glukosa sebesar 28,21%.

Kata kunci : Silika SCBA, zeolit analsim dan Na-P, reaksi isomerisasi glukosa

ABSTRACT

SYNTHESIS OF HIERARCHICAL POROUS ANALCIME AND Na-P ZEOLITES BASED ON SILICA OF SUGARCANE BAGASSE USING STARCH AS MESOPOROGEN AND CATALYTIC TEST FOR THE ISOMERIZATION GLUCOSE

By

CHETRINE ENAMIA

In this study, catalytic activity was carried out on hierarchical porous analcime and Na-P zeolites based on bagasse silica (Sugarcane Bagasse Ash/SCBA) using starch as a mesoporous in the glucose isomerization reaction. The first steps of research were carried out by extracting silica using the alkaline method from bagasse ash as the main precursor in the synthesis of analcime and Na-P zeolites. The result of the synthesis of zeolite was carried out with ion exchange and tested on catalytic activity. Characterizations of silica were using XRD, XRF, and FTIR. The phase of sugarcane bagasse ash (SCBA) was dominated by amorph, the ratio of Si/Al was 1.4 and confirmed the presence of siloxane and silanol functional group from FTIR. Analcime and Na-P zeolite were successfully synthesized. It was confirmed from the diffractogram that has similarities to the standard diffractogram pattern and analcime and Na-P had 44.90% and 58.12% crystallinity. The ratio of Si/Al was obtained at 1.98 and 1.79 from XRF. The presence of additional pores in analcime and Na-P pores were 2.272 and 3.246 nm were confirmed from BET. The optimum condition of catalytic activity was 30 minutes for analcime and 20 minutes for Na-P zeolite at 80°C by using 0.03 g of the catalyst. The minimum glucose concentration was obtained by using Na-P zeolite which was 90.88 mg/L with a conversion of glucose 29.92% and the analcime zeolite was 93.11 mg/L with a conversion of glucose 28.21%.

Keywords: SCBA silica, analcime, Na-P zeolites, isomerization glucose

SINTESIS ZEOLIT ANALSIM DAN Na-P PORI HIERARKI BERBASIS SILIKA AMPAS TEBU DENGAN MENGGUNAKAN PATI SEBAGAI MESOPOROGEN SERTA UJI AKTIVITAS KATALITIK PADA REAKSI ISOMERISASI GLUKOSA

Oleh

Chetrine Enamia

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 ZEOLIT ANALSIM DAN Na-P PORI HIERARKI BERBASIS SILIKA AMPAS TEBU MENGGUNAKAN PATI SEBAGAI MESOPOROGEN SERTA UJI AKTIVITAS KATALIK PADA REAKSI ISOMERISASI GLUKOSA**

Nama : *Chetrine Enamia*

No Pokok Mahasiswa : **1857011007**

Jurusan : **Kimia**

Fakultas : **Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

Dr. Mita Rilyanti, M.Si.	**Dr. Dian Herasari, M.Si.**
NIP. 197205302000032001	NIP. 197108062000032001

2. Ketua Jurusan Kimia
FMIPA Universitas Lampung

Mulyono, Ph.D.
NIP. 197406112000031002

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua	: **Dr. Mita Rilyanti, M.Si.**	.....
Sekretaris	: **Dr. Dian Herasari, M.Si.**	.....
Penguji Bukan Pembimbing	: **Prof. Dr. Buhani, M.Si.**	.....

2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

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

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **24 Januari 2023**

SURAT PERNYATAAN

Yang bertandatangan di bawah ini:

Nama	: Chetrine Enamia
Nomor Pokok Mahasiswa	: 1857011007
Jurusan	: Kimia
Fakultas	: Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Perguruan Tinggi	: Universitas Lampung

Menyatakan bahwa skripsi yang berjudul **"Sintesis Zeolit Analsim Dan Na-P Pori Hierarki Berbasis Silika Ampas Tebu 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 pada universitas lain. Saya tidak keberatan jika data dalam skripsi ini digunakan oleh dosen atau program studi untuk kepentingan publikasi sesuai dengan kesepakatan.

Bandar Lampung, 24 Januari 2023
Yang Menyatakan,

Chetrine Enamia
NPM 1857011007

RIWAYAT HIDUP

Penulis bernama lengkap Chetrine Enamia, lahir di Baturaja pada tanggal 8 Desember 1999. Penulis merupakan anak pertama dari 3 bersaudara dari pasangan Bapak Waspada Ginting dan Ibu Rohani Sembiring. Penulis mengawali pendidikan formal di TK Mawar Melati yang diselesaikan pada tahun 2006, SDN Mangun Jaya 01 Tambun Selatan diselesaikan pada pada tahun 2012, SMPN 1 Martapura diselesaikan pada tahun 2014, SMAN 3 Martapura diselesaikan pada tahun 2018, dan dari tahun 2018 hingga penulisan skripsi ini penulis melanjutkan pendidikan di program studi S1 Kimia FMIPA Universitas Lampung.

Selama perkuliahan, penulis juga aktif berorganisasi yaitu dimulai sebagai Kader Muda (KAMI) Himaki pada tahun 2018-2019 dan aktif sebagai anggota bidang sosial masyarakat (SOSMAS) periode 2019-2020 di Himpunan Mahasiswa Kimia (HIMAKI). Selain itu, penulis juga aktif dibidang pelayanan mahasiswa Persekutan Ouikumene Mahasiswa Kristen MIPA (POM MIPA) pada tahun 2019-2020 serta pada Persekutuan Kristen Antar Universitas (Perkantas) pada tahun 2021-2022.

Penulis pernah menjadi asisten praktikum kimia dasar pada tahun 2021-2022 dan asisten praktikum kimia anorganik II pada tahun 2022 dan menyelesaikan Praktik Kerja Lapangan (PKL) dengan judul **Sintesis Zeolit Mordenit (MOR) Pori Hierarki Dengan Menggunakan Pati Sebagai Mesoporogen Melalui Metode SAC** di Laboratorium Kimia Anorganik/Fisik Jurusan Kimia FMIPA UNILA dan telah melaksanakan kegiatan kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Tumi Jaya, Kecamatan Jayapura, Martapura, Sumatra Selatan pada tahun 2021.

MOTTO

“Bagi Dialah, yang dapat melakukan jauh lebih banyak dari pada yang kita doakan atau pikirkan, seperti yang ternyata dari kuasa yang bekerja di dalam kita.”
(Efesus 3:20)

“For the Lord is good. His loyal love endures, and he is faithful through all generations.”
(Psalm 100:5)

“Sebab rancangan-Ku bukanlah rancanganmu, dan jalanmu bukanlah jalan-Ku demikianlah firman TUHAN.
Seperti tingginya langit dari bumi, demikianlah tingginya jalan-Ku dari jalanmu dan rancangan-Ku dari rancanganmu.”
(Yesaya 55:8-9)

“Buah keheningan adalah doa. Buah doa adalah iman. Buah iman adalah cinta. Buah cinta adalah pelayanan. Buah pelayanan adalah damai.”
(Bunda Teresa)

“Bersyukur dan bersabar adalah kendaraan terbaik dalam hidup”
(anonim, 2023)

“Selama kaki masih bisa berjalan walaupun tidak berlari
Selama tangan masih bisa menggapai walaupun terasa jauh
Selama mata masih bisa melihat kemurahan hati-Nya ditengah kesukaran, selama itu juga pasti ada pelangi sehabis hujan.”
(Chetrine Enamia Ginting, 2022)

Segala puji syukur hanya bagi Tuhan Yesus Kristus atas kasih setia-Nya yang tak berkesudahan dan selalu baru tiap hari.

Dengan penuh rasa syukur dan ketulusan hati kupersembahan sebuah karya sederhanaku kepada:

Bapak dan Mamak tercinta

yang telah berjuang tanpa lelah, selalu mendoakan, memberikan semangat dan nasihat. Kiranya karya sederhana ini yang telah ditunggu-tunggu dapat memberikan senyuman manis.

Untuk kedua adikku Maria Pehulisa Kharina Ginting dan Azareel Cristtian Caesar Ginting serta keluarga besar yang selalu mendoakan.

Rasa hormat dan bakti saya kepada:

Dr. Mita Rilyanti, M.Si.
Dr. Dian Herasari, M.Si.
Prof. Dr. Buhani, M.Si.

Serta kepada seluruh dosen kimia yang telah membimbing dan memberikan ilmu pembelajaran yang berharga

Teman-teman yang telah mewarnai bangku perkuliahan serta Menggoreskan cerita yang akan menjadi kenangan terindah untuk penulis

serta
Almamaterku tercinta
"Universitas Lampung"

SANWANCANA

Segala puji syukur penulis ucapkan ke hadirat Tuhan Yesus Kristus karena berkat cinta kasih serta penyertaan-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi yang berjudul **" Sintesis Zeolit Analsim Dan Na-P Pori Hierarki Berbasis Silika Ampas Tebu Dengan Menggunakan Pati Sebagai Mesoporogen Serta Uji Aktivitas Katalitik Pada Reaksi Isomerisasi Glukosa"** ini merupakan syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains dari Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung. Pada kesempatan ini penulis menyampaikan banyak terima kasih kepada berbagai pihak yang turut ikut membantu dalam proses studi hingga penyusunan skripsi ini baik berupa dukungan doa dan moril. Penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tuaku Bapak dan Mamak tercinta yang selalu memberikan kasih sayang serta dukungan doa, semangat, maupun materi kepada penulis. Terima kasih banyak Bapak dan Mamak yang sudah memberikan kesempatan kepada penulis untuk merasakan bangku perkuliahan ini. Semoga senantiasa Bapak dan Mamak diberikan kesehatan serta kebahagiaan agar kelak penulis dapat membahagiakan Bapak dan Mamak. Kedua adik penulis Lisa dan Arel, terima kasih karena sudah mengerti keadaan penulis dan dukungan semangat serta doanya.
2. Ibu Dr. Mita Rilyanti, M.Si. selaku Pembimbing I atas segala bimbingan, arahan dengan penuh kesabaran, nasehat, semangat, waktu luang, serta motivasi hidup kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan penelitian dan penulisan skripsi ini.
3. Ibu Dr. Dian Herasari, M.Si. selaku Pembimbing II dan Ibu Prof. Dr. Buhani, 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.

4. Bapak Syaiful Bahri, M.Si. selaku Pembimbing Akademik yang telah membimbing, memberikan bantuan, arahan, dan motivasi selama proses perkuliahan hingga penyusunan skripsi ini.
5. Seluruh Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Kimia FMIPA Unila yang telah memberikan pembelajaran yang berharga, ilmu, dan motivasi selama penulis menempuh pendidikan S1.
6. Bapak Dr. Eng. Suripto Dwi Yuwono, M.T selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam dan Bapak Mulyono, Ph.D sebagai Ketua Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung.
7. Mba Liza Apriyani, S.Si. Selaku laboran yang senantiasa membantu penelitian, memberikan semangat dan motivasi selama di Laboratorium Kimia Anorganik.
8. Teruntuk rekan dalam segala rekan Ester Hellen Novalina Lumban Gaol. Terima kasih sudah membersamai sejak kepengurusan POM MIPA 2019, *partner* penelitian yang terbaik selalu memberikan semangat dan nasehat, tempat keluh kesah selama di Laboratorium. Terima kasih sudah mendengarkan sebagian cerita aku dan mengerti keadaan aku. Walaupun kadang suka berbeda pendapat kamu tetap sabar menghadapi aku. Semangat ya Ter untuk kedepannya, semoga kelak kita dapat bertemu dengan kesuksesan masing-masing. Tuhan Yesus mengasihimu.
9. Zhaafira Allia Zahra dan Vincent Ferdinandl sebagai rekan penelitian yang selalu membantu, memberikan nasehat, saran serta semangat. Terima kasih untuk kebersamaannya selama menjalani penelitian ya. Semoga kita bisa bertemu lagi dilain kesempatan. *See you on top guys*.
10. Teruntuk Aprilia Fransiska Sembiring, Dora Panny Sitorus, Grace Febrianti Solafide Sirait, Meryam Grace Lumban Tobing, dan Ninid Widya Sari Lubis. Terima kasih banyak ya sudah menjadi sahabatku selama menjalani 4 tahun perkuliahan ini yang banyak warna-warni dan ceritanya. Terima kasih untuk suka dan duka yang udah dijalani bersama. Terima kasih juga sudah banyak membantu dan mendengarkan cerita aku. Semoga Kasih Kristus selalu menyertai di manapun kalian berada. Semoga kita sukses bareng ya. Amin paling serius.

11. Sahabat- sahabat masa SMA ku Wahyu, Iqbal, Aldy, Eva, Indah, Tina, Maqrus, Wulan, Ali, dan Afdal yang memberikan dukungan doa serta semangat. Semoga kita dipermudah dalam menggapai cita-cita kita. Amin.
12. Kelompok kecil Keren abizzz teruntuk Bang Benny dan Vanny, aku bersyukur bisa bertemu kalian dan ikut ber-KK bersama. Terima kasih banyak sudah mendengarkan ceritaku. Terima kasih sudah menerima kekurangan aku yaa, semoga kelak kelompok kecil kita boleh terus bertumbuh akan pengenalan Kristus dan menjadi garam serta terang dunia xixi.
13. Stephani, Maria, Depa, Monica akk ku yang terkasih, Aku bersyukur boleh kenal kalian dan mendengarkan sebagian cerita kalian. Semangat untuk perkuliahannya dan pelayanannya. Tuhan Yesus memberkati.
14. Keluarga *Chemistry* kelas A 2018 terima kasih untuk kebersamaanya selama menjalani perkuliahan. Semoga kita bisa dipertemukan kembali ya dengan kesuksesan masing-masing. Doa baik untuk kita semua.
15. Keluarga *Chemistry* 18 yang tidak dapat disebutkan satu per satu, terima kasih atas kebersamaan yang telah dilalui dalam kehidupan dikampus dari awal sampai sekarang. *See you on the top gaes!!*
16. Teruntuk Anggun, Eni, Antin, Farah, Ekachan, Acha, Atika, Cipta, Hendriko, Kadek fani yang menjadi kelompok belajar dan cerita selama perkuliahan hehe. Terima kasih ya sudah memberikan warna di perkuliahanku serta memberikan semangat. Semoga kita dipermudah dalam menggapai cita-cita ya. Doa baik untuk kita semua.
17. Kakak-kakak di Mita's Research 2016 khususnya Kak Azizah dan 2017 Kak Eroh, Kak Mia, Kak Amel, dan Kak Nurma terimakasih atas semua ilmu penelitian, semangat, saran, dan motivasi hidupnya ya 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 dipermudah langkahnya untuk menuju S.Si.
18. Teruntuk rekan-rekan penelitian yang ada di Lab Anorganik Iin Sibagariang, Shafa Ilina, Kak Arya Sanda, dan yang tak dapat kusebutkan satu per satu. Terima kasih sudah membersamai dalam jalannya penelitian ini.

Terima kasih sudah berbagi keluh kesah selama di Lab ya hehe. Semoga langkah kita dipermudah untuk menggapai cita-cita. Amin.

19. Temen-temen pengurus POM MIPA dan Pengurus PMK Yemima, Loren, Fidim yang memberikan dukungan doa dan semangat. Semoga kelak kita dipertemukan kembali dengan kesuksesan masing-masing. Tuhan Yesus memberkati.
20. Temen sepermainan penulis Frikles, Haposan, Kevin, Christ Fourta, Joey, Roni, Timothy, Bang Yanwardo, Rio. Terima kasih ya untuk pertemuan singkatnya dan ceritanya, aku belajar banyak dari kalian tentang hidup ini. Semoga kelak kita dipertemukan kembali dengan kesuksesan masing-masing. Doa baik untuk kita semua.
21. Teruntuk diri sendiri terima kasih sudah kuat serta sabar ya menjalani semua lika-likunya kehidupan. Apa yang dilakukan sekarang semoga segera berbuah manis di masa depan. Semoga bisa menjadi seseorang yang aguna (bermanfaat) buat diri sendiri, sesama, dan lingkungan. Tetap semangat Ket. Tuhan Yesus mengasihimu Ket.
22. Semua pihak yang membantu dan memberikan dukungan positif sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi ini.

Bandar Lampung, 24 Januari 2023

Penulis

Chetrine Enamia

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI i
DAFTAR TABEL iv
DAFTAR GAMBAR vi
I. PENDAHULUAN 1
1.1. Latar Belakang 1
1.2. Tujuan Penelitian 1
1.3. Manfaat Penelitian 5
II. TINJAUAN PUSTAKA 6
2.1. Katalis 6
2.2. Abu Ampas Tebu *(sugarcane bagasse ash/ SCBA)* 7
2.3. Silika 9
2.4. Ekstraksi Silika dari Abu Ampas Tebu 11
2.5. Zeolit 12
2.6. Zeolit Alam 15
2.7. Zeolit Sintetik 16
2.8. Zeolit Analsim (ANA) 17
2.9. Zeolit Na-P 19
2.10. Sintesis Zeolit 20
2.11. Zeolit Pori Hierarki 22
2.12. Mesoporogen 24
2.13. Metode *Steam Assisted Crystallization* (SAC) 26
2.14. Metode Hidrotermal 27
2.15. Karakterisasi Zeolit 27
2.15.1. *X-Ray Diffraction* (XRD) 28
2.15.2. *X-Ray Fluorescene* (XRF) 31
2.15.3. *Brunauer-Emmett-Teller* (BET) 32
2.16. Isomerisasi Glukosa 35

2.16.1. Glukosa 36
2.16.2. Fruktosa 36
2.17. *Fourier Transform Infra Red* (FTIR) 38
2.18. Spektrofotometri UV-*Vis* dan Metode DNS 39
III. METODE PENELITIAN 41
3.1. Waktu dan Tempat Penelitian 41
3.2. Alat dan Bahan 41
3.3. Prosedur Penelitian 42
3.4. Sintesis Zeolit ANA dan Na-P Pori Hierarki 43
3.4.1. Sintesis Zeolit ANA dan Na-P Pori Hierarki dengan Menggunakan Silika SCBA 43
3.4.2. Karakterisasi Zeolit ANA dan Na-P Berbasis Silika SCBA 45
3.5. Persiapan Katalis H-ANA dan H-P 45
3.6. UJi Aktivitas Katalitik 45
3.6.1. Penentuan Suhu Optimum 45
3.6.2. Penentuan Waktu Optimum 46
3.6.3. Penentuan Jumlah Katalis Optimum 46
3.7. Analisis Produk 46
3.8. Diagram Alir 47
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN 48
4.1. Ekstraksi Silika SCBA 48
4.2. Karakterisasi Silika Hasil Ekstraksi 52
4.2.1. Analisis XRD 52
4.2.2. Analisis XRF 52
4.2.3. Analisis FTIR 53
4.3. Sintesis Zeolit ANA Pori Hierarki Berbasis Silika SCBA 54
4.4. Sintesis Zeolit Na-P Pori Hierarki Berbasis Silika SCBA 55
4.5. Karakterisasi Zeolit Hasil Sintesis 56
4.5.1. Karakterisasi XRD Zeolit Analsim dan Na-P 56
4.5.2. Karakterisasi XRF Zeolit ANA dan Na-P 58
4.5.3. Karakterisasi BET Zeolit Analsim dan Na-P 59

4.6. Persiapan Katalis 63
4.7. Uji Aktivitas Katalitik Zeolit Analsim 65
4.7.1. Penentuan Waktu Optimum Zeolit ANA 65
4.7.2. Penentuan Suhu Optimum Zeolit ANA 67
4.7.3. Penentuan Jumlah Katalis Optimum Zeolit ANA 68
4.8. Uji Aktivitas Katalitik Zeolit Na-P 69
4.8.1. Penentuan Waktu Optimum Zeolit Na-P 69
4.8.2. Penentuan Suhu Optimum Zeolit Na-P 70
4.8.3. Penentuan Jumlah Katalis Optimum Zeolit Na-P 71
4.9. Analisis Produk 72
V. KESIMPULAN DAN SARAN 74
5.1. Kesimpulan 74
5.2. Saran 75
DAFTAR PUSTAKA 76
LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Tabel **Halaman**

