

**EKSTRAKSI DAN DEALUMINASI SILIKA DARI ABU AMPAS TEBU
(*Bagasse ash*) DENGAN PERLAKUAN ASAM NITRAT SEBAGAI
PREKURSOR UTAMA SINTESIS ZEOLIT ZSM-5**

(Skripsi)

Oleh

FATIMAH



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2017**

ABSTRAK

EKSTRAKSI DAN DEALUMINASI SILIKA DARI ABU AMPAS TEBU (*Bagasse ash*) DENGAN PERLAKUAN ASAM NITRAT SEBAGAI PREKURSOR UTAMA SINTESIS ZEOLIT ZSM-5

Oleh

Fatimah

Telah dilakukan penelitian tentang ekstraksi dan dealuminasi silika dari abu ampas tebu (SCBA) menggunakan asam nitrat dan selanjutnya digunakan sebagai prekursor utama dalam sintesis *Zeolite Secony Mobile-5* (ZSM-5). Silika yang diperoleh dari hasil ekstraksi dan dealuminasi dikarakterisasi dengan spektrofotometer *infra merah* (IR), *X-Ray diffraction* (XRD), dan *X-Ray Fluorescence* (XRF). Hasil karakterisasi menunjukkan adanya kandungan silika ditandai dengan adanya gugus siloksan dalam sampel yang ditunjukkan pada panjang gelombang 1078 cm^{-1} dan silika yang diperoleh berbentuk amorf, serta rasio Si/Al dalam silika sebesar 4,63. Rasio Si/Al dalam silika masih rendah maka pada silika dilakukan proses dealuminasi menggunakan asam nitrat dengan berbagai variasi konsentrasi dan didapat konsentrasi optimum yakni HNO_3 2 M dengan rasio Si/Al sebesar 51,37. Silika yang diperoleh dari proses dealuminasi dengan HNO_3 2 M digunakan sebagai sumber silika dalam mensintesis zeolit ZSM-5. Zeolit ZSM-5 telah berhasil disintesis dari silika *bagasse ash* yang telah didealuminasi, kemudian zeolit yang diperoleh dikarakterisasi. Hasil karakterisasi menunjukkan puncak yang tidak jauh berbeda dengan zeolit ZSM-5 hasil sintesis dari silika komersil dan zeolit ZSM-5 standar puncaknya yaitu $2\theta = 7,9; 8,05; \text{ dan } 23,26^\circ$. Rasio Si/Al sebesar 15,18 termasuk rasio yang cukup tinggi. Karakterisasi *Scanning Electron Microscopy* (SEM) diperoleh morfologi yang tidak jauh berbeda antara kedua sampel. Zeolit ZSM-5 dari silika komersil memiliki tingkat kristalinitas yang lebih tinggi dari pada zeolit dari silika *bagasse ash* yang masih mengandung fasa amorf didalamnya.

Kata Kunci : Ampas tebu (*bagasse*), Silika, Zeolit, Zeolit ZSM-5, Dealuminasi, Asam Nitrat.

ABSTRACT

SILICA EXTRACTION AND DEALUMINATION FROM SUGARCANE BAGGASE ASH (*Bagasse ash*) WITH NITRITIC ACID TREATMENT AS A MAIN PRECURSOR OF ZEOLITE ZSM-5 SYNTHESIS

By

Fatimah

It has been carried out the research of extraction and dealumination of silica from sugarcane bagasse ash (SCBA) with nitric acid and then used as the main precursor in synthesizing of Zeolite Secony Mobile-5 (ZSM-5). Silica obtained from the extraction and dealumination was characterized by an infrared spectrophotometer (IR), X-Ray diffraction (XRD), and X-Ray fluorescence (XRF). The results showed the presence of silica indicated the existency of siloxane groups in the sample at wavelength 1078 cm^{-1} and the amorphous silica has obtained with Si/Al ratio 4.63. Si/Al ratio is still low in silica, then silica was performed dealumination process with nitric acid in various concentrations and obtained the optimum concentration of HNO_3 2 M with Si/Al ratio 51.37. The result of silica from dealumination process with HNO_3 2 M was used as a silica source in synthesis of ZSM-5 zeolite. ZSM-5 zeolite was synthesized succesfully from dealumination of silica baggase ash, and then zeolite produced characterized. The result of characterization showed that the peaks are not too different from ZSM-5 zeolite synthesized from commercial silica and zeolite ZSM-5 standard having peak at $2\theta = 7.9; 8.05; \text{ and } 23.26^\circ$. Si/Al ratio at 15.18 is a high enough ratio. The result of characterization scanning electron microscopy (SEM) obtained morphology that is not much different between the two samples. ZSM-5 zeolite from a commercial silica has a higher degree of crystallinity than the zeolite of silica baggase ash still containing an amorphous phase.

Keywords: Bagasse (*baggase*), silica, zeolite, zeolite ZSM-5, dealumination, Nitrit Acid.

**DEALUMINASI SILIKA DARI ABU AMPAS TEBU (*Bagasse*) DENGAN
PERLAKUAN ASAM NITRAT SEBAGAI PREKURSOR UTAMA
SINTESIS ZEOLIT ZSM-5**

Oleh

FATIMAH

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
BANDARLAMPUNG
2017**

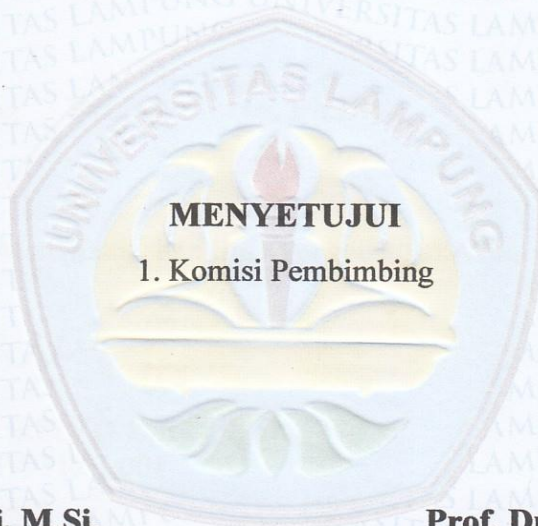
Judul Skripsi : **EKSTRAKSI DAN DEALUMINASI SILIKA DARI
ABU AMPAS TEBU (*Bagasse ash*) DENGAN
PERLAKUAN ASAM NITRAT SEBAGAI
PREKURSOR UTAMA SISTESIS ZEOLIT ZSM-5**

Nama Mahasiswa : **Fatimah**

No. Pokok Mahasiswa : 1317011022

Jurusan : Kimia

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing



Dr. Mita Rilyanti, M.