1. Komposisi kimia abu ampas tebu, abu sekam padi, dan abu terbang..... 8
2. Sifat fisika dan kimia zeolit..... 14
3. Contoh zeolit alam 16
4. Komposisi senyawa dalam SCBA 32
5. Molar pereaksi untuk sintesis analsim dan Na-P dari silika abu ampas 43
6. Perhitungan komposisi molar pereaksi untuk sintesis analsim dan Na-P..... 44
7. Komponen oksida dalam silika SCBA..... 53
8. Komposisi senyawa dalam zeolit analsim dan Na-P 59
9. Data analisis BET zeolit analsim..... 61
10. Data analisis BET zeolit Na-P 63

DAFTAR GAMBAR

Gambar **Halaman**

1. (a) Ampas tebu (b) Abu ampas tebu 8
2. Struktur padatan silika dioksida..... 9
3. (a) Kuarsa (b) Kristobalit (c) Tridimit 10
4. Struktur 3 dimensi zeolit 13
5. Kerangka zeolit analsim 18
6. Hasil SEM zeolit ANA..... 19
7. Kerangka zeolit Na-P 19
8. Hasil SEM zeolit Na-P 20
9. Ilustrasi zeolit pori hierarki menggunakan *template* keras..... 23
10. Struktur pati 25
11. Skema pembentukan mesopori 25
12. Ilustrasi sintesis zeolit MFI menggunakan metode SAC 26
13. Alat autoklaf 27
14. Ilustrasi difraksi sinar-X..... 29
15. Difraktogram zeolit ANA..... 30
16. Difraktogram zeolit Na-P 30
17. Klasifikasi pola grafik isoterm..... 33
18. N_2 isoterm adsorpsi 34
19. Struktur glukosa..... 36
20. Struktur fruktosa 37
21. Mekanisme dehidrasi fruktosa..... 37
22. Skema representasi isomerisasi glukosa menjadi fruktosa 38
23. Spektra FTIR silika abu ampas tebu 39
24. Reaksi DNS dengan fruktosa..... 40
25. Ampas tebu sebelum dicuci (a) setelah dicuci (b) kering dan bersih (c) setelah dibakar (d) 50

26. Mekanisme pembentukan siloksan 51
27. Ekstraksi silika SCBA (a) natrium silikat (b) hidrogel (c) silika..... 51
28. Difraktogram silika SCBA 52
29. Spektra FTIR silika SCBA 54
30. Pengadukan prekursor (a) hasil sintesis (b)..... 55
31. Pencampuran prekursor (a) *dry gel* (b) sebelum sintesis (c) sesudah..... 56
32. Difraktogram zeolit ANA..... 57
33. Difraktogram zeolit Na-P 58
34. Grafik *isoterm sorption* zeolit ANA 60
35. Klasifikasi *hysteresis loop* dengan bentuk pori 61
36. Grafik *isoterm sorption* zeolit Na-P..... 62
37. Proses pertukaran ion pada kerangka zeolit 64
38. Proses *ion exchange* (a) zeolit analsim sebelum dibilas 65
39. Penentuan waktu optimum zeolit ANA 66
40. Penentuan suhu optimum zeolit ANA..... 67
41. Penentuan jumlah katalis optimum zeolit ANA 68
42. Penentuan waktu optimum zeolit Na-P..... 70
43. Penentuan suhu optimum zeolit Na-P..... 71
44. Penentuan jumlah katalis optimum zeolit Na-P..... 72
45. Hasil analisis gula pereduksi berdasarkan jenis katalis..... 73

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Katalis merupakan material yang banyak sekali digunakan dalam bidang industri, dikarenakan mempercepat laju reaksi sehingga meningkatkan *yield/*hasil dari reaksi. Katalis dapat mempercepat laju reaksi dengan cara menurunkan energi aktivasi. Penurunan energi aktivasi ini mengakibatkan energi minimum yang dibutuhkan untuk terjadinya tumbukan berkurang sehingga reaksi berlangsung cepat. Selain menurunkan energi aktivasi katalis juga berperan dalam meningkatkan efisensi reaksi, mempertahankan kesetimbangan reaksi, dan beberapa katalis selektif terhadap reaksi tertentu (Widi, 2018). Oleh karena itu, sebagian besar proses produksi pada industri khususnya industri kimia dilakukan dengan bantuan katalis.

Berdasarkan fasa reaktan dan katalis, jenis katalis dibedakan menjadi 2 yaitu katalis homogen dan heterogen. Katalis homogen adalah katalis dimana fasa reaktan dan fasa katalis sama atau dapat dikatakan berada dalam satu fasa, misalnya dalam suatu fasa tunggal cair atau gas. Hal ini mengakibatkan proses pemisahan katalis dengan reaktan menjadi sulit sehingga menghambat penggunaannya dalam skala industri. Berbeda dengan katalis heterogen cenderung lebih mudah dipisahkan dan dapat digunakan kembali, dikarenakan fasa antara reaktan dan katalis berbeda sehingga, lebih menguntungkan dibandingkan katalis homogen (Istadi, 2011). Salah satu katalis heterogen yang cukup banyak digunakan adalah zeolit.

Zeolit merupakan material kristalin aluminosilikat berpori yang memiliki struktur unik, tersusun atas atom silikon yang dikelilingi oleh 4 atom oksigen sehingga membentuk jaringan atau kerangka 3 dimensi dengan pola yang teratur. Kerangka 3 dimensi ini terbuka dan mengandung rongga-rongga serta di dalamnya terisi ion-ion logam seperti logam-logam alkali atau alkali tanah dan molekul air yang

dapat bergerak bebas (Patdhanagul *et al*., 2010). Zeolit dapat diaplikasikan sebagai katalisator dikarenakan memiliki pori-pori yang besar dan permukaan yang luas serta memiliki sisi aktif.

Zeolit yang sering digunakan dalam bidang industri yaitu zeolit sintetik, dikarenakan memiliki kemurnian yang tinggi dan kristalinitas yang baik (Hidayat dkk., 2019). Prinsip dasar pembuatan zeolit sintetik yaitu menggunakan sumber utama silika dan alumina dengan perbandingan komposisi molar tertentu sehingga didapatkan zeolit yang diinginkan. Permasalahan yang timbul dalam mensintesis zeolit yaitu ketersediaan sumber silika dan alumina yang dapat digunakan berkelanjutan serta ramah lingkungan. Salah satu alternatif untuk mendapatkan sumber silika dan alumina yang ramah lingkungan dapat berasal dari alam seperti menggunakan limbah biomassa yaitu ampas tebu (Jha *et al*., 2021).

2Banyaknya industri gula di Provinsi Lampung mengakibatkan limbah ampas tebu yang dihasilkan melimpah. Menurut data Direktorat Jenderal Perkebunan (2021) luas areal tebu di Provinsi Lampung 135.341 Ha dan produksi tebu di Lampung sebanyak 768.000 ton/tahun serta tiap tahunnya memproduksi gula berkisar 190.000 ton. Tingginya produksi gula diikuti dengan peningkatan jumlah limbah ampas tebu yang dihasilkan. Selama ini, ampas tebu telah dimanfaatkan sebagai bahan bakar pada ketel uap maupun bahan bakar tungku pada produksi gula. Pemanfaatan ampas tebu ini akan lebih meningkat jika dijadikan abu ampas tebu *(Sugarcanne Bagasse Ash)* melalui proses pembakaran (Purnawan dkk., 2018). Menurut Jha *et al* (2021) abu ampas tebu mengandung sekitar 70 % silika. Kandungan silika yang tinggi pada abu ampas tebu berpotensi untuk dijadikan sebagai sumber silika yang berkelanjutan seperti dalam sintesis zeolit.

Lebih dari 150 zeolit sintetik yang dikenal diantara yaitu zeolit analsim (ANA) dan Na-P. Beberapa peneliti telah berhasil mensintesis kedua zeolit ini dikarenakan tingkat kerberhasilan sintesis yang cukup tinggi. Azizi *et al* (2014) melaporkan sintesis zeolit analsim dengan penambahan logam Ni. Aminah (2017) berhasil melaporakan sintesis zeolit Na-P dengan variasi suhu kristalisasi. Zeolit analsim dan Na-P biasa digunakan sebagai katalis pada perengkahan minyak ataupun sebagai pemisahan molekul gas yang berukuran kecil. Dalam aplikasi

sebagai katalis zeolit analsim dan Na-P memiliki sistem pori mikropori yang membatasi kinerja katalitik dalam mentransfer molekul besar ke situs aktif zeolit atau biasa disebut keterbatasan difusi (Meng *et al*., 2009). Hal tersebut dapat diatasi dengan penambahan pori sekunder disamping pori mikropori yang disebut sebagai zeolit pori hierarki. Zeolit pori hierarki memiliki mikroporositas dan meso/makroporositas yang dapat mengurangi batasan sterik untuk molekul yang besar, meningkatkan laju difusi intrakristalin, memaksimalkan pemanfaatan katalis, serta memodulasi selektivitas terhadap produk target (Hartmann *et al*., 2016).

Salah satu metode untuk mendapatkan zeolit pori hierarki dengan menggunakan strategi *templating* (metode cetak) atau yang disebut *"bottom up"*. Metode *templating* menggunakan agen pengarah mesopori atau yang lebih dikenal dengan sebutan mesoporogen sehingga pada kristal zeolit dihasilkan porositas tambahan dengan ukuran meso atau makro (Kadja *et al*., 2013). Metode *templating* terbagi menjadi dua yaitu *soft template* dan *hard template*. Zhang *et al* (2020) berhasil mensintesis ZSM-5 dengan menggunakan *template nanotube* karbon terhidroksilasi melalui metode hidrotermal. Material *Soft template* yang dapat digunakan yaitu surfaktan, polimer, bakteri, dan pati. Pati sebagai mesoporogen memiliki kelebihan yaitu metodenya sederhana dan ekonomis serta dapat meningkatkan volume pori. Pada penelitian Che *et al* (2019) berhasil mensintesis ZSM-5 dengan menggunakan mesoporogen yaitu sukrosa dan selulosa masing-masing 10 %, hasilnya menunjukkan sedikit peningkatan volume mikropori. Sedangkan, dengan menggunakan pati sebanyak 10% menunjukkan peningkatan volume mesopori. Pada penelitian ini dilakukan sintesis zeolit analsim dan Na-P pori hierarki menggunakan pati sebagai mesoporogen. Zeolit analsim dan Na-P memiliki situs asam Brønsted dan Lewis yang cukup tinggi sehingga dapat diaplikasikan pada berbagai reaksi salah satunya dapat mengkatalisis reaksi isomerisasi (Narayanan *et al*., 2020). Reaksi isomerisasi glukosa menjadi fruktosa merupakan reaksi yang penting dalam *biorefinery*, dikarenakan fruktosa tidak hanya dikenal sebagai gula yang paling manis tetapi juga reaktif untuk produksi 5-hidroksimetilfurfural yang dapat dijadikan bahan baku pada produksi biodiesel (Ye *et al*., 2021). Beberapa penelitian telah melakukan reaksi

isomerisasi glukosa menjadi fruktosa dengan menggunakan zeolit sebagai katalis. Zhu *et al* (2021) berhasil mengkatalisis glukosa menjadi fruktosa dengan menggunakan zeolit Y yang dimodifikasi dengan perlakuan basa dan hasilnya konversi glukosa meningkat 35,8% seiring meningkatnya suhu dan rendemen fruktosa mencapai 20,2%.

Berdasarkan uraian tersebut, pada penelitian ini dilakukan sintesis zeolit analsim dan Na-P dengan sumber silika yang berasal dari abu ampas tebu serta menggunakan pati sebagai mesoporogen. Uji katalitiknya dilakukan perbandingan kedua zeolit tersebut pada reaksi isomerisasi glukosa menjadi fruktosa. Zeolit yang telah disintesis akan dikarakterisasi dengan menggunakan *X-Rays Diffraction* (XRD) untuk menentukan kristalinitas zeolit, *X-Ray Fluorescence* (XRF) untuk mengetahui komposisi unsur yang terkandung dalam zeolit, *Surface Area Analyzer (*SAA) untuk mengetahui luas permukaan dan ukuran pori. Sedangkan, analisis produk dari hasil reaksi isomerisasi dilakukan dengan menggunakan Spektrofotometri UV-Vis.

1.2. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian adalah sebagai berikut:

1. Memperoleh silika dari hasil ekstraksi abu ampas tebu sebagai prekursor dalam sintesis zeolit analsim dan Na-P pori hierarki.
2. Mensintesis dan mengkarakterisasi zeolit analsim dan Na-P pori hierarki dari silika SCBA dengan menggunakan pati sebagai mesoporogen.
3. Membandingkan aktivitas katalitik zeolit analsim dan Na-P pori hierarki berbasis silika SCBA pada reaksi isomerisasi glukosa.

1.3. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Meningkatkan nilai ekonomis abu ampas tebu sebagai sumber silika-alumina yang berkelanjutan dan ramah lingkungan pada sintesis zeolit analsim dan Na-P pori hierarki.
2. Memberikan informasi mengenai zeolit analsim dan Na-P sebagai katalis pada reaksi isomerisasi glukosa.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Katalis

Katalis ditemukan oleh J.J. Berzelius pada tahun 1836 sebagai material yang dapat meningkatkan laju reaksi kimia, namun tidak ikut bereaksi. Katalis dapat meningkatkan laju reaksi dikarenakan terjadi perubahan lintasan molekular atau mekanisme dari reaksi untuk memperoleh produk tertentu. Maka dari itu, katalis sangat besar pengaruhnya pada hasil yang diharapkan (Zabeti, 2009). Ada 3 macam komponen dari katalis yaitu:

1. Komponen aktif atau inti aktif, berfungsi membantu berlangsungnya reaksi kimia dari reaktan untuk membentuk produk.
2. Komponen penunjang (*support* atau pengemban) berfungsi menjaga luas permukaan yang tinggi bagi komponen aktif serta dapat juga berfungsi sebagai komponen aktif. Contohnya yaitu yang sering dipakai yaitu γ-Al_2O_3, SiO_2, C (*activated*). Syarat *support* pada katalis yaitu bersifat *inert*, ukuran pori terdistribusi dengan baik serta luas permukaan tinggi.
3. Komponen promotor ditambahkan dalam jumlah sedikit dan berfungsi untuk aktivitas, selektivitas atau stabilitas yang diharapkan (Anggraeni, 2015).

Secara umum katalis dibedakan menjadi dua yaitu katalis homogen dan heterogen.

1. Katalis homogen

   Katalis homogen merupakan katalis di mana fasa antara reaktan dan katalis adalah sama. Katalis homogen terjadi melalui pembentukan senyawa kompleks dari molekul reaktan dan penataan ulang antar molekul. Dalam proses ini reaksi yang menggunakan katalis homogen dapat berlangsung spesifik dengan menghasilkan produk yang diinginkan dengan hasil yang tinggi. Proses ini berlangsung sulit secara komersial terutama pada fase cair, dikarenakan keterbatasan dalam pengoperasian dalam suhu dan tekanan, yang

menyebabkan pengaturan peralatan atau reaktor untuk proses kimia jadi lebih sulit. Proses pemisahan juga sulit karena katalis dan reaktan berada dalam fasa yang sama. Adapun kelebihan dari katalis homogen yaitu hasil konversireaksi produk yang dihasilkan lebih besar jika dibanding katalis heterogen. Beberapa contoh katalis homogen yang biasanya digunakan dalam produksi biodiesel, seperti basa (NaOH, KOH), asam (HCl, H_2SO_4) (Widi, 2018).

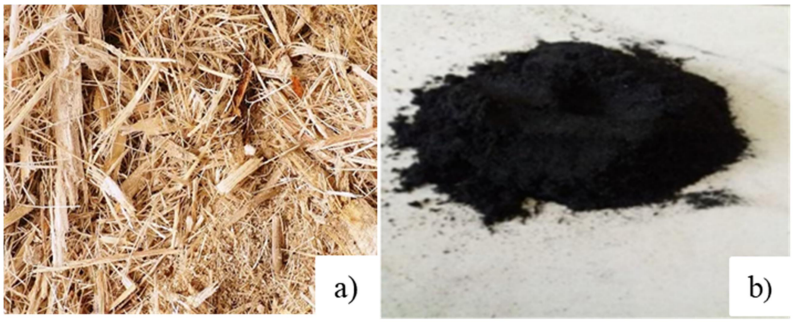
2. Katalis heterogen

Katalis heterogen merupakan katalis di mana fasa antara reaktan dan katalis berlainan. Katalisis terjadi melalui difusi dan penyerapan atau adsorpsi molekul reaktan pada permukaan katalis. Melalui sistem ini memungkinkan pemisahan reaktan dan aliran produk yang mudah dari katalis. Selain itu, katalis heterogen dapat digunakan kembali. Tidak hanya itu, katalis heterogen dapat digunakan dalam berbagai media, aktivitas serta selektivitas yang tinggi, relatif murah dan dengan mudah diaktifkan untuk memperoleh sifat katalitik yang diinginkan. Penggunaan katalis heterogen lebih efektif dan efisien dibanding katalis homogen (Widi, 2018).

2.2. Abu Ampas Tebu *(sugarcane bagasse ash/ SCBA*)

Ampas tebu banyak digunakan sebagai bahan bakar pada ketel uap. Hasil pembakaran ampas tebu menghasilkan abu ampas tebu atau yang disebut *sugarcane bagasse ash* (SCBA) (Pangouw dkk., 2013). Setiap ton pembakaran ampas tebu menghasilkan 25-40 kg abu ampas tebu (Sales and Lima, 2010). Banyaknya abu ampas tebu yang dihasilkan dari pembakaran dapat menimbulkan pencemaran lingkungan. Seperti yang diketahui, abu ampas tebu tidak dapat digunakan sebagai pupuk dikarenakan tidak memiliki cukup unsur hara untuk memenuhi nutrisi tanaman sebaliknya dapat meningkatkan logam berat ke dalam tanah (Xu *et al*., 2018). Menurut Affandi *et al* (2009) abu ampas tebu dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku untuk produksi silika gel.

Kandungan silika yang terdapat pada abu ampas tebu cukup tinggi yaitu sekitar 70 % silika (Jha *et al.*, 2021). Ampas tebu dan abu ampas tebu disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. (a) Ampas tebu (b) Abu ampas tebu (Jha *et al.*, 2021)

Silika yang berasal dari abu ampas tebu lebih tinggi dibandingkan dengan abu terbang (*fly ash),* tetapi tidak lebih tinggi dari abu sekam padi. Komposisi kimia pada abu ampas tebu, sekam padi, dan abu terbang dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1.Komposisi kimia abu ampas tebu, abu sekam padi, dan abu terbang

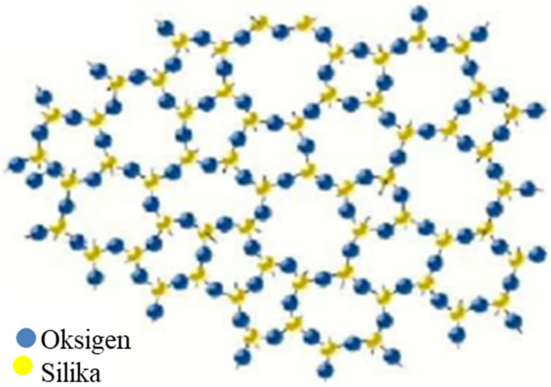
Komposisi	% Berat		
	Abu Sekam Padi	**Abu Ampas Tebu**	**Abu Terbang**
SiO_2	94,4	71,9	50,50
Al_2O_3	0,61	6,7	26,57
FeO_3	0,03	5,8	13,77
CaO	0,83	3,8	2,13
MgO	1,21	2,2	1,54
K_2O	1,06	2,7	0,77
P_2O_3	1,5	1,7	2,19

(Folleto, 2006; Dhawan *et al*., 2021).

Kandungan silika pada abu ampas tebu tidak memiliki nilai yang pasti, dikarenakan bergantung dengan jenis areal tanah tempat tebu tersebut ditanam (Souza *et al*., 2011). Abu ampas tebu didapatkan melalui pembakaran ampas tebu pada rentang suhu 500-600°C. Fasa silika yang diharapkan dari hasil pembakaran ampas tebu yaitu silika fasa *amorf.* Menurut Hanafi dan Nandang (2010) derajat kekristalan SiO_2 pada pembakaran ampas tebu dengan rentang suhu 500-600°C adalah rendah itu berarti fasa *amorf* mendominasi dibanding fasa kristalin.

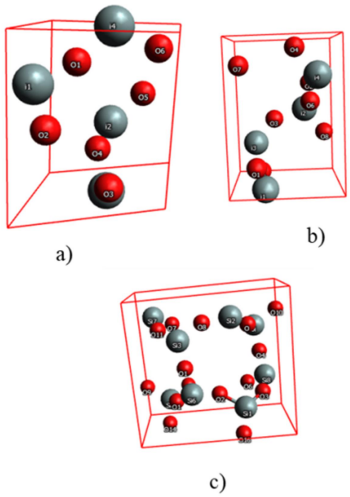
2.3. Silika

Silika banyak sekali dimanfaatkan sebagai bahan baku dalam peralatan rumah tangga, industri mobil, maupun bahan isolator listrik dan panas. Silika memiliki rumus molekul SiO_2 yang terbentuk dari atom oksigen dan silikon. Silikon (Si) termasuk salah satu unsur yang banyak tersedia di kerak bumi dan di alam melimpah dalam bentuk SiO_2 (Sembiring dan Simanjuntak, 2015). Silika terikat secara kovalen membentuk tetrahedral kepada 4 atom oksigen dan atom oksigen mengikat 2 atom silikon sehingga, setidaknya satu atom silikon membentuk siloksan (Si-O-Si). Struktur padatan silika dioksida disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Struktur padatan silika dioksida (Rahmawati Sunarya, 2009)

Silika memiliki 3 fasa yaitu kuarsa, kristobalit, dan tridimit serta mineral utama dari silika yaitu kuarsa dengan struktur atom tetrahedral. Rentang stabilitas dari kuarsa kurang dari 870°C, pada suhu 870-1470°C terbentuk tridimit, pada suhu 1470-1723°C terbentuk kristobalit, dan pada suhu lebih dari 1723°C terbentuk silika cair. Jadi, dapat disimpulkan pada suhu rendah silika berbentuk kuarsa dan pada suhu tinggi berbentuk kristobalit (Smallman dan Bishop, 2000). Bentuk silika pada fasa kuarsa, kristobalit, dan tridimit ditunjukkan oleh Gambar 3.



Gambar 3. (a) Kuarsa (b) Kristobalit (c) Tridimit (Fauziyah, 2015)

Adapun sifat fisika dan kimia dari silika adalah sebagai berikut:

a. Sifat Fisik Silika
   1. Nama IUPAC : silikon dioksida
   2. Nama lain : kuarsa, silika, silikat oksida, silikon (IV) oksida
   3. Rumus molekul : SiO_2
   4. Massa molar : 60,08 g mol^{-1}
   5. Penampilan : kristal transparan
   6. Kepadatan : 2,648 g cm^{-3}
   7. Titik lebur : 1600-1725°C
   8. Titik didih : 2230°C
   9. Silika dalam bentuk amorf memiliki densitas sebesar 2,21 g/cm^3
   10. Silika tidak larut dalam air dingin, air panas maupun alkohol, tetapi larut dalam HF

b. Sifat Kimia Silika

   Sifat-sifat kimia dari silika menurut Svehla (1985) sebagai berikut:

   1. Silika relatif tidak reaktif terhadap asam kecuali terhadap HF dan asam fosfat seperti pada Persamaan 1.

$$SiO_{2(s)} + 4HF_{(aq)} \longrightarrow SiF_{4(aq)} + 2H_2O_{(l)} \quad (1)$$

2. Dalam asam berlebih reaksinya terdapat pada Persamaan 2.

$$SiO_{2(s)} + 6HF_{(aq)} \longrightarrow H_2[SiF_6]_{(aq)} + 2H_2O_{(l)} \quad (2)$$

3. Silika juga dapat bereaksi dengan basa kuat seperti pada Persamaan 3.

$$SiO_{2(s)} + 2NaOH_{(aq)} \longrightarrow Na_2SiO_3 + H_2O \quad (3)$$

4. Silika dapat dibuat dengan mencampurkan larutan natrium silikat dengan suatu asam mineral yang menghasilkan dispersi pekat dan memisahkan partikel dari silika terhidrat, dikenal sebagai silika hidrosol atau asam silikat yang kemudian dikeringkan pada suhu 110°C agar terbentuk silika gel.

   Reaksi yang terjadi terdapat pada Persamaan 4 dan 5.

$$Na_2SiO_{3(aq)} + 2HNO_{3(aq)} \longrightarrow H_2SiO_{3\,(l)} + 2NaNO_{3(aq)} \quad (4)$$

$$H_2SiO_{3\,(s)} \longrightarrow SiO_2.H_2O_{(s)} \quad (5)$$

Silika banyak dimanfaatkan pada bidang industri seperti keramik *cordierite* yang berbahan dasar SiO_2, Al_2O_3, dan MgO. Sistem MgO-Al_2O_3-SiO_2 sering digunakan sebagai bahan dasar pada industri gelas, keramik, elektronik dikarenakan memiliki kestabilan termal tinggi dan koefisien termal rendah (Karmakar *et al*., 2002). Selain itu, pada penelitian Purnawan dkk (2018) silika yang berasal dari ampas tebu yang termodifikasi dengan arginin dapat dijadikan adsorben logam Cu(II). Banyak juga yang memanfaatkan silika sebagai prekursor dalam sintesis zeolit salah satunya pada penelitian yang telah dilakukan Rilyanti *et al* (2021) yaitu sintesis zeolit H-MOR dengan prekursor berupa silika yang berasal dari ampas tebu dengan metode SAC.

2.4. Ekstraksi Silika dari Abu Ampas Tebu

Silika dari abu ampas tebu didapatkan dengan cara ekstraksi. Ekstraksi adalah metode pemisahan dua atau lebih komponen dengan menambahkan suatu pelarut yang tepat. Hal yang perlu diperhatikan pada saat melakukan ekstraksi adalah pemilihan pelarut yang sesuai. Pelarut harus dapat melarutkan ekstrak yang

dinginkan dan bukan komponen lain (Sudjadi, 1988). Seperti yang diketahui silika larut dalam alkali, sehingga ekstraksi silika dapat dilakukan dengan menggunakan larutan alkali yaitu NaOH. Pemilihan larutan NaOH dikarenakan memiliki alkalinitas yang tinggi sehingga meningkatkan kelarutan silika, disamping itu NaOH juga mudah untuk diperoleh (Moises *et al*., 2013). Sebelum ekstraksi silika dari abu ampas tebu, terdapat prepasi yang harus dilakukan. Limbah ampas tebu dicuci dengan menggunakan larutan asam dikarenakan dapat menghilangkan pengotor logam pada ampas tebu (Widati dkk., 2011). Selanjutnya, ditanur pada suhu 600°C selama 5 menit dikarenakan silika dari abu ampas tebu yang diharapkan adalah fasa *amorf* . Hal tersebut diperkuat oleh Hanafi dan Nandang (2010) yang melakukan penelitian tentang pengaruh suhu pengabuan ampas tebu terhadap struktur silika yang terbentuk bahwa pada suhu 600°C derajat kekristalan SiO_2 rendah yang berarti dominan fasa amorf. Kemudian dilakukan ekstraksi menggunakan pelarut NaOH 2 M. Reaksi yang terjadi seperti pada Persamaan 6.

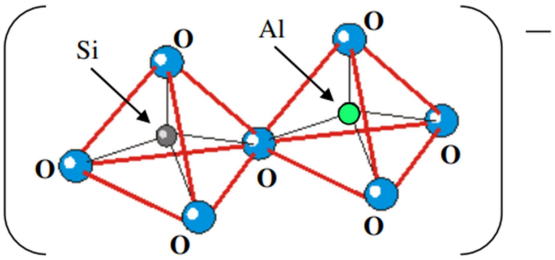
$$SiO_{2\,(s)} + 2NaOH_{(aq)} \longrightarrow Na_2SiO_{3\,(aq)} + H_2O_{(l)} \qquad (6)$$

Selanjutnya, filtrat yang diperoleh yaitu natrium silikat (Na_2SiO_3) ditambahkan HNO_3 10% sampai pH 7 di mana akan terlihat *slurry* yang menandakan cikal bakal adanya silika pada hidrogel tersebut. Gel yang diperoleh dicuci dan dikeringkan hingga terbentuk silika. Tujuan pencucian yaitu membersihkan hidrogel dari sisa-sisa filtrat serta didapatkan silika yang berwarna putih (Rilyanti *et al*., 2020).

2.5. Zeolit

Zeolit merupakan kristalin aluminosilikat dari alkali dan alkali tanah yang tersusun atas tetrahedral $[SiO_4]^{4-}$ dan $[AlO_4]^{5-}$ membentuk sebuah kerangka 3 dimensi yang teratur dan saling terhubung oleh atom-atom oksigen. Kerangka 3 dimensi ini terbuka dan mengandung rongga-rongga yang mana di dalamnya terisi ion-ion logam seperti logam-logam alkali atau alkali tanah dan molekul air yang dapat bergerak bebas (Patdhanagul *et al*., 2010). Rumus empiris dari zeolit adalah

$M_2/nO \cdot Al_2O_3 \cdot ySiO_2 \cdot wH_2O$ di mana y adalah 2 sampai 100, n merupakan valensi kation dan w merupakan kandungan air pada ruang kosong zeolit (Flanigen *et al.*, 2010). Struktur tiga dimensi zeolit disajikan pada Gambar 4.



Gambar 4. Struktur 3 dimensi zeolit (Junaydi, 2016)

Karakteristik struktur zeolit menurut Dur (2017) adalah sebagai berikut:

1. Kerangka kristal zeolit terbentuk dari jaring tetrahedral $[SiO_4]^{4-}$ dan $[AlO_4]^{5-}$ mengakibatkan zeolit sangat berpori.
2. Pori- porinya berukuran molekul, sebab pori zeolit terbentuk dari tumpukan cincin beranggotakan 6, 8, 10 atau 12 tetrahedral.
3. Dapat menukarkan kation, dikarenakan perbedaan muatan Al^{3+} dan Si^{4+} menjadikan atom Al dalam kerangka kristal bermuatan negatif dan membutuhkan kation penetral. Kation penetral yang tidak menjadi bagian kerangka ini dapat diganti dengan mudah menggunakan kation lainnya.
4. Mudah dimodifikasi karena setiap tetrahedral dapat dikontakkan dengan bahan-bahan pemodifikasi.
5. Dapat diubah menjadi padatan yang bersifat asam sebab penggantian kation penetral dengan proton mengakibatkan zeolit menjadi padatan asam Bronsted.

Mineral zeolit adalah kelompok mineral alumunium silikat terhidrasi dari logam alkali dan alkali tanah (terutama Ca, dan Na). Beberapa zeolit berwarna putih, kebiruan, kemerahan, coklat, dan lain-lain. Hal tersebut dikarenakan, hadirnya oksida besi atau logam lainnya. Densitas zeolit antara 2,0-2,3 g/cm^3, dan berbentuk halus dan lunak. Struktur zeolit dapat dibedakan dalam 3 komponen yaitu kerangka aluminosilikat, molekul air, dan ruang kosong yang saling berhubungan yang berisi kation logam (Harben and Kuzvart, 1996). Molekul air

yang terkandung dalam pori tersebut dapat dilepas dengan pemanasan pada temperatur 300-400°C, sehingga zeolit dapat berfungsi sebagai penyerap gas atau cairan (Sutarti dan Rachmawati, 1994). Jumlah air yang terkandung dalam zeolit sesuai dengan banyaknya pori atau volume pori. Sifat fisika dan kimia dari zeolit disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Sifat fisika dan kimia zeolit

Sifat	**Keterangan**
Ukuran pori	~5-15Å
Bentuk pori	*Circular, elliptical*
Dimensi sistem pori	1-D, 2-D, 3-D
Konfigurasi pori	Saluran, rongga
Sifat permukaan	Hidrofilik, hidrofobik (kadar silika banyak)
Volume	Kurang dari ~50%
Komposisi struktur kerangka Oksida	Si, Al, P, Ga, Ge, B, Be, Zn, Ti, Fe, Co, Cr, V, Mg, Mn

(Mantsuro, 2018).

Kegunaan dari zeolit antara lain:

1. Dehidrasi

   Sifat dehidrasi zeolit berpengaruh terhadap sifat adsorpsinya. Contohnya pada zeolit A berguna sebagai pendehidrasi ataupun adsorben. Sebagai, pendehidrasi dapat menghilangkan kelembaban dan zat asing dari campuran gas atau cairan. Sedangkan, sebagai adsorpsi memisahkan campuran azeotrop etanol-air pada proses pembuatan etanol anhidrat (Saidi, 2014).

2. Penyerapan (Adsorpsi)

   Ketika keadaan normal ruang hampa pada kristal zeolit terisi oleh molekul air yang berada disekitar kation. Bila zeolit dipanaskan maka air tersebut akan keluar. Zeolit yang telah dipanaskan dapat berfungsi sebagai penyerap gas atau cairan. Selektivitas adsorpsi zeolit terhadap molekul tertentu dapat dimodifikasi melalui pertukaran kation, dekationisasi, dealuminasi secara hidrotermal dan pengubahan rasio Si/Al (Khairinal, 2000).

3. Katalis

   Zeolit sebagai katalis hanya mempengaruhi laju reaksi tanpa mempengaruhi kesetimbangan reaksi karena mampu menaikkan perbedaan lintasan molekular dari reaksi. Katalis berpori dengan pori-pori sangat kecil akan memuat molekul-molekul kecil tetapi mencegah molekul besar masuk. Selektivitas molekuler seperti ini disebut *molecular sieve* yang terdapat dalam substansi zeolit alam (Poerwadi, 1997).

4. Penukar Ion

   Ion-ion dalam rongga berguna untuk menjaga kenetralan zeolit. Ion-ion ini dapat bergerak bebas sehingga pertukaran ion yang terjadi tergantung dari ukuran dan muatan serta jenis zeolitnya. Sifat sebagai penukar ion dari zeolit antara lain tergantung dari sifat kation, suhu, dan jenis anion (Poerwadi, 1997).

5. Penyaring/Pemisah

   Sifat zeolit sebagai penyaring/pemisah molekul didasarkan atas perbedaan bentuk dan ukuran. Molekul yang berukuran lebih kecil dapat melintas sedangkan yang berukuran lebih besar dari ruang hampa akan tertahan atau ditolak (Poerwadi, 1997).

2.6. Zeolit Alam

Zeolit alam terbentuk karena adanya proses kimia dan fisika yang kompleks dari batuan-batuan yang mengalami berbagai macam perubahan di alam. Menurut ahli geokimia dan mineralogi memperkirakan zeolit merupakan produk gunung berapi yang membeku menjadi batuan vulkanik, batuan sedimen, dan batuan metamorfosa dan selanjutnya mengalami proses pelapukan karena pengaruh panas dan dingin dan terbentuklah zeolit (Setyawan, 2002). Sebagai produk alam, zeolit alam diketahui memiliki komposisi yang sangat bervariasi, namun komponen utamanya adalah silika dan alumina. Di samping komponen utama ini, zeolit juga mengandung berbagai unsur minor, antara lain Na, K, Ca, Mg, dan Fe. Contoh zeolit alam disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Contoh zeolit alam

No	Zeolit Alam	Komposisi
1	Analsim	$Na_{16}(Al_{16}Si_{32}O_{96}).16H_2O$
2	Kabasit	$(Na_2,Ca)_6(Al_{12}Si_{24}O_{72}).40H_2O$
3	Klinoptilotit	$(Na_4K_4)\ (A_{l8}Si_{40}O_{96}).24H_2O$
4	Erionit	$(Na,\ Ca_5K)(Al_9Si_{27}O_{72}).27H_2O$
5	Ferrierit	$(Na_2Mg_2)(Al_6Si_{30}O_{72}).18H_2O$
6	Mordenit	$Na_8(Al_8Si_{40}O_{96}).24H_2O$
7	Laumonit	$Ca(Al_8Si_{16}O_{48}).16H_2O$
8	Wairakit	$Ca(Al_2Si_4O_{12}).12H_2O$
9	Natrolit	$Na_4(Al_4Si_6O_{20}).4H_2O$
10	Filipsit	$(Na,K)_{10}(Al_{10}Si_{22}O_{64}).20H_2O$
11	Heulandit	$Ca_4(Al_8Si_{28}O_{72}).24H_2O$

(Saputra, 2006).

Zeolit alam harganya lebih murah dibanding zeolit sintetik namun memiliki beberapa kelemahan yaitu mengandung pengotor seperti Na, K, Ca, Mg, dan Fe dan kristalinitasnya kurang baik. Adanya pengotor-pengotor tersebut dapat mengurangi aktivitas dari zeolit. Oleh karena itu, untuk memperbaiki karakter zeolit alam agar dapat digunakan sebagai katalis, adsorben, dan sebagainya dilakukan aktivasi terlebih dahulu. Aktivasi pada zeolit ada dua yaitu secara fisika dan kimia. Aktivasi fisika dilakukan dengan cara pengayakan, pengecilan ukuran butir serta pemanasan pada suhu tinggi. Hal ini bertujuan untuk menghilangkan pengotor-pengotor, memperluas permukaan, dan memperbesar pori. Sedangkan aktivasi secara kimia dilakukan melalui pengasaman dan bertujuan untuk menghilangkan pengotor anorganik. Pengasaman ini akan menyebabkan terjadinya pertukaran kation dengan H^+. Luas permukaan dan keasaman yang meningkat akan menyebabkan aktivitas katalitik dari zeolit meningkat (Ertan and Ozkan, 2005).

2.7. Zeolit Sintetik

Zeolit sintetik adalah zeolit yang dibuat dan direkayasa sedemikian rupa agar didapatkan material dengan karakter yang lebih baik dari zeolit alam. Prinsip dasar pembuatan zeolit ini menggunakan sumber utama yaitu silika dan alumina dengan perbandingan komposisi tertentu sehingga didapatkan jenis zeolit yang diinginkan. Oleh karena itu, zeolit sintetik memiliki kemurnian yang tinggi dibanding zeolit alam (Hidayat dkk., 2019). Tidak hanya itu, kristalinitas zeolit

sintetik baik dibanding zeolit alam serta kation pada permukaannya hanya tertentu yaitu H^+, Na^+ (Yunita dkk., 2019). Karakteristik zeolit sintetik dipengaruhi oleh teknik sintesis, kondisi proses pembuatan, dan komposisi bahan baku yang digunakan (Auerbach *et al*., 2003). Zeolit sintetik yang pertama dibuat di Laboratorium Linde, Buffalo, New York dengan sumber Na, Si, dan Al yaitu zeolit A dan ditemukan terdiri atas 10 fase *sodalite*. Aplikasi komersial yang pertama digunakan sebagai agen pengeringan. Sifat zeolit sangat bergantung pada rasio Si/Al. Rasio ini mempengaruhi selektivitas dan aktivitas zeolit sebagai katalis. Menurut Saputra (2006) rasio Si/Al zeolit dikelompokkan menjadi 3 jenis yaitu:

1. Zeolit sintetik dengan kadar Si rendah

   Perbandingan rasio Si/Al= 1-1,5. Zeolit ini banyak mengandung Al, berpori, memiliki nilai ekonomi tinggi sehingga efektif untuk pemisahan dengan kapasitas besar. Contoh zeolitnya yaitu zeolit A, analsim, dan Na-P
2. Zeolit sintetik dengan kadar Si sedang

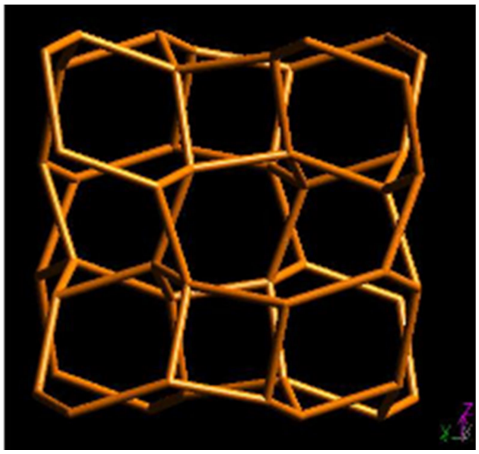
   Perbandingan rasio Si/Al pada zeolit ini yaitu 2-5. Contoh zeolitnya yaitu zeolit mordenit dengan perbandingan rasio Si/Al= 5 (sangat stabil), erionit, omega dan zeolit Y.
3. Zeolit sintetik dengan kadar Si tinggi

   Perbandingan rasio Si/Al=10-∞. Zeolit ini sangat higroskopis dan menyerap molekul non polar dengan baik. Maka dari itu, cocok digunakan sebagai katalisator asam untuk hidrokarbon. Contohnya ZSM-5 dengan stabilitas kisi relatif tinggi, ZSM-11, ZSM-21, ZSM-24.

2.8. Zeolit Analsim (ANA)

Analsim (ANA) merupakan zeolit kelompok silika rendah dengan rasio Si/Al berada pada rentang 1,8-2,8. Analsim memiliki rumus molekul $Na_{16}Al_{16}Si_{32}O_{96}\cdot 16H_2O$ dan dibangun oleh $[SiO_4]^{4-}$ dan $[AlO_4]^{5-}$ yang membentuk struktur tetrahedron serta memiliki rongga yang ditempati oleh ion Na^+ yang dapat dipertukarkan dengan kation lain. Kerangka zeolit analsim tersusun dari cincin empat, enam, dan delapan yang membentuk saluran yang tidak teratur (Novembre and Gimeno, 2021). Zeolit ANA dapat digunakan diantaranya sebagai adsorben

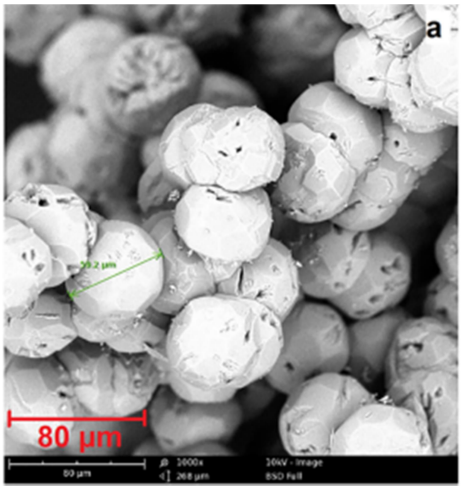
kation (Tangkawanit *et al*., 2005), saringan molekuler dalam pemisahan gas ringan/hidrokarbon (Liu and Au, 2002), dan katalis pada perengkahan minyak jelantah (Kafillah dkk., 2018). Kerangka zeolit analsim ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Kerangka zeolit analsim (Aisyah, 2015)

Umumnya, sintesis zeolit ANA melalui kondisi hidrotermal dengan menggunakan larutan gel aluminosilikat dalam keadaan basa. Suhu yang digunakan untuk kristalisasi zeolit ANA antara 100-310°C. Beberapa studi menunjukkan bahwa semakin banyak Na_2O dalam prekusor awal, semakin rendah suhu kristalisasi dari zeolit ANA (Novembre and Gimeno, 2021). Beberapa peneliti telah berhasil mensintesis zeolit ANA. Bortolini *et al* (2020) berhasil mensintesis zeolit analsim dengan melakukan variasi dari rasio Si/Al. Kristalinitas dari zeolit analsim menurun jika menggunakan rasio Si/Al rendah begitu juga sebaliknya. Sari (2015) juga berhasil mensintesis zeolit ANA dengan menggunakan sumber silika dari abu ampas tebu.

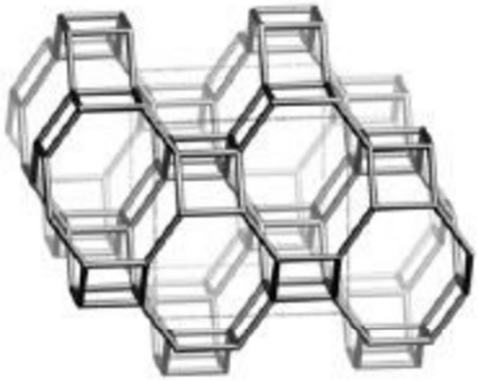
Karakteristik morfologi zeolit ANA dapat dilihat menggunakan SEM dengan morfologi trapezohedral yang tidak teratur seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Hasil SEM zeolit ANA (Bortolini *et al*., 2020)

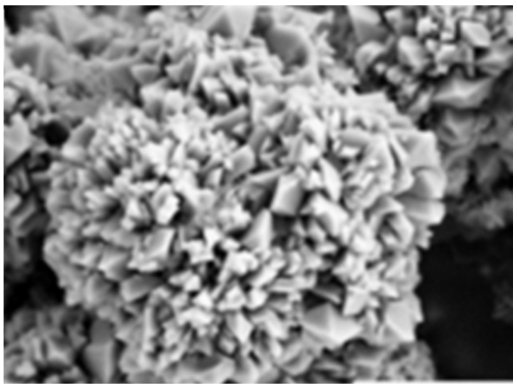
2.9. Zeolit Na-P

Zeolit Na-P termasuk kelompok zeolit silika rendah. Zeolit Na-P memiliki kerangka *gismodine* (GIS) dengan saluran berpotongan 0,31 nm x 0,44 nm dan 0,26 nm x 0,49 nm. Kerangka zeolit Na-P ditunjukkan pada Gambar 7. Zeolit Na-P memiliki sistem pori mikropori. Oleh karena itu, zeolit Na-P dapat digunakan untuk pemisahan molekul gas atau cair yang berukuran kecil. Selain itu, zeolit Na-P juga digunakan untuk menghilangkan limbah beracun dan radioaktif seperti Cs, Sr, Ba, Pb, dan U serta logam atau amonium dari air limbah (Pal *et al*., 2013).



Gambar 7. Kerangka zeolit Na-P (Aminah, 2017)

Beberapa peneliti telah berhasil mensintesis zeolit Na-P, Bohra *et al* (2013) mensintesis zeolit Na-P dengan sumber silika dari abu sekam padi menggunakan metode hidrotermal dengan suhu kristalisasi 100°C selama 48, 72 dan 96 jam. Huo *et al* (2012) berhasil mensintesis zeolit Na-P dengan variasi rasio dari Si/Al menggunakan metode hidrotermal dengan suhu kristalisasi 100°C selama 48 jam. Hasilnya rasio Si/Al dapat mempengaruhi morfologi dari zeolit Na-P ditunjukkan dengan hasil SEM berbentuk menyerupai kaktus seperti yang dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Hasil SEM zeolit Na-P (Huo *et al*., 2012)

2.10. Sintesis Zeolit

Sintesis zeolit telah banyak dilakukan salah satunya Huo *et al* (2012) berhasil mensintesis zeolit Na-P dengan menggunakan metode hidrotermal suhu kristalisasi 100°C. Dalam mensintesis zeolit ada beberapa faktor yang perlu diperhatikan, diantaranya:

a. Sumber Si dan Al

   Sumber Si yang biasa digunakan yaitu silika *amorf*, natrium silikat, tetraetil ortosilikat (TEOS). Sedangkan sumber Al yaitu dapat berasal dari alumunium hidroksida, natrium aluminat, dan sol-sol alumina dari berbagai konsentrasi.

b. Komposisi molar pereaksi

Komposisi molar pereaksi memegang peranan yang penting pada sintesis zeolit. Hal ini berkaitan dengan rasio Si/Al, jumlah H_2O, alkalinitas, dan *template* organik.

c. Rasio Si/Al

Rasio Si/Al berkaitan dalam menentukan struktur dari zeolit. Umumnya, zeolit dikelompokkan menjadi 3 jenis berdasarkan rasio Si/Al yaitu zeolit kadar silika rendah, sedang, dan tinggi.

d. Jumlah H_2O

Air berperan sebagai pelarut dalam mensintesis zeolit. Jumlah air akan mempengaruhi konsentrasi dari reaktan hingga pada proses kristalisasi zeolit.

e. Mineraliser

Mineraliser yang umumnya digunakan adalah OH^- yang mana dapat menaikkan kelarutan silika dengan ionisasi grup silanol dan memutuskan ikatan siloksan.

f. *Template*

Umumnya dalam fasa cairan. Contoh *template* organik dan anorganik yang biasa digunakan yaitu TPAOH dan TPABr.

g. Temperatur kristalisasi

Berkisar antara temperatur ruang sampai sekitar 300°C. Sebagian besar zeolit diperoleh pada temperatur yang lebih rendah terutama jika menggunakan air sebagai *template*.

h. Waktu pemanasan

Waktu kristalisasi berkisar dari beberapa menit hingga beberapa bulan. Suhu ruang (25-60°C), suhu rendah (90-120°C), suhu tinggi (120- 200°C), dan suhu paling tinggi (> 250°C).

i. Prosedur preparasi campuran reaksi

Kondisi preparasi akan benar-benar mempengaruhi laju disolusi gel dan sumber serta konsentrasi spesies dalam fasa cair. Kondisi ini meliputi keadaan fisik reaktan dan homogenasi campuran.

j. Proses Sintesis

Umumnya proses sintesis menggunakan metode hidrotermal dan kebanyakan diproduksi dibawah kondisi tidak seimbang. Oleh karena itu, zeolit yang dihasilkan merupakan bahan metastabil (mudah berubah)

(Cejka *et al.,* 2007).

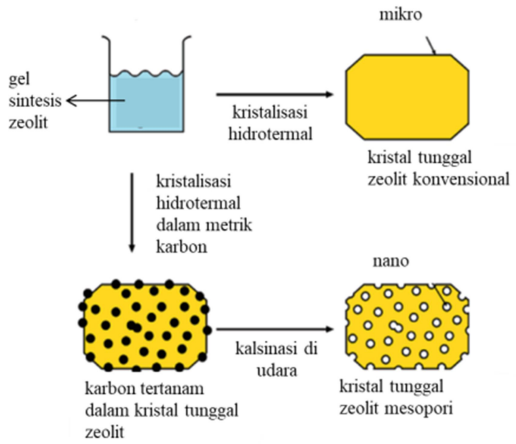
2.11. Zeolit Pori Hierarki

Dalam klasifikasi *International Union of Pure and Applied Chemistry* (IUPAC) material berpori seperti zeolit, karbon ataupun oksida dikelompokkan menjadi mikropori (dengan ukuran diameter pori kurang dari 2 nm, d<2 nm), mesopori (dengan ukuran diameter pori 2<d< 50 nm), dan makropori (dengan ukuran diameter pori, d>50 nm (Dahane *et al*., 2016). Zeolit termasuk bahan kristal anorganik yang banyak sekali kegunaannya khususnya dalam bidang industri. Kerangka zeolit memiliki keteraturan distribusi pori-pori dengan diameter biasanya kurang dari 2 nm. Meskipun banyak zeolit terbentuk di alam, sebagian besar zeolit yang dikenal saat ini disintesis dalam autoklaf dalam kondisi hidrotermal.

Dalam bidang industri zeolit digunakan sebagai katalis padat karena selektivitas bentuknya yang unik, instristik keasamannya kuat, dan stabilitas tinggi (Bai *et al*., 2019). Namun, di sisi lain, ukuran pori yang kecil dan panjang jalur difusi yang panjang tidak hanya mengurangi efisiensi transpor tetapi juga menyebabkan pemanfaatan katalis yang buruk dan penurunan laju katalitik (Li *et al.*, 2014). Oleh karena itu, untuk mengatasi hal tersebut dibuat zeolit dalam bentuk pori hierarki. Zeolit hierarki mengandung mikroporositas dan meso/makroporositas yang dapat mengurangi batasan sterik untuk molekul yang besar, meningkatkan laju difusi intrakristalin, memaksimalkan pemanfaatan katalis, serta memodulasi selektivitas terhadap produk target (Hartmann *et al*., 2016). Dalam membuat pori hierarki dapat menggunakan *template* yang dapat berasal dari *template* surfaktan, *template* kristal koloid, dan *template* polimer.

Secara umum, sintesis zeolit hierarki menggunakan dua 2 metode yaitu *bottom up*, sintesis yang sebagian besar menggunakan *template* dan *top down* atau modifikasi

pasca sintesis yang mungkin/tidak mungkin menggunakan *template* (Yang *et al*., 2017). Pada metode *bottom up* dapat menggunakan *template* yang keras dengan struktur yang relatif kaku. Zhang *et al* (2020) mensintesis ZSM-5 dengan menggunakan *template nanotube* karbon terhidroksilasi melalui metode hidrotermal. Ilustrasi penggunaan *template* keras untuk membuat zeolit pori hierarki dengan menggunakan karbon ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Ilustrasi zeolit pori hierarki menggunakan *template* keras (Christensen *et al*., 2005)

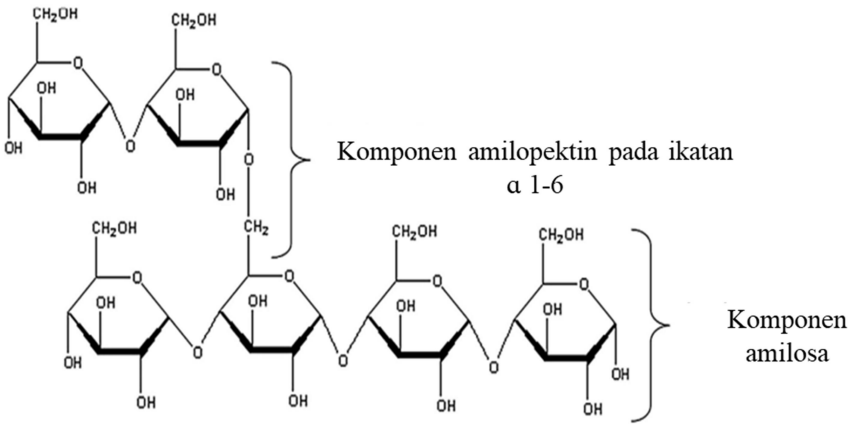
Selanjutnya, pada metode *bottom up* dengan menggunakan *template* lunak memiliki sejumlah keuntungan seperti fleksibilitas dan keragaman. *Template* lunak yang sering digunakan yaitu surfaktan, polimer, bakteri, dan pati. Upaya yang dilakukan dalam mensintesis zeolit mesopori dengan menggunakan *template* ganda seperti surfaktan dengan *structure directing agent* (SDA, misalnya menggunakan garam alkilamonium rantai pendek). Pada metode *top down* terdapat dua cara yaitu dealuminasi dan desilikasi. Metode dealuminasi dilakukan untuk mengontrol konsentrasi dan kekuatan asam dengan cara meningkatkan rasio Si/Al pada zeolit dan diamati dapat terbentuk mesopori. Sifat zeolit yang dihasilkan berbeda dengan zeolit aslinya dikarenakan mengubah rasio Si/Al. Teknik dealuminasi hidrotermal ini banyak sekali digunakan dalam produksi zeolit Y dalam aplikasi *fluid catalytic cracking* (FCC) (Li *et al*., 2014).

Selanjutnya, cara kedua proses desilikasi yaitu proses pengurangan silikon pada kerangka zeolit. Secara teori, silikon dan alumunium dalam kerangka zeolit dapat larut dalam basa kuat (NaOH dan KOH) namun, Si lebih banyak larut dalam NaOH dan KOH membentuk $Si(OH)_4$. Aluminium lebih sedikit larut dalam larutan basa kuat karena muatan negatif pada tetrahedral alumunium membatasi interaksi Al dan basa kuat (Susanti dan Roesyadi, 2019).

2.12. Mesoporogen

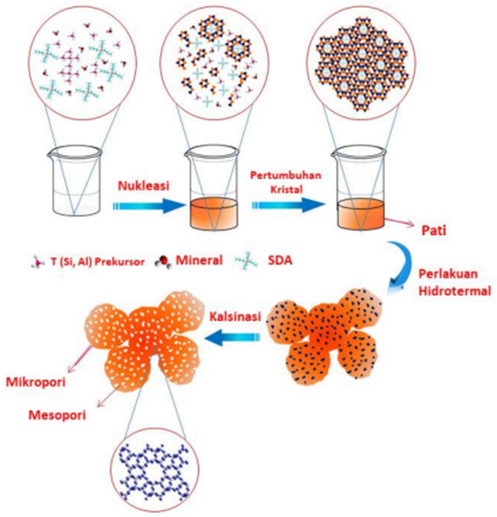
Mesoporogen adalah agen pengarah mesopori yang didasarkan pada metode kristalisasi langsung yang banyak digunakan dalam pembuatan zeolit mesopori. Dalam pembuatan mesopori dapat menggunakan *template* keras atau lunak, menggunakan bantuan benih, kontrol kinetik kristalisasi, dan konversi bantuan uap (Bai *et al*., 2019). Mesoporogen telah banyak digunakan salah satunya pada penelitian Che *et al* (2019) mensintesis ZSM-5 sebagai katalis dan kinerjanya dalam pirolisis katalitik biomassa. Katalis ZSM-5 yang dimodifikasi dengan menggunakan *template* sukrosa dan selulosa masing-masing 10 %, menunjukkan sedikit peningkatan volume mikropori. Sedangkan, dengan menggunakan pati sebanyak 10% menunjukkan peningkatan volume mesopori. Peningkatan volume mesopori ini menyebabkan *cracking* oksidasi dan menekan reaksi polimerisasi pada permukaan ZSM-5, dengan demikian menghasilkan lebih banyak produk aromatik. Pemanfaatan mesoporogen pati ini digunakan karena metodenya sederhana dan ekonomis (Tao *et al*., 2011).

Pati adalah karbohidrat yang terdiri atas amilosa dan amilopektin. Amilosa merupakan bagian polimer linier dengan ikatan α-(1−> 4) unit glukosa. Derajat polimerisasi amilosa berkisar antara 500−6.000 unit glukosa, bergantung pada sumbernya. Sedangkan, amilopektin merupakan polimer α-(1−> 4) unit glukosa dengan rantai samping α-(1−> 6) unit glukosa. Pada molekul pati, ikatan α-(1−> 6) unit glukosa ini jumlahnya sangat sedikit, sekitar antara 4−5%. Namun, jumlah molekul dengan rantai yang bercabang, yaitu amilopektin, sangat banyak dengan derajat polimerisasi 10^5-$3x10^6$ unit glukosa (Cerna dkk., 2016). Struktur pati ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Struktur pati (Masina *et al*., 2017)

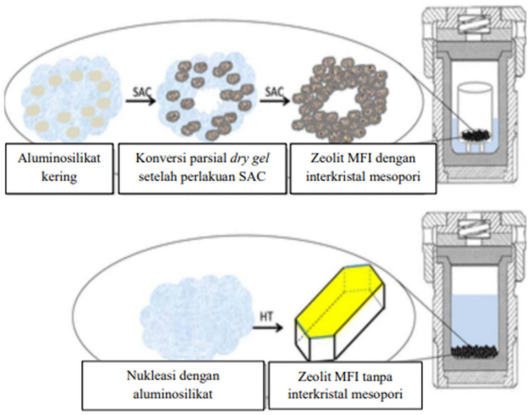
Pati telah banyak digunakan sebagai agen mesopori dikarenakan sumber energi terbarukan, realtif murah, mudah didapat, serta ramah lingkungan (Zhang *et al*., 2010). Telah dilakukan sintesis ZSM-5 oleh Sabarish and Unnikrishnan (2019) menggunakan mesoporogen pati dengan metode hidrotermal. Kristanilitas dan luas permukaan area menunjukkan hasil yang baik. Skema pembentukan mesopori ditunjukkan pada Gambar 11.



Gambar 11. Skema pembentukan mesopori (Sabarish and Unnikrishnan, 2019)

2.13. Metode *Steam Assisted Crystallization* (SAC)

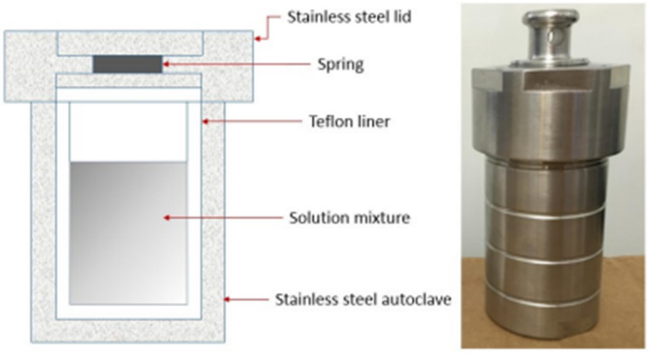
Metode SAC atau dapat juga disebut konversi gel kering dapat mempersiapkan zeolit pori hierarki dengan kontrol yang baik pada tekstur maupun ukuran partikelnya. Pada metode ini, oksida *amorf* (campuran) dibuat dalam bentuk gel kering dan diperlakukan di bawah kondisi hidrotermal dengan adanya agen pengarah struktur dan uap (Smeets *et al*., 2020). Pada metode SAC, menggunakan cetakan mesopori *non-volatile* seperti tetraetilamonium hidroksida (TPAOH), aluminosilikat dan/atau silikat, cetakan mikropori, dan kation alkali dalam keadaan padat selama kristalisasi. Penggunaan gel homogen sebagai prekursor secara efisien mencegah kristalisasi tidak homogen yang sering terjadi pada sintesis hidrotermal. Oleh karena itu, induksi gel mesopori dapat menghasilkan struktur hierarki zeolit selama proses SAC. Konsentrasi yang tinggi pada reaktan xerogel zeolit dan laju nukleasi yang tinggi selama kristalisasi memungkinkan terbentuknya inti kristal zeolit. Dalam masa nukleasi, gel akan menyusut dan sebagian berubah menjadi nukleus zeolit yang kemudian terpisah dari gel. Selanjutnya, proses kristalisasi, gel-gel yang tersisa berubah menjadi nanokristal dan kemudian bergabung membentuk agregat (Pan *et al*., 2019). Ilustrasi pembentukan zeolit MFI dengan kristalisasi berbantuan uap dan dilanjutkan dengan metode hidrotermal disajikan pada Gambar 12.



Gambar 12. Ilustrasi sintesis zeolit MFI menggunakan metode SAC yang dilanjutkan hidrotermal (Rilyanti *et al*., 2016)

2.14. Metode Hidrotermal

Salah satu metode yang paling sering digunakan dalam mensintesis zeolit yaitu metode hidrotermal. Metode ini menggunakan bantuan air sebagai pelarut untuk tahap kristalisasi zeolit. Reaksi hidrotermal dilakukan pada suhu tinggi (lebih dari 100°C) dalam autoklaf yang berfungsi menjaga laju penguapan sama dengan laju kondensasi. Sintesis dengan menggunakan metode hidrotermal dapat meningkatkan kelarutan reaktan yang mengakibatkan peningkatan nukleasi dan laju kristalisasi. Pada sintesis secara hidrotermal semua prekursor dalam bentuk gel yang dimasukkan ke dalam autoklaf untuk disintesis dengan rentang suhu yang digunakan berkisar 100-180°C (Cejka *et al.,* 2007). Alat autoklaf dapat dilihat pada Gambar 13.



Gambar 13. Alat autoklaf (Ahmad *et al*., 2017)

2.15. Karakterisasi Zeolit

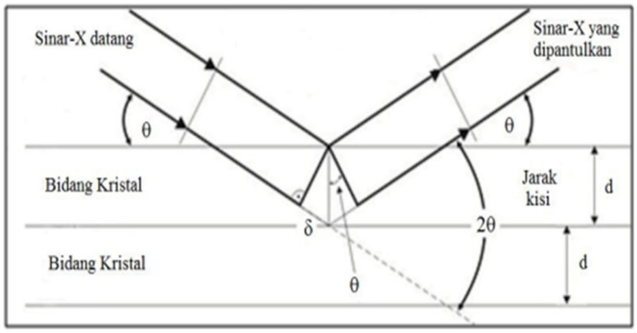
Pada penelitian ini katalis dikarakterisasi dengan menggunakan analisis *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk mengetahui fasa dan tingkat kristalinitas zeolit, analisis *X-Ray Fluorescence* (XRF) untuk mengetahui informasi jenis unsur yang terkandung dalam zeolit, dan analisis *Surface Area Analyzer* (SAA) menggunakan metode *Brunauer-Emmett-Teller* (BET).

2.15.1. *X-Ray Diffraction* (XRD)

X-Ray Diffraction (XRD) adalah metode analisis yang didasarkan pada interaksi antara materi dengan radiasi elektromagnetik sinar-X yaitu pengkuran radiasi sinar-X yang terdifraksi oleh bidang kristal. Penghamburan sinar-X ini dilakukan oleh unit-unit pada kristal, akan menghasilkan pola difraksi yang digunakan untuk menentukan susunan partikel pola padatan (Indrawati, 2008). Kegunaan XRD untuk mengetahui ciri utama kristal, seperti parameter kisi dan tipe struktur serta dimanfaatkan untuk mengetahui susunan berbagai jenis atom dalam kristal, kehadiran cacat, orientasi, dan cacat kristal (Ginting dkk., 2005). Sinar-X merupakan gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang ($\lambda \approx 0{,}1$ nm) yang lebih pendek dibanding gelombang cahaya ($\lambda \approx 400$-800 nm) (Smallman dan Bishop, 2000). Panjang gelombang sinar-X ini merupakan dasar digunakannya teknik difraksi sinar-X pada *X-Ray Diffraction* untuk mengetahui struktur mikroskopis suatu bahan. Penentuan struktur kristal dapat dilakukan dengan metode difraksi. Difraksi merupakan metode eksperimen hamburan elastis, yang melibatkan proses transfer/perubahan energi dan dapat diabaikan dalam proses hamburan tersebut. Informasi yang diperoleh dari metode difraksi ini yakni data koordinat atom-atom dalam kristal yang mendasari sifat dan karakteristik bahan pada umumnya. Metode difraksi terbagi menjadi dua yaitu metode *laue*, di mana sudut θ dibuat tetap sedangkan panjang gelombang sinar-X dibuat berubah dan metode serbuk, dimana sudut θ yang diubah-ubah sedangkan λ dibuat tetap (Bunaciu *et al*., 2015).

Prinsip dasar XRD adalah mendifraksi cahaya melalui celah kristal. Difraksi cahaya oleh kisi-kisi atau kristal ini dapat terjadi bila difraksi tersebut berasal dari radius yang memiliki panjang gelombang yang setara dengan jarak antar atom, sekitar 1 Angstrom. Radiasi yang digunakan berupa radiasi sinar-X, elektron, dan neutron. Saat sinar-X berinteraksi dengan suatu material, maka menyebabkan sebagian berkas akan di absorbsi, ditransmisikan, dan sebagian lagi dihamburkan terdifraksi. Hamburan yang terdifraksi ini yang dideteksi oleh XRD. Berkas sinar X yang dihamburkan tersebut ada yang saling menghilangkan karena fasanya berbeda dan ada juga yang saling menguatkan karena fasanya sama.

Berkas sinar X yang saling menguatkan itulah yang disebut sebagai berkas difraksi (Hakim dkk., 2019). Ilustrasi difraksi sinar-X ditunjukkan pada Gambar 14.



Gambar 14. Ilustrasi difraksi sinar-X (Smallman dan Bishop, 2000)

Pada analisis XRD, kristal katalis memantulkan sinar X yang dikirimkan dari sumber dan diterima oleh detektor. Dengan melewatkan sudut kedatangan sinar X maka spektrum pantulan spesifik berhubungan langsung dengan *lattice spacing* dari kristal yang dianalisis. Pola difraksi di-plotkan berdasarkan intensitas peak yang menyatakan peta parameter kisi kristal atau indeks Miller (hkl) sebagai fungsi 2θ, di mana θ menyatakan sudut difraksi berdasarkan persamaan Bragg (Richardson, 1989). Interpretasi Hukum Bragg dilakukan berdasarkan asumsi bahwa permukaan dari mana sinar X dipantulkan adalah datar ditunjukkan pada Persamaan 7.

$$\lambda = 2d \sin\theta \tag{7}$$

di mana:

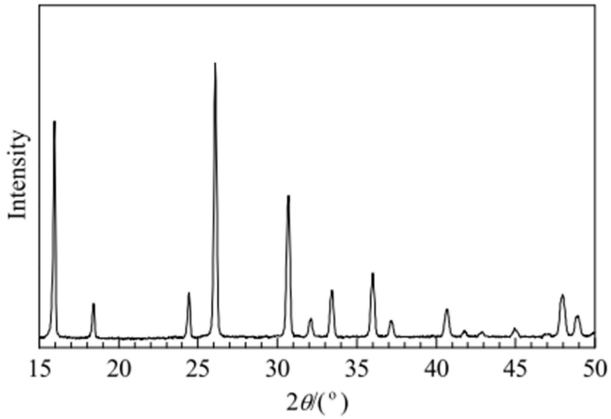
d= jarak antar lapisan atom atau ion yang berdekatan

λ = panjang gelombang radiasi sinar X

Kristalinitas dapat juga ditentukan dengan XRD melalui pembandingan intensitas atau luasan *peak* sampel dengan intensitas atau luasan *peak* standar yang ditunjukkan pada Persamaan 8:

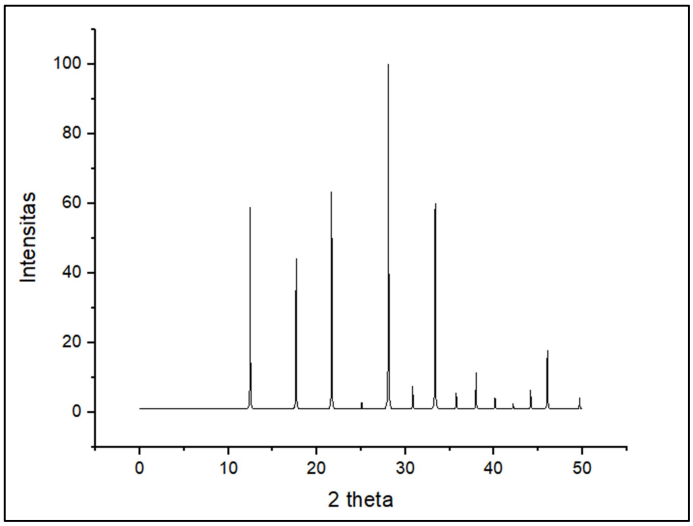
$$Kristalinitas = \frac{Intensitas\ peak\ hk\ \ sampel}{Intensitas\ peak\ hkl\ standar}\ x\ 100\% \tag{8}$$

Berikut contoh difraktogram dari zeolit ANA ditunjukkan pada Gambar 15.



Gambar 15. Difraktogram zeolit ANA (Azizi *et al*., 2014)

Pada gambar 15 merupakan difraktogram dari zeolit ANA sintetik. Puncak khas dari zeolit ANA yaitu berada pada 2θ= 15,92°, 26,06°, dan 30,65° (Azizi *et al*., 2014).



Gambar 16. Difraktogram zeolit Na-P (Aminah, 2017)

Gambar 16 menunjukkan difraktogram zeolit Na-P, dapat dilihat bahwa puncak khas dari zeolit Na-P berada pada 2θ= 12,5; 17,8; 21,7; 28,2; 32,5 ;33,4; 38,1; 46,2° (Aminah, 2017).

2.15.2. *X-Ray Fluorescene* (XRF)

X-Ray Fluorescene (XRF) adalah metode analisis untuk mengetahui komposisi suatu sampel serta penentuan konsentrasi elemen yang ada pada padatan, bubuk ataupun sampel cair. Teknik pengujian dengan instrumen XRF prosesnya berlangsung cepat dikarenakan tidak memerlukan preparasi bahan uji yang rumit. Metode ini banyak digunakan di lapangan dan industri untuk kontrol material tergantung penggunaannya, XRF dapat dihasilkan tidak hanya oleh sinar-X tetapi juga sumber eksitasi primer yang lain seperti partikel alfa, proton atau sumber elektron dengan energi yang tinggi. Analisis unsur pada XRF dilakukan baik secara kualitatif maupun kuantitatif. Analisis kualitatif memberikan informasi jenis unsur yang terkandung dalam suatu sampel yang dianalisis, yang ditunjukkan oleh adanya spektrum unsur pada energi sinar-x karakteristiknya. Sedangkan, analisis kuantitatif memberikan informasi jumlah unsur yang terkandung dalam sampel yang ditunjukkan oleh ketinggian puncak spektrum (Jamaludin dan Adiantoro, 2012).

Prinsip dasar dari XRF yaitu eksitasi sinar-X primer yang berasal dari tabung sinar-X atau sumber radioaktif mengenai sampel, sinar X dapat diabsorpsi atau dihamburkan oleh material. Sinar-X di absorpsi oleh atom dengan mentransfer energinya pada elektron yang terdapat pada kulit yang lebih dalam disebut efek fotolistrik. Pada proses ini, apabila sinar-X primer memiliki cukup energi, elektron pindah dari kulit yang di dalam dan menimbulkan kekosongan. Kekosongan ini menghasilkan keadaan atom yang tidak stabil. Apabila atom kembali pada keadaan stabil, elektron dari kulit luar pindah ke kulit yang lebih dalam dan proses ini menghasilkan energi sinar-X yang tertentu dan berbeda antara dua energi ikatan pada kulit tersebut. Proses deteksi dan analisa emisi sinar- X disebut analisa XRF (Patty, 2013).

Pada penelitian yang dilakukan oleh Jha *et al* (2021) didapat komposisi kimia silika SCBA ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Komposisi senyawa dalam SCBA

Komposisi	% b/b
SiO_2	71.11
Fe_2O_3	6.80
Al_2O_3	4.85
CaO	4.04
Na_2O	2.25
K_2O	3.89
MnO	0.20
TiO_2	0.40
P_2O_5	0.39
Ignition loss (LOI)	4.56

(Jha *et al*., 2021)

2.15.3. *Brunauer-Emmett-Teller* (BET)

Teori *Brunauer-Emmett-Teller* (BET) pertama kali diperkenalkan oleh Stephen Brunauer, Paul Hugh Emmett, dan Edward Teller. Teori ini menjelaskan adsorpsi molekul gas pada permukaan zat padat. Banyaknya molekul gas yang diadsorpsi sangat bergantung dengan luas permukaan zat tersebut. Luas permukaan spesifik material berpori ditentukan oleh porositas zat padat. BET digunakan untuk karakterisasi permukaan suatu material yang meliputi *surface area* (SA, m^2/g), diameter pori (dport/cm), dan volume pori (Vpori,cm^3/g) (Abdullah dan Khairurrijal, 2009). Teori BET digunakan berdasarkan prinsip adsorpsi-desorpsi gas adsorbat. Mekanisme adsorpsi gas tersebut berupa penyerapan gas (nitrogen, argon, dan helium) pada permukaan suatu bahan padat yang akan dikarakterisasi pada suhu tetap. Luas permukaan total padatan dapat dihitung, jika diketahui volume gas (nitrogen, argon, dan helium) yang diserap oleh suatu permukaan padatan pada suhu dan tekanan tertentu serta diketahui secara teoritis luas permukaan dari suatu molekul gas yang diserap. Luas permukaan spesifik adalah luas permukaan per satuan gram. Sedangkan, luas permukaan merupakan jumlah pori pada setiap satuan luas dari sampel (Perwira dkk., 2014). Teori BET digunakan untuk menghitung luas padatan tersebut ditunjukkan oleh

$$\mathbf{S} = \frac{x_m L_{av} A_m}{M_v} \tag{9}$$

di mana:

S : Luas permukaan total.

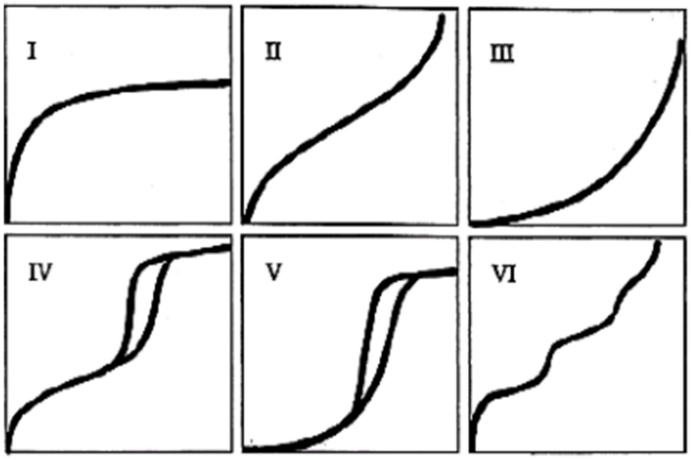
X_m : Kapasitas monolayer.

L_{av} : Bilangan Avogadro (6,023 x 10^{23} molekul/mol).

A_m : Luas penampang adsorbat dengan nilai 0,162 nm^2 menggunakan adsorbat nitrogen.

M_v : Volume molar gas ideal sebesar 22,4 liter/mol.

Gas yang sering digunakan pada uji *surface area analyzer* (SAA) yaitu nitrogen. Hal ini disebabkan oleh tersedianya gas nitrogen dengan kemurnian yang tinggi dan dapat berinteraksi dengan kuat dengan kebanyakan padatan. Biasanya, interaksi antara fasa gas dan padat lemah, maka dari itu permukaan didinginkan dengan menggunakan nitrogen cair untuk memperoleh jumlah adsorpsi yang terdeteksi. Selanjutnya, tekanan relatif yang lebih rendah dibandingkan dengan tekanan atmosfer didapatkan dalam kondisi setengah vakum. Setelah lapisan adsorpsi terbentuk, gas nitrogen kemudian dihilangkan atau dibebaskan dari sampel dengan cara dipanaskan (Hwang *and* Barron, 2011). Tipe-tipe pola adsorpsi isoterm ditunjukkan pada Gambar 17.

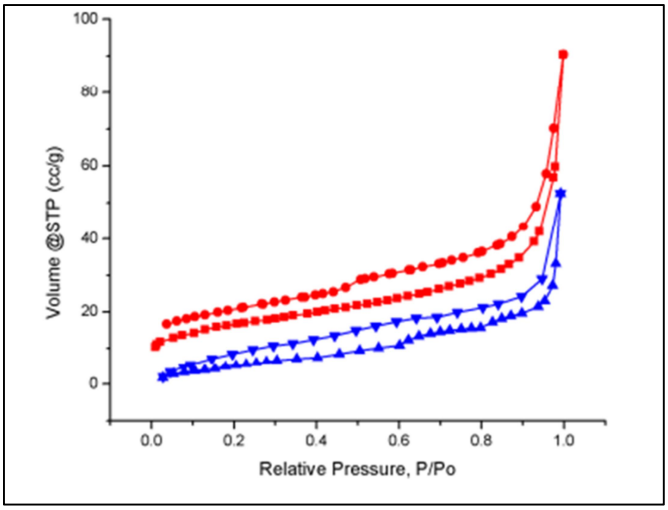


Gambar 17. Klasifikasi pola grafik isoterm (Perry and Green, 1997)

Tipe pola adsorpsi-desoprsi menurut *International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC)* yang didasarkan pada klasifikasi *Brunauer* sebagai berikut:

1. Tipe I : Tipe ini khas untuk padatan mikropori dan adsorbsinya monolayer. Ditandai dengan cekung ke sumbu P/P^o dan tidak memiliki *hysteresis loop*.
2. Tipe II : Tipe ini biasanya terjadi karena adsorpsi gas pada padatan non-pori yang mana adsorpsi hanya terjadi dipermukaan saja atau kapasitas monolayer, bentuk grafik agak lurus dengan tekukan tajam atau agak bulat.
3. Tipe III : Tipe ini menunjukkan interaksi yang lemah antara gas-padatan, biasanya diberikan oleh padatan nonpori atau makropori.
4. Tipe IV : Tipe ini memiliki *hysteresis loop* yang menunjukkan ciri khas padatan mesopori. *Hysteresis loop* terjadi dikarenakan kondensasi kapiler.
5. Tipe V : Pola isoterm tipe ini disebabkan adanya interaksi yang lemah antara gas dan padatan dapat terjadi pada padatan mikropori atau mesopori.
6. Tipe VI : Tipe ini merupakan adsorpsi isotermal untuk padatan tidak berpori yang mempunyai permukaan seragam.

(Matthias Thommes *et al*, 2013).



Gambar 18. N_2 isoterm adsorpsi (Lestari *et al*., 2018)

Hasil penelitian dari Lestari *et al* (2018) zeolit ANA yang dikarakterisasi BET ditunjukkan pada Gambar 18. Pola isoterm berwarna biru menunjukkan adanya

hysteresis loop dan termasuk tipe 4 yang merupakan karakteristik dari mesopori serta luas permukaannya yang didapat sebesar 22,88 m^2 /g.

2.16. Isomerisasi Glukosa

Isomer adalah senyawa dengan rumus kimia sama tetapi berbeda sifat kimia dan fisikanya. Sedangkan isomerisasi adalah perubahan senyawa hidrokarbon atau senyawa organik lain yang mempunyai rumus molekul dan struktur tertentu menjadi senyawa dengan rumus molekul yang sama tetapi susunan atomnya berbeda (Fessenden dan Fessenden, 1982). Macam-macam isomer yaitu:

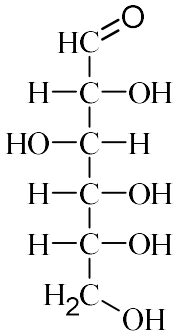
1. Isomer kerangka yaitu isomer yang terjadi jika 2 senyawa atau lebih mempunyai rumus molekul yang sama tetapi berbeda kerangka karbon.
2. Isomer posisi yaitu isomer yang memiliki rumus molekul sama tetapi posisi gugus fungsinya berbeda.
3. Isomer fungsional yaitu isomer yang memiliki rumus molekul sama tetapi gugus fungsinya berbeda.
4. Isomer ruang yaitu berkaitan dengan molekul-molekul yang ikatan antar atomnya sama, tetapi susunannya dalam ruang berbeda.
5. Isomer geometri yang terdiri atas cis dan trans di mana rumus molekul sama tetapi arah letak ikatannya berbeda. Isomer ini khas dimiliki oleh alkena.

(Hart *et al*., 2003).

Reaksi isomerisasi glukosa menjadi fruktosa banyak dimanfaatkan dikarenakan fruktosa yang dihasilkan dapat direaksikan lebih lanjut untuk mendapatkan 5-hidroksimetilfurfural yang merupakan prekusor penting dalam produksi biodiesel. Glukosa dan fruktosa merupakan monosakarida yang banyak dijumpai dalam kehidupan sehari-hari dan menjadi komponen penyusun gula sukrosa. Kedua senyawa tersebut dapat diklasifikasikan sebagai isomer fungsional dikarenakan memiliki rumus molekul sama tetapi beda gugus fungsi. (Poedjiadi, 2006).

2.16.1. Glukosa

Glukosa ($C_6H_{12}O_6$) adalah gula sederhana dan unit monomer dari selulosa (Watanabe *et al*., 2005). Glukosa merupakan aldoheksosa yang biasa dikenal sebagai dekstrosa dikarenakan memiliki sifat memutar cahaya terpolarisasi ke kanan, diklasifikasikan sebagai aldoheksosa, glukosa memiliki 4 atom karbon kiral. Glukosa ditemukan pada buah-buahan maupun sayuran dan banyak digunakan sebagai pemanis makanan ataupun minuman (Fessenden dan Fessenden, 1982). Struktur dari glukosa ditunjukkan pada Gambar 19.



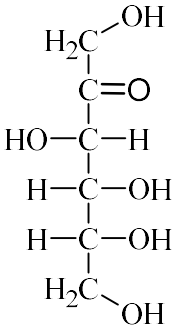
Gambar 19. Struktur glukosa (Ju *et al*., 2019)

Glukosa dapat diproduksi dari selulosa dengan memutus ikatan β-1,4-glikosidik melalui proses hidrolisis, yaitu pemecahan molekul karena pengikatan air, dan menghasilkan molekul yang lebih kecil dengan bantuan katalis asam atau enzimatik (selulase) (Pramana dkk., 2016).

2.16.2. Fruktosa

Fruktosa merupakan gula ketoheksosa yang biasa disebut sebagai levulosa karena kemampuannya untuk memutar cahaya terpolarisasi ke kiri. Fruktosa dapat membentuk cincin furanosa karena reaksi intramolekul antara gugus karbonil pada C-2 dan gugus hidroksil pada C-5. Zat ini Ini adalah gula termanis dan ditemukan bersama dengan glukosa pada buah-buahan ataupun madu (Biro, 2018). Fruktosa terdiri atas 6 karbon yang biasa disebut heksosa dengan rumus molekul $C_6H_{12}O_6$. Fruktosa di dalam air bereaksi intramolekul menghasilkan hemiketal siklik baik cincin 5 atau 6. Meskipun fruktosa bisa membentuk hemiketal siklik cincin 6,

tetapi di dalam sukrosa berbentuk furanosa (hemiketal siklik cincin 5) (Fessenden dan Fessenden, 1982). Struktur dari fruktosa ditunjukkan pada Gambar 20.

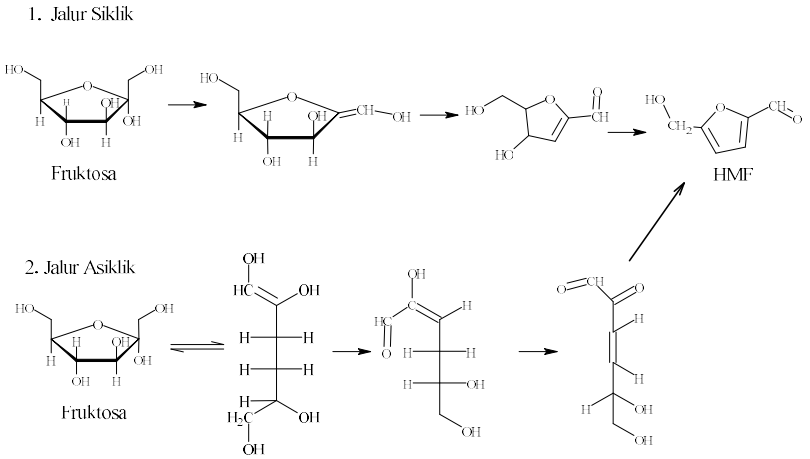


Gambar 20. Struktur fruktosa (Ju *et al*., 2019)

Reaksi isomerisasi glukosa menjadi fruktosa telah dilakukan oleh beberapa peneliti salah satunya Saravanamurugan *et al* (2013) melakukan reaksi isomerisasi glukosa menjadi fruktosa dengan katalis zeolit dalam media air dan alkohol. Ye *et al* (2021) juga berhasil melakukan isomerisasi glukosa menjadi fruktosa dengan menggunakan mineral yaitu bentonit sebagai katalis didapat hasil fruktosa sebesar 39,2%. Fruktosa yang dihasilkan dapat diubah menjadi HMF melalui reaksi dehidrasi. Mekanisme dehidrasi fruktosa dilakukan dengan dua jalur yaitu:

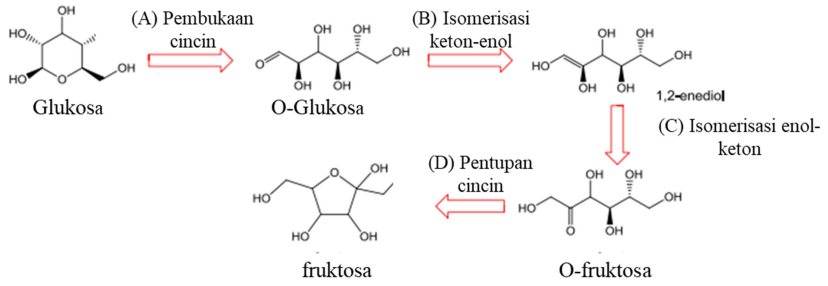
1. Jalur siklik melalui perantara *frutofuranose*.
2. Jalur asiklik melalui perantara enol.

Mekanisme dari dehidrasi fruktosa ditunjukkan pada Gambar 21.



Gambar 21. Mekanisme dehidrasi fruktosa (Kang *et al*., 2018).

Reaksi isomerisasi glukosa menjadi fruktosa dapat dikatalisis oleh berbagai jenis zeolit komersial. Sebagai salah satu jenis katalis yang menjanjikan yaitu berbasis alumunium. Zeolit telah banyak digunakan dalam transformasi karbohidrat karena sifatnya yang keberlanjutan, bersih, dan kemampuan katalitik yang tinggi (Zhang *et al*., 2019). Skema isomerisasi glukosa menjadi fruktosa ditunjukkan pada Gambar 22.

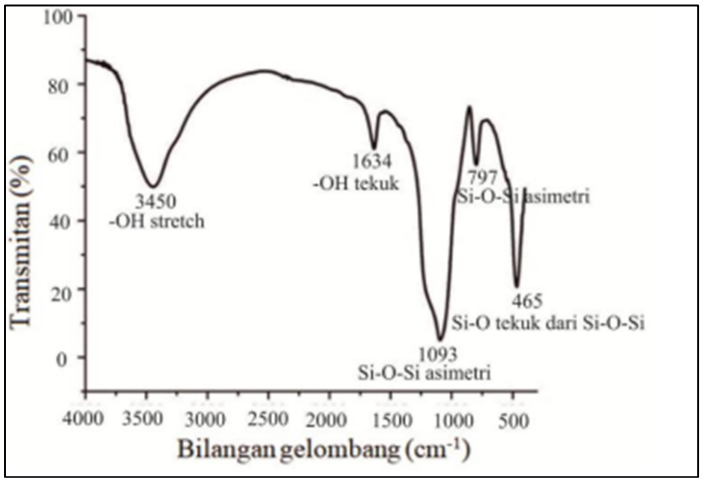


Gambar 22. Skema representasi isomerisasi glukosa menjadi fruktosa *(Ju et al*., 2019)

2.17. *Fourier Transform Infra Red* (FTIR)

Spektrofotometer FTIR adalah alat yang digunakan untuk identifikasi senyawa baik organik maupun anorganik secara kualitatif dan kuantitatif. Analisis ini dilakukan untuk melihat puncak-puncak spesifik yang menunjukkan gugus fungsional dari senyawa tersebut. Gugus fungsional yang dimaksud seperti OH, C=O, C=C, Si-OH dan sebagainya. Pada karakterisasi ini sampel yang diuji direfleksikan dengan sinar infra merah yang melalui tempat kristal sehingga terjadi kontak dengan permukaan cuplikan. Degradasi atau induksi oleh oksidasi, panas, maupun cahaya, dapat diikuti dengan cepat melalui infra merah. Sensitivitas FTIR adalah 80-200 kali lebih tinggi dari instrumentasi dispersi standar karena resolusinya lebih tinggi. Komponen utama spektroskopi FTIR adalah interferometer Michelson yang mempunyai fungsi menguraikan (mendispersi) radiasi inframerah menjadi komponen-komponen frekuensi. Keuntungan dari FTIR yaitu dapat digunakan untuk mengidentifikasi sampel dalam berbagai fase seperti gas, padat atau cair (Kristianingrum, 2014).

Purnawan dkk (2018) melaporkan hasil FTIR dari silika abu ampas tebu terdapat serapan OH di 3450 cm^{-1} , serapan –OH tekuk di 1634 cm^{-1} , serapan asimetrik Si-O-Si di 1093 cm^{-1} , serapan simetrik Si-O-Si di 797 cm^{-1} , dan serapan Si-O-tekuk dari (Si-O-Si) di 465 cm^{-1}. Spektra FTIR dari silika abu ampas tebu ditunjukkan pada Gambar 23.



Gambar 23. Spektra FTIR silika abu ampas tebu (Purnawan dkk., 2018)

2.18. Spektrofotometri UV-*Vis* dan Metode DNS

Spektrofotometri UV-*Vis* merupakan metode yang didasarkan pada pengukuran energi cahaya oleh suatu zat kimia pada panjang gelombang maksimum tertentu. Sinar ultraviolet (UV) berada pada panjang gelombang antara 200-400 nm, dan sinar tampak *(visible)* mempunyai panjang gelombang 400-750 nm. Metode ini mengacu pada hukum Lambert-Beer yang menyatakan hubungan berbanding lurus antara absorban dengan konsentrasi larutan analit disajikan pada Persamaan 10.

$$A = e.b.c \qquad (10)$$

di mana:

A = absorban (serapan cahaya oleh zat kimia)

e = absorptivitas molar

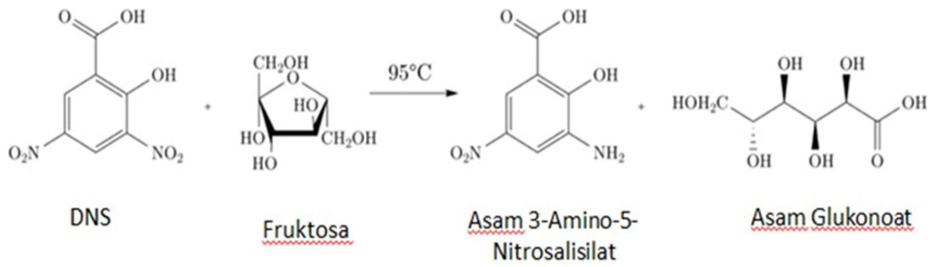
b = tebal kuvet (cm)

c = konsentrasi

(Iskandar, 2017).

Pada spektrofotometer UV-*Vis*, zat diukur dalam bentuk larutan. Analit yang dapat diukur dengan spektrofotometer sinar tampak adalah analit berwarna atau yang dapat dibuat berwarna. Analit berwarna adalah analit yang memiliki sifat menyerap cahaya secara alami (Warono dan Syamsudin, 2013).

DNS merupakan metode yang paling banyak digunakan untuk menentukan kadar gula reduksi dengan pereaksi dinitrosalisilat yang terdiri dari asam 3,5-dinitrosalisilat, NaOH, Na_2SO_3, Na-K-tartarat, fenol, dan akuades. Reaksi gula pereduksi dengan reagen DNS merupakan reaksi redoks, gugus aldehid yang bertindak sebagai pereduksi akan teroksidasi menjadi karboksil, sedangkan DNS yang bertindak sebagai oksidator akan tereduksi membentuk asam 3- amino-5-nitrosalisat. Jika sampel mengandung gula pereduksi, larutan DNS yang awalnya berwarna kuning bereaksi dengan gula pereduksi, menghasilkan warna jingga kemerahan serta panjang gelombang maksimum yang dapat diserap 540 nm. Reaksi dilakukan dalam lingkungan basa pada rentang suhu 90-100°C (Ruswandi dkk., 2018). Reaksi antara DNS dengan fruktosa ditunjukkan pada Gambar 24.



Gambar 24. Reaksi DNS dengan fruktosa (Xia *et al.,*2015)

III. METODE PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan selama 6 bulan Mei-Oktober 2022 di Laboratorium Kimia Anorganik/Fisik Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung. Karakterisasi katalis dan silika menggunakan *X-Ray Fluorescene*, di Laboratorium Instrumen Jurusan Kimia FMIPA Universitas Negeri Padang, *X-Ray Diffraction* (XRD) dilakukan di Laboratorium Teknik Material dan Metalurgi Fakultas Teknologi Industri-ITS, *Fourier Transform Infra Red* (FTIR) dilakukan di Laboratorium Instrumen Universitas Negeri Padang, *Surface Area Analyzer* (SAA) dengan metode *Brunaeur-Emmet-Teller* (BET) dilakukan di *Integrity Laboratory and Research Centre* Universitas Indonesia. Analisis produk menggunakan Spektrofotometer Ultraviolet-*Visible* (UV-*Vis*) yang dilakukan di Laboratorium Kimia Anorganik/Fisik Universitas Lampung.

3.2. Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini yaitu neraca analitik, kaca arloji, gelas kimia 100 mL, 1000 mL, 2000 mL, gelas ukur 50 mL, 100 mL, 500 mL, pipet tetes, labu ukur 1000 mL, corong pisah, corong kaca, Erlenmeyer, botol polipropilen, *spinbar*, batang pengaduk, spatula, cawan penguap*, hotplate stirrer*, seperangkat autoklaf, oven, tanur, termometer, pH meter, mortar dan alu, seperangkat alat refluks kondensor, *X-Ray Diffraction* (XRD) *PANalytical*, *X-Ray Fluorescence*(XRF) PANalytical Epsilon 3, spektrofotometer *Fourier Transform Infra Red* (FTIR) Perkin Elmer tipe Frontier, *Surface Area Analyzer* (SAA) *Quantachrome QuadraWin ©2000-16*, dan spektrofometer UV-*Vis Agilent Carry100.*

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu ampas tebu, HNO_3 teknis 2,5 % dan 10 %, $Al(OH)_3$, larutan NaOH 50% (w/w), NaOH 2 M, LUDOX, pati, glukosa pro analisis, fruktosa pro analisis, *oil bath*, kertas saring, akuades, dan indikator pH.

3.3. Prosedur Penelitian

3.3.1. Ekstraksi Silika dari Ampas Tebu

3.3.1.1. Preparasi Ampas Tebu

Ampas tebu yang diperoleh dilakukan pencucian, pengeringan, dan pembakaran terlebih dahulu. Pencucian dilakukan dengan menggunakan HNO_3 2,5 % dengan cara yaitu sebanyak 70 gram ampas tebu direndam dalam 1750 mL HNO_3 2,5% dan dipanaskan di atas *hotplate* sampai mendidih serta dilakukan pengadukan secara berkala. Tujuan pencucian menggunakan HNO_3 2,5% yaitu untuk menghilangkan pengotor-pengotor ataupun logam yang ada diampas tebu. Kemudian, ampas tebu disaring dan dicuci dengan air sampai pH netral. Ampas tebu yang telah dicuci, dikeringkan di dalam oven sampai kering. Selanjutnya, ampas tebu yang sudah kering kemudian dibakar menggunakan tanur pada suhu 600°C selama ± 5 menit, didapat abu ampas tebu atau yang disebut *sugarcane bagasse ash* (SCBA).

3.3.1.2. Ekstraksi Silika

Abu ampas tebu yang diperoleh, sebanyak 35 gram diekstraksi dengan menggunakan 875 mL NaOH 2 M dan dipanaskan di atas *hotplate* pada suhu ± 80 °C disertai pengadukan selama 1 jam. Selanjutnya, campuran didiamkan pada suhu ruang selama 24 jam, tujuannya yaitu untuk mengoptimalkan terbentuknya natrium silikat. Kemudian, setelah didiamkan selama 24 jam, disaring dengan menggunakan kertas saring dan didapat filtrat yang berwarna kuning kecoklatan. Filtrat yang didapat ditambahkan HNO_3 10% tetes demi tetes sampai terbentuk hidrogel pada pH 7. Hidrogel yang diperoleh, didiamkan selama 48 jam pada suhu ruang untuk memaksimalkan pembentukan gel. Gel kemudian disaring dengan kertas saring dan dibilas dengan akuades yang telah dipanaskan

sebelumnya. Selanjutnya, dikeringkan selama 24 jam pada suhu 80°C. Silika yang didapatkan selanjutnya dikarakterisasi dan dijadikan prekursor silika-alumina untuk sintesis zeolit ANA dan Na-P pori hierarki.

3.3.2. Karakterisasi Silika Hasil Ektraksi

Silika yang diperoleh selanjutnya dikarakterisasi dengan menggunakan XRD untuk melihat jenis fasa dan tingkat kristalinitas silika SCBA. Selanjutnya, dikarakterisasi XRF untuk mengetahui persen komposisi senyawa pada silika SCBA.

3.4. Sintesis Zeolit ANA dan Na-P Pori Hierarki

3.4.1. Sintesis Zeolit ANA dan Na-P Pori Hierarki dengan Menggunakan Silika SCBA

Pada penelitian ini zeolit ANA dan Na-P pori hierarki berbasis silika SCBA disintesis dengan perbandingan molar pereaksi yaitu 1 SiO_2: 0,0667 Al_2O_3: 0,25 NaOH: 30 H_2O (Che *et al*., 2019). Secara rinci komposisi molar masing-masing pereaksi dapat dilihat pada Tabel 5 dan 6.

Tabel 5. Molar pereaksi untuk sintesis ANA dan Na-P dari silika abu ampas tebu (SCBA)

Komposisi	SiO_2	NaOH	H_2O	Al_2O_3
Molar	1	0,25	30	0,0667
MW (g/mol)	60	40	18	102
p (g/mL)	1,3	1,515	-	-
W (g)	60	10	540	6,80

Tabel 6. Perhitungan komposisi molar pereaksi untuk sintesis ANA dan Na-P dari silika abu ampas tebu (SCBA)

Bahan	p (g/mL)	Kemurnian (%)	MW (g/mol)	Massa (g)	Massa untuk 1 autoklaf (g)*
SiO_2 dari SCBA	-	40	60	150,20	4,3934
Al_2O_3 dari SCBA	-	17,634	102	77,89	2,2060
NaOH 50% (w/v)	1,515	50	40	20	0,5664
H_2O dari NaOH	-	-	18	10,00	-
H_2O dibutuhkan	-	-	18	530,00	15,0108

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

Pertama sintesis zeolit Na-P, silika SCBA ditimbang dan dimasukkan dalam botol polipropilen, kemudian ditambahkan NaOH 50% (w/v) dan akuades selanjutnya diaduk selama 1 jam pada suhu 80°C. Kemudian, diaduk pada suhu ruang dan ditambahkan pati sebanyak 10% dari berat silika total serta dibiarkan selama 24 jam dengan kondisi tetap diaduk. Setelah 24 jam, gel dipindahkan ke *hotplate stirrer* yang beralaskan panci berisi *oil bath* diatur suhu 60°C untuk dilakukan evaporasi dengan cara membuka tutup botol polipropilen dan biarkan sampai terbentuk gel kering (±48jam). Gel kering yang didapat ditumbuk dengan mortar alu. Selanjutnya, dimasukkan dalam teflon-autoklaf untuk disintesis secara SAC pada suhu 170°C selama 120 jam. Setelah itu, disaring dan dibilas dengan akuades kemudian dikeringkan dengan oven pada suhu 90°C selama 2 jam.

Kedua sintesis zeolit analsim, silika SCBA ditimbang dan dimasukkan dalam botol polipropilen, kemudian ditambahkan NaOH 50% (w/v) dan akuades selanjutnya diaduk selama 2 jam dengan menggunakan *oil bath* pada suhu 80°C hingga terbentuk gel. Selanjutnya, ditambahkan pati sebanyak 10% dari berat silika total dan diaduk pada suhu ruang selama 24 jam. Setelah itu, gel dimasukkan ke dalam teflon-autoklaf untuk disintesis secara hidrotermal pada suhu 170°C selama 144 jam. Setelah itu, disaring dan dibilas dengan akuades kemudian dikeringkan dengan oven pada suhu 90°C selama 2 jam.

3.4.2. Karakterisasi Zeolit ANA dan Na-P Berbasis Silika SCBA

Hasil sintesis zeolit dan Na-P berbasis silika SCBA selanjutnya dikarakterisasi menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk mengetahui kristal zeolit yang terbentuk. Kemudian, penentuan luas permukaan dan ukuran pori zeolit ditentukan dengan menggunakan metode *Brunauer-Emmett-Teller* (BET).

3.5. Persiapan Katalis H-ANA dan H-P

Zeolit analsim dan Na-P dari silika SCBA yang dihasilkan selanjutnya diubah menjadi bentuk H-ANA dan H-P 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 g katalis (zeolit ANA dan Na-P) dicampurkan dengan 12 mL larutan NH_4NO_3 1 M sambil diaduk dan dipanaskan pada suhu 80°C selama 48 jam dan dilakukan penggantian larutan NH_4NO_3 1 M setiap 24 jam. Setelah itu, campuran yang didapat kemudian disaring dan dicuci akuades, lalu dikeringkan menggunakan oven pada suhu 100 °C selama 2 jam dan dikalsinasi pada suhu 550°C selama 6 jam.

3.6. UJi Aktivitas Katalitik

Reaksi isomerisasi glukosa menjadi fruktosa dilakukan dilabu dasar bulat dalam penangas minyak yang dilengkapi dengan refluks kondensor. Lalu, sebanyak 0,2 g glukosa dicampur dengan 5 mL air yang mengandung 0,03 g zeolit. Kemudian dilakukan variasi suhu, waktu, dan jumlah katalis yang digunakan untuk menentukan kondisi optimum hasil fruktosa tertinggi.

3.6.1. Penentuan Suhu Optimum

Pada penelitian ini dilakukan uji aktivitas katalitik zeolit ANA dan Na-P terhadap reaksi isomerisasi. Metode reaksi isomerisasi menggunakan metode yang telah dilakukan oleh (Patria *et al*., 2021). Variasi suhu yang digunakan ialah 60°, 70°, 80°, 90°, dan 100°C. Suhu optimum merupakan suhu dengan konsentrasi gula pereduksi tertinggi dan digunakan untuk penentuan waktu reaksi optimum.

3.6.2. Penentuan Waktu Optimum

Setelah mendapatkan kondisi suhu optimum, maka dapat ditentukan waktu reaksi optimum. Variasi waktu yang digunakan ialah 20, 30, 40, 50, 60 menit. Kondisi optimum yang didapat dari waktu reaksi digunakan untuk menentukan jumlah katalis optimum (Patria *et al*., 2021).

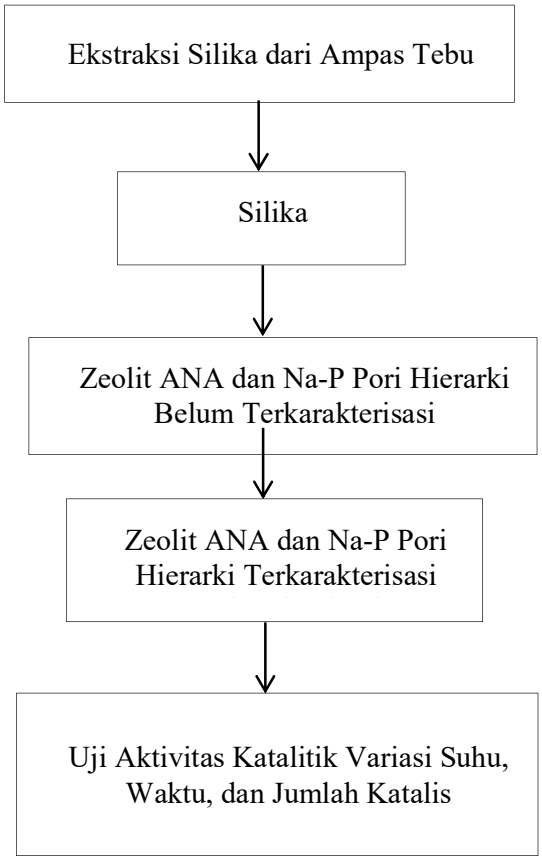
3.6.3. Penentuan Jumlah Katalis Optimum

Berdasarkan penelitian yang dilakukan Patria *et al* (2021) dilakukan variasi jumlah katalis yaitu 0,03; 0,04; 0,05; 0,06; 0,07 g. Jumlah katalis optimum yang diperoleh selanjutnya digunakan untuk analisis fruktosa pada reaksi isomerisasi dalam kondisi optimum.

3.7. Analisis Produk

Filtrat yang didapat dari hasil isomerisasi dengan berbagai variasi suhu, waktu, dan jumlah katalis kemudian diuji dengan metode DNS untuk menentukan kadar gula reduksi dalam sampel. Sebanyak 1,5 mL sampel dimasukkan ke dalam tabung reaksi ditambahkan 1,5 mL DNS dan 3 mL akuades. Kemudian, dipanaskan dalam air mendidih selama 5-15 menit sampai larutan berwarna merah kecoklatan. Absorbansi tiap larutan diukur dengan menggunakan spektrofotometer UV-*Vis* pada panjang gelombang 540 nm. Pengukuran kadar gula pereduksi hasil reaksi isomerisasi dan pembuatan kurva standar glukosa dilakukan dengan perlakuan yang sama. Konsentrasi gula pereduksi serta kandungan glukosa ditentukan dengan persamaan regresi yang diperoleh dari kurva standar glukosa.

3.8. Diagram Alir



V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, didapat kesimpulan sebagai berikut:

1. Silika SCBA berhasil diekstraksi menggunakan metode alkali dengan rendemen sebesar 3,19%, memiliki fasa dominan *amorf* , rasio Si/Al sebesar 1,42 yang terkonfirmasi dengan hasil dari XRD dan XRF.
2. Hasil XRD menunjukkan bahwa zeolit ANA dan Na-P berhasil disintesis yang ditandai kemiripan dengan difraktogram standar, memiliki kristalinitas sebesar 44,90 dan 58,12%, dan rasio Si/Al yang diperoleh masing-masing 1,98 dan 1,79.
3. Zeolit ANA memiliki luas permukaan sebesar 2,350 m^2/g; total volume pori 0,002 cc/g; memiliki pori tambahan sebesar 2,272 nm dengan bentuk pori seperti celah. Sedangkan, zeolit Na-P memiliki luas permukaan 6,709 m^2/g; memiliki total volume pori 0,010 cc/g; pori tambahan sebesar 3,246 nm dengan bentuk pori celah.
4. Kondisi optimum isomerisasi glukosa pada zeolit ANA yaitu 30 menit, suhu 80 ºC, dan jumlah katalis 0,03 g. Sedangkan, pada zeolit Na-P waktu 20 menit, suhu 80 ºC, dan jumlah katalis 0,03 g.
5. Zeolit Na-P dengan penambahan mesoporogen pati memiliki aktivitas katalitik yang cukup baik dibanding zeolit ANA. Sehingga, dapat dijadikan alternatif untuk reaksi isomerisasi glukosa.

5.2. Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dan hasil yang diperoleh, maka disarankan untuk melakukan dealuminasi jika diperoleh Si/Al dari silika SCBA dibawah 2. Selain itu, disarankan untuk melakukan modifikasi zeolit lanjutan untuk meningkatkan aktivitas kinerja katalitik zeolit atau dapat juga menggunakan zeolit lain untuk melihat efektivitas dari zeolit tersebut dalam reaksi isomerisasi glukosa. Produk yang diperoleh yaitu fruktosa disarankan untuk dilakukan karakterisasi lebih lanjut agar dapat dipastikan produk yang diperoleh murni.

DAFTAR PUSTAKA

Abdullah, M. dan K. 2009. Review: Karakterisasi Nanomaterial. *Jurnal Nanosains Dan Nanoteknologi*, 2(1):1-9.

Affandi, S., Setyawan, H., Winardi, S., Purwanto, A., and Balgis, R. 2009. A Facile Method For Production Of High-Purity Silica Xerogels From Bagasse Ash. *Advanced Powder Technology*. 20(5). 468–472.

Ahmad, W. R. W., Mamat, M. H., Zoolfakar, A. S., Khusaimi, Z., and Rusop, M. 2017. A Review On Hematite A-Fe_2O_3 Focusing On Nanostructures, Synthesis Methods And Applications. *Proceedings - 14th IEEE Student Conference on Research and Development: Advancing Technology for Humanity,Scored 2016*. 2–7.

Ali, I. O., El-Sheikh, S. M., Salama, T. M., Bakr, M. F., and Fodial, M. H. 2015. Controllable Synthesis Of Na-P Zeolit And Its Application In Calcium Adsorption. *Science China Materials*. 58(8). 621–633.

Alves, R. H., Reis, T. V. D. S., Rovani, S., and Fungaro, D. A. 2017. Green Synthesis And Characterization Of Biosilica Produced From Sugarcane Waste Ash. *Journal of Chemistry*.

Aminah, S. 2017. *Sintesis* Zeolit *Na-P Dari Kaolin: Pengaruh Waktu Leaching Kaolin*. Skripsi. Insititut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.

Anggraeni, Aristia Santoso. 2015. *Pembuatan Katalis Padat K/Γ-Al_2O_3 untuk Proses Transesterifikasi Minyak Kelapa Sawit RBD*. Skripsi. Institut Teknlogi Surabaya. Surabaya.

Astuti, W. 2018. *Adsorpsi Menggunakan Material Berbasis Lignoselulosa*. Unnes Press. Semarang.

Auerbach, S., Carrado, K., and Dutta, P. 2003. *Hand Book Of* Zeolit *Science And Technology*. CRC Press. Boca Raton.

Azizi, S. N., Ghasemi, S., and Gilani, N. S. 2014. An Electrode With Ni(II) Loaded Analsim Zeolit Catalyst For The Electrooxidation Of Methanol. *Cuihua Xuebao/Chinese Journal of Catalysis*. 35(3). 383–390.

Bai, R., Song, Y., Li, Y., and Yu, J. 2019. Creating Hierarchical Pores In Zeolit Catalysts. *Trends in Chemistry*. 1(6). 601–611.

Bariyah, U. 2014. *Pengaruh Rasio SiO_2 /Al_2O_3 Pada Sintesis ZSM-5 Dan Aktivitas Katalitiknya untuk Reaksi Esterifikasi*. Tesis. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.

Biro, G. 2018. Human Biological Characteristics Of Fructose. *Elelmiszervizsgalati Kozlemenyek*. 64: 1908–1916.

Bohra, S., Kundu, D., and Naskar, M.K. 2013. "One-Pot Synthesis Of Naa And Nap Zeolit Powders Using Agro- Waste Material And Other Low Cost Organic-Free Precursors." *Ceramics International*. 40:122-1234.

Bonardo, D., and Siburian, R. 2021. Analisis Struktur Nano Partikel Silika Dari Abu Ampas Tebu Menggunakan Metode XRD. *Jurnal Einstein.* 9(1).13–20.

Bortolini, H. R., Lima, D. S., and Perez-Lopez, O. W. 2020. Hydrothermal Synthesis Of Analsim Without Template. *Journal of Crystal Growth*. 532: 125424.

Bunaciu, A. A., Udriştioiu, E. gabriela, and Aboul-Enein, H. Y. 2015. X-Ray Diffraction: Instrumentation and Applications. *Critical Reviews in Analytical Chemistry*. 45(4). 289–299.

Cejka, J., Bekkum, H. V., Corma, A., and Schuth, F. 2007. *Introduction to Zeolit Science and Practice 3 rd Revised Edition*. Elsevier. Amsterdam.

Cerna, T., Pangan, S.,dan Herawati, H. 2016. Potensi Pengembangan Produk Pati Tahan Cerna sebagai Pangan Fungsional. *Jurnal Penelitian Dan Pengembangan Pertanian*. 30(1). 31–39.

Che, Q., Yang, M., Wang, X., Yang, Q., Chen, Y., Chen, X., Chen, W., Hu, J., Zeng, K., Yang, H., and Chen, H. 2019. Preparation Of Mesoporous ZSM-5 Catalysts Using Green Templates And Their Performance In Biomass Catalytic Pyrolysis. *Bioresource Technology*. 289: 121729.

Christensen, C. H., Schmidt, I., Carlsson, A., Johannsen, K., and Herbst, K. 2005. Crystals In Crystals-Nanocrystals Within Mesoporous Zeolit Single Crystals. *Journal of the American Chemical Society*. 127(22): 8098–8102.

Dahane, S., Martínez Galera, M., Marchionni, M. E., Socías Viciana, M. M., Derdour, A., and Gil García, M. D. 2016. Mesoporous Silica Based MCM-41 As Solid-Phase Extraction Sorbent Combined With Micro-Liquid Chromatography-Quadrupole-Mass Spectrometry For The Analysis Of Pharmaceuticals In Waters. *Talanta*. 152: 378–391.

Dhawan, A., Gupta, N., Goyal, R., and Saxena, K. K. 2021. Evaluation Of Mechanical Properties Of Concrete Manufactured With Fly Ash, Bagasse Ash And Banana Fibre. *Materials Today: Proceedings*. 44: 17–22.

Direktorat Jenderal Perkebunan. 2021. *Statistik Perkebunan Indonesia 2019-2021*. Kementerian Pertanian. Jakarta.

Dur, S. 2017. Zeolit Processing As Heavy Material. *ZERO: Jurnal Sains, Matematika Dan Terapan*. 1(1): 33–45.

Ertan, A., and Çakicioğlu-Özkan, F. 2005. CO_2 and N_2 Adsorption on the Acid (HCl, HNO_3, H_2SO_4 and H_3PO_4) Treated Zeolits. *Adsorption*. 11(1): 151–156.

Fauziyah, N. A. 2015. *Karakterisasi Komposit PEG 4000/SiO_2 (SiO_2 = Kuarsa, Amorf, Kristoballit) dengan Dynamic Mechanical Analyzer (DMA)*. Tesis. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.

Fessenden R. J. dan J. Fessenden. 1982. *Kimia Organik. Edisi Ketiga Jilid 2 ed*. Elangga. Jakarta.

Flanigen, E. M., Broach, R. W., and Wilson, S. T. 2010. Introduction. Zeolit*s in Industrial Separation and Catalysis*, Kulprathipanja, S. (Eds.). Wiley-VCH Verlag GmbH and Co. KGaA. Weinheim.

Folleto, E.L., Ederson, G., Leonardo, H.O., dan Sergio,J. 2006. Conversion of Rice Husk Ash Into Sodium Silicate. *Material Research*. 9(3): 335-338.

Ginting, Ilias, Hermawan, Stefanus, Ency, T. 2005. Pembuatan Perangkat Lunak Analisis Kualitatif Difraksi Sinar-X Dengan Metode Hanawalt. *Prosiding Seminar Nasional dan Teknik Nuklir BATAN*. Bandung.

Hakim, L., Dirgantara, M., and Nawir, M. 2019. Karakterisasi Struktur Material Pasir Bongkahan Galian Golongan C Dengan Menggunakan X-Ray Difraction (XRD) Di Kota Palangkaraya. *Jurnal Jejaring Matematika Dan Sains*.1(1): 44–51.

Hanafi, A., dan Nandang R, A. 2010. Studi Pengaruh Bentuk Silika dari Abu Ampas Tebu terhadap Kekuatan Produk Keramik. *Jurnal Kimia Indonesia*. 5(1). 35–38.

Handayani, P. A., Nurjanah, E., dan Rengga, W. D. P. 2014. Pemanfaatan Limbah Sekam Padi Menjadi Silika Gel. *Jurnal Bahan Alam Terbarukan*. 3(2). 55–59.

Harben, P. W., and Kuzvart, M. 1996. *Industrial minerals: A global geology*. 204–2011. Industrial Minerals Information Ltd. Metal Bulletin PLC. London.

Hart, H., L. E. Craine, dan D. J. Hart, 2003. *Kimia Organik: Suatu Kuliah Singkat*. Erlangga. Jakarta.

Hartmann, M., Machoke, A. G., and Schwieger, W. 2016. Catalytic Test Reactions For The Evaluation Of Hierarchical Zeolits. *Chemical Society Reviews*.45(12). 3313–3330.

Hidayat, A. E., Moersidik, S. S., dan 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.

Huo, Z., Xu, X., Lü, Z., Song, J., He, M., Li, Z., Wang, Q., and Yan, L. 2012. Synthesis of zeolit NaP With Controllable Morphologies. *Microporous and Mesoporous Materials*. 158:137–140.

Hwang, N. dan B. A. R. 2011. Kant's Conception of Moral Character: The And Quot;Criticalandquot; Link Of Morality, Anthropology, And Reflective Judgment (Review). *Journal of the History of Philosophy*. 39(3). 1–11.

Iam-khong, P., Muchan, P., Sriprang, N., and Nithitanakul, M. 2019. Synthesis And Characterization Of A New Phase Of Non Na-Loaded Analsim Zeolit By Microemulsion Technique. *Solid State Sciences*. 96: 1293-2558.

Indrawati, L. 2008. *Aktivasi Abu Layang Batubara Dan Aplikasinya Pada Proses Adsorpsi Ion Logam Cr Dalam Limbah Elektroplating*. Tesis. Universitas Negeri Semarang. Semarang.

Iskandar, D. 2017. Perbandingan Metode Spektrofotometri UV-Vis Dan Iodimetri Dalam Penentuan Asam Askorbat Sebagai Bahan Ajar Kimia Analitik Mahasiswa Jurusan Teknologi Pertanian Berbasis Open-Ended Experiment Dan Problem Solving. *Jurnal Teknologi Technoscientia*. 10(1): 66–70.

Istadi. 2011. *Teknologi Katalis untuk Konversi Energi Fundamental Dan Aplikasi*. Graha Ilmu.Yogyakarta.

Jamaludin, A., dan Adiantoro, D. 2012. *Analisis Kerusakan X-Ray Fluorescence(XRF)*. Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir. BATAN.

Jha, P., Sachan, A. K., and Singh, R. P. 2021. Agro-Waste Sugarcane Bagasse Ash (SCBA) As Partial Replacement Of Binder Material In Concrete. *Materials Today: Proceedings*. 419–427.

Ju, Z., Zhang, Y., Zhao, T., Xiao, W., and Yao, X. 2019. Mechanism of Glucose-Fructose Isomerization over Aluminum-Based Catalysts in Methanol Media. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*. 7(17):14962–14972.

Junaydi, A. 2016. *Sintesis Zeolit Y Dari Kaolin Bangka Belitung Secara Langsung Dengan Variasi Waktu Kristalisasi*. Skripsi. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.

Kadja, G. T. M., Rilyanti, M., Mukti, R., Marsih, N., and Ismunandar. 2013. Strategi Sintesis Zeolit Hirarkis: Kajian Metode Cetak Lunak dan Cetak Keras Synthesis Strategy of Hierachical Zeolits: Soft-and Hard-templating method. *Jurnal Matematika dan Sains.* 18(3*)*:103–114.

Kafillah, M., dan , Nurlina, dan Alimuddin, A. H. 2018. Pemanfaatan Limbah Kaca Sebagai Prekursor Silika Dalam Sintesis Zeolit Analsim Dan Aplikasinya Sebagai Katalis Reaksi Perengkahan Minyak Jelantah. *Seminar Nasional Penerapan Ilmu Pengetahuan Dan Teknologi*. Universitas Tanjungpura. Pontianak.

Kalapathy, U., Proctor, A., and Shultz, J. 2001. A Simple Method For Production Of Pure Silica From Rice Hull Ash. *Fuel and Energy Abstracts*. 42(1): 45.

Kang, S., Fu, J., and Zhang, G. 2018. From Lignocellulosic Biomass To Levulinic Acid: A Review On Acid-Catalyzed Hydrolysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 94: 340–362.

Karmakar, B., Kundu, P., Jana, S., and Dwivedi, R. 2002. Crystallization Kinetics and Mechanism of Low-Expansion Lithium Aluminosilicate Glass-Ceramics by Dilatometry. *Journal of the American Ceramic Society*. 85: 2572–2574.

Khairinal, Trisunaryanti, W. 2000. Dealuminasi Zeolit Alam Wonosari dengan Perlakuan Asam dan Proses Hidrotermal. *Prosiding Seminar Nasional Kimia VIII*. Yogyakarta.

Kristianingrum, S. 2014. *Handout Spektroskopi Infra Merah*. Universitas Negeri Yogyakarta. Yogyakarta.

Lestari, W. W., Hasanah, D. N., Putra, R., Mukti, R. R., and Nugrahaningtyas, K. D. 2018. Transformation Of Indonesian Natural Zeolit Into Analsim Phase Under Hydrothermal Condition. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 349(1).

Li, K., Valla, J., and Garcia-Martinez, J. 2014. Realizing The Commercial Potential Of Hierarchical Zeolits: New Opportunities In Catalytic Cracking. *ChemCatChem*. 6(1): 46–66.

Liu, B. S., and Au, C. T. 2002. Preparation And Separation Performance Of A TPAOH-Induced ANA Zeolit Membrane. *Chemistry Letters*. 8: 806–807.

Mantsuro, Luklu'im. 2018. *Sintesis Sodalit Dari Kaolin Dengan Treatment Asam Sulfat*. Tesis. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.

Masina, N., Choonara, Y. E., Kumar, P., du Toit, L. C., Govender, M., Indermun, S., and Pillay, V. 2017. A Review Of The Chemical Modification Techniques Of Starch. *Carbohydrate Polymers*.157:1226–1236.

Matthias Thommes, Katsumi Kaneko, Alexander V. Neimark, James P. Olivier, F. R.-R., and Sing, J. R. and K. S. W. 2013. Brunauer-Emmett-Teller (BET) Surface Area Analysis. *Pure and Applied Chemistry*. 87(9–10): 1051–1069.

Meng, X., Nawaz, F., and Xiao, F. S. 2009. Templating Route For Synthesizing Mesoporous Zeolits With Improved Catalytic Properties. *Nano Today*. 4(4): 292–301.

Moises, M.P., Cruiser, T.P.S., Meneguin, J.G., Girotto, E.M., and Radovanovic, E. 2013. Synthesis of Zeolit NaA from Sugarcane Bagasse Ash. *Materials Letters*. 108: 243-246.

Narayanan, S., Tamizhdurai, P., Mangesh, V. L., Ragupathi, C., Santhana krishnan, P., and Ramesh, A. 2020. Recent Advances In The Synthesis And Applications Of Mordenite Zeolit - Review. *RSC Advances*.11(1):250–267.

Nishu, Liu, R., Rahman, M. M., Sarker, M., Chai, M., Li, C., and 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.

Novembre, D., and Gimeno, D. 2021. Synthesis And Characterization Of Analsim (ANA) Zeolit Using A Kaolinitic Rock. *Scientific Reports*.11(1): 1–9.

Nurdin, A.,Arfiana, Hens Saputra., Yunilawati, Retno., Finalis, E. R. 2018. *Pembuatan Dan Karakterisasi Katalis* Zeolit *ZSM-5 Untuk Konversi Bioetanol Menjadi Bioetilena*. Pusat Teknologi Sumber Daya Energi dan Industri Kimia. PUSPITEK Tanggerang Selatan.

Pal, P., Das, J. K., Das, N., and Bandyopadhyay, S. 2013. Synthesis Of Nap Zeolit At Room Temperature And Short Crystallization Time By Sonochemical Method. *Ultrasonics Sonochemistry*. 20(1): 314–321.

Pan, T., Wu, Z., and Yip, A. C. K. 2019. Advances In The Green Synthesis Of Microporous And Hierarchical Zeolits: A short review. *Catalysts*. 9(3): 1–18.

Pangouw, J. D., Pandaleke, R., and Mangare, J. B. 2013. Substitusi Parsial Semen Dalam Campuran Beton Ditinjau Terhadap Kuat Tarik Lentur Dan Modulus Elastisitas. *Jurnal Sipil Statik*. 1(2): 82–89.

Patdhanagul, N., Srithanratana, T., Rangsriwatananon, K., and Hengrasmee, S. 2010. Ethylene Adsorption On Cationic Surfactant Modified Zeolit NaY. *Microporous and Mesoporous Materials - Microporous Mesoporous Mat*. 131: 97–102.

Patria, R. D., Islam, M. K., Luo, L., Leu, S.-Y., Varjani, S., Xu, Y., Wong, J. W.-C., and 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.

Patty, D. J. 2013. Penentuan Unsur dalam Rambut Berdasarkan Karakteristik Pola Fluoresensi Sinar X (XRF). *Prosiding FMIPA Universitas Pattimura*. Maluku.

Perry, R. H and Green, D.W. 1997. *Perry's Chemical Engineers' Handbook. Seventh Edition*. McGraw-Hill. New York.

Pawitra, T., Setiawan, A., dan Ramadani, T. A. 2021. Sintesis dan Karakterisasi Kitosan-Silika dari Abu Ampas Tebu Sebagai Adsorben Logam Berat Cu(II). *Reka Buana : Jurnal Ilmiah Teknik Sipil Dan Teknik Kimia*. 6(1): 70–77.

Perwira, G., Desita, R., Rizky, I. P., Fajrudin, A., and Pujiastuti, A. 2014. *Analisis Luas Permukaan Arang Aktif Dengan Menggunakan Metode BET (SAA)*. Universitas Negeri Semarang. Semarang.

Poedjiadi, A. 2006. *Dasar-dasar Biokimia*. UI Press. Jakarta.

Poerwadi, B. 1997. Pemanfaatan Zeolit Alam Indonesia Sebagai Adsorben Limbah Cair dan Media Fluiditas dalam Kolom Fluidisasi. *Jurnal MIPA*. Universitas Brawijaya. Malang.

Pramana, A., Razak, A. R., and Prismawiryanti, P. 2016. Hidrolisis Selulosa Dari Sekam Padi (*Oryza sativa*) Menjadi Glukosa Dengan Katalis Arang TersulfonasI. *Kovalen*. 2(3): 61–66.

Purnawan, C., Martini, T., and 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.

Rahmawati Sunarya, R. 2009. *Struktur Padatan Silikon Dioksida*. UIN Sunan Gunung Djati Bandung. Bandung.

Richardson, J.T. 1989. *Principles of Catalyst Development*. Plenum Press.New York.

Rilyanti, M., Faidah, U. N., Suharso, S., Pandiangan, K. D., and Ilim, I. 2021. Utilization Of Zeolit H-MOR Based On Bagasse Ash Silica As A Catalyst For The Hydrolysis Reaction Of Cassava Peel Cellulose For Glucose Production. *Journal of Physics: Conference Series*. 1751(1).

Rilyanti, Mita, Gita Silviana, E., Pandiangan, K. D., Luh Gede Ratna Juliasih Jurusan Kimia, N., and Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, F. 2020. Sintesis Dan Karakterisasi Zeolit Mordenit (MOR) Pori Hirarki Berbasis Silika Abu Ampas Tebu. *Analit: Analytical and Environmental Chemistry*. 5(02):178–191.

Rilyanti, Mita, Mukti, R. R., Kadja, G. T. M., Ogura, M., Nur, H., Ng, E.-P., and Ismunandar. 2016. On The Drastic Reduction Of Organic Structure Directing Agent In The Steam-Assisted Crystallization Of Zeolit With Hierarchical

Porosity. *Microporous and Mesoporous Materials*. 230:30–38.

Ruswandi, Budhi Oktavia, dan Minda Azhar. 2018. Penentuan Kadar Fruktosa Hasil Hidrolisis Inulin Dengan DNS Sebagai Pengoksidasi. *Jurnal Eksakta*. 19(1): 1-20.

Sabarish, R., and Unnikrishnan, G. 2019. Synthesis, Characterization And Evaluations Of Micro/Mesoporous ZSM-5 Zeolit Using Starch As Bio Template. *SN Applied Sciences*. 1(9): 1–13.

Saidi, D. 2014. *Proses Dehidrasi Bioetanol Menggunakan Zeolit Teraktivasi NaOH Dengan Variasi*. Skripsi. Fakultas Sains Dan Teknologi Universitas Islam Negeri (UIN). Malang.

Sales, A., and Lima, S. A. 2010. Use Of Brazilian Sugarcane Bagasse Ash In Concrete As Sand Replacement. *Waste Management*. 30(6): 1114–1122.

Salman, M. N., Krisdiyanto, D., Khamidinal, K., dan Arsanti, P. 2015. Preparasi Katalis Silika Sulfat Dari Abu Sekam Padi Dan Uji Katalitik Pada Reaksi Esterifikasi Gliserol Dengan Anhidrida Asam Asetat. *Reaktor*. 15(4): 231–240.

Saputra, R. 2006. Pemanfaatan Zeolit Sintetis Sebagai Alternatif Pengolahan Limbah Industri. *Jurnal Hibah Bersaing*. 3: 1–8.

Sari, Aisyah Juwita. 2015. *Ekstraksi Silika Dari Ampas Tebu Sebagai Prekursor Dalam Sintesis Zeolit Analsim*. Tesis. Institut Teknologi Bandung. Bandung.

Saravanamurugan, S., Paniagua, M., Melero, J. A., and Riisager, A. 2013. Efficient Isomerization Of Glucose To Fructose Over Zeolits In Consecutive Reactions In Alcohol And Aqueous Media. *Journal of the American Chemical Society*. 135(14): 5246–5249.

Sarifudin, K., Lado, D. Y., Utami, F. S., dan Parera, L. A. M. 2020. Sintesis Dan Karakterisasi Sifat Keasaman , Morfologi , Luas Permukaan Spesifik , Rerata Jejari Pori Dan Volume Tatal Pori Katalis K-CoMo / ZAA. *Prosiding Webinar Nasional Pendidikan Dan Sains Kimia 3 Tahun 2020*. Undana. Kupang.

Sembiring, S dan Simanjuntak, W. 2015. *Silika Sekam Padi; Potensinya Sebagai Bahan Baku Keramik Industri*. Plantaxia. Yogyakarta.

Setyawan, P. H. 2002. Pengaruh Perlakuan Asam, Hidrotermal dan Impregnasi Logam Kromium pada Zeolit Alam dalam Preparasi Katalis. *Jurnal Ilmu Dasar*. 3(2): 103–109.

Smallman,R.E dan Bishop, R. 2000. *Metalurgi Fisik Modern dan Rekayasa Material 6th ed*. Erlangga. Jakarta.

Smeets, V., Gaigneaux, E. M., and Debecker, D. P. 2020. Hierarchical Micro-/Macroporous TS-1 Zeolit Epoxidation Catalyst Prepared By Steam Assisted Crystallization. *Microporous and Mesoporous Materials*. 293.

Souza, A. E., Teixeira, S. R., Santos, G. T. A., Costa, F. B., and Longo, E. 2011. Reuse Of Sugarcane Bagasse Ash (SCBA) To Produce Ceramic Materials. *Journal of Environmental Management*. 92(10): 2774–2780.

Sudjadi.1988. *Metode Pemisahan*. Fakultas Farmasi.Universitas Gadjah Mada.

Susanti, D. H., and Roesyadi, A. 2019. Pembuatan HZSM-5 Mesopori : Pengaruh Agen Desilikasi Sodium Hidroksida dan Potasium Hidroksida. *Seminar Nasional Inovasi Dan Aplikasi Teknologi*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.

Sutarti, M dan Rachmawati. 1994. *Zeolit: Tinjauan Literatur*. Pusat Dokumentasi dan Informasi LIPI. Jakarta.

Svehla, G. 1985. *Vogel (Buku Teks Analisis Anorganik Kualitatif Makro dan Semimikro)*. PT. Kalman Media Pustaka. Jakarta.

Tangkawanit, S., Rangsriwatananon, K., and Dyer, A. 2005. Ion Exchange Of Cu^{2+}, Ni^{2+}, Pb^{2+} And Zn^{2+} In Analsim (ANA) Synthesized From Thai Perlite. *Microporous and Mesoporous Materials*. 79(1–3): 171–175.

Tao, H., Li, C., Ren, J., Wang, Y., and Lu, G. 2011. Synthesis Of Mesoporous Zeolit Single Crystals With Cheap Porogens. *Journal of Solid State Chemistry*. 184(7): 1820–1827.

Veses, A., Puertolas, B., Lopez, J. M., Callen, M. S., Solsona, B., and Garcia, T. 2016. Promoting Deoxygenation of Bio-Oil by Metal-Loaded Hierarchical ZSM-5 Zeolits. *American Chemistry Science Sustainable Chemical and Engineering*. 1 : 1-8.

Wang, Z., Jiang, X., Pan, M., and Shi, Y. 2020. Nano-Scale Pore Structure And Its Multi-Fractal Characteristics Of Tight Sandstone By N_2 Adsorption/Desorption Analyses: A Case Study Of Shihezi Formation From The Sulige Gas Filed, Ordos Basin, China. *Minerals*. 10(4).

Warono, D., dan Syamsudin. 2013. Unjuk Kerja Spektrofotometer Untuk Analisa Zat Aktif Ketoprofen. *Jurnal Konversi*. 2(2): 57–65.

Watanabe, M., Aizawa, Y., Iida, T., Aida, T. M., Levy, C., Sue, K., and Inomata, H. 2005. Glucose Reactions With Acid And Base Catalysts In Hot Compressed Water At 473 K. *Carbohydrate Research*. 340(12): 1925–1930.

Widati, A.A., Baktir, A., Hamami, S., and Rahmawati, R. 2011. Sintesis Zeolit A Dari Ampas Tebu Dan Uji Aktivitasnya Terhadap *Candida albicans. Laporan Hibah Riset Universitas Airlangga*. Surabaya.

Widi, R. K. 2018. *Pemanfaatan Material Anorganik: Pengenalan dan Beberapa Inovasi di bidang Penelitian*. Deepublish. Yogyakarta.

Xia, M., Wang, L., Yang, Z., and Chen, H. 2015. A Novel Digital Color Analysis Method for Rapid Glucose Detection. The Royal Society of Chemistry *Analytical Methods*. 7 (16) : 6654-6663.

Xu, Q., Ji, T., Gao, S. J., Yang, Z., dan Wu, N. 2018. Characteristics And Applications Of Sugarcane Bagasse Ash Waste In Cementitious Materials. Materials. 12(1):1-39.

Yang, Q., Zhou, S., and Runge, T. 2015. Magnetically Separable Base Catalysts For Isomerization Of Glucose To Fructose. *Journal of Catalysis*. 330: 474–484.

Yang, X. Y., Chen, L. H., Li, Y., Rooke, J. C., Sanchez, C., and Su, B. L. 2017. Hierarchically Porous Materials: Synthesis Strategies And Structure Design. *Chemical Society Reviews*. 46(2): 481–558.

Ye, X., Shi, X., Jin, B., Zhong, H., Jin, F., and 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. 146276.

Yunita, I., Sulistyaningsih, T., and Widiarti, N. 2019. Karakterisasi dan Uji Sifat Fisik Material Zeolit Modifikasi Magnetit Sebagai Adsorben Ion Klorida dalam Larutan Berair. *Indonesian Journal of Chemical Science*. 8(2): 87–92.

Zabeti, M., Daud, W.M.A.W., Aroua, M.K. 2009, Activity of Solid Catalysts For Biodiesel Production: A review. *Fuel Processing Technology*. 90: 770-777.

Zhang, H., Shao, S., Luo, M., and Xiao, R. 2017. The Comparison Of Chemical Liquid Deposition And Acid Dealumination Modified ZSM-5 For Catalytic Pyrolysis Of Pinewood Using Pyrolysis-Gas Chromatography/Mass Spectrometry. *Bioresource Technology*. 244: 726–732.

Zhang, L., Sun, X., Pan, M., Yang, X., Liu, Y., Sun, J., Wang, Q., Zheng, J., Wang, Y., Ma, J., Li, W., and Li, R. 2020. Interfacial Effects Between Carbon Nanotube Templates And Precursors On Fabricating A Wall-Crystallized Hierarchical Pore System In Zeolit Crystals. *Journal of Materials Science*. 55(24): 10412–10426.

Zhang, Yumin, Hu, L., Han, J., Jiang, Z., and Zhou, Y. 2010. Soluble Starch Scaffolds With Uniaxial Aligned Channel Structure For In Situ Synthesis Of Hierarchically Porous Silica Ceramics. *Microporous and Mesoporous Materials*. 130(1–3): 327–332.

Zhang, Yuxuan, Chen, X., Lyu, X., Zhao, G., Zhao, T., Han, L., and Xiao, W. 2019. Aluminum Phosphotungstate As A Promising Bifunctional Catalyst For Biomass Carbohydrate Transformation To Methyl Levulinate Under Mild Conditions. *Journal of Cleaner Production*. 215: 712–720.

Zhu, P., Meier, S., Saravanamurugan, S., and Riisager, A. 2021. Modification Of Commercial Y Zeolits By Alkaline-Treatment For Improved Performance In The Isomerization Of Glucose To Fructose. *Molecular Catalysis*, 510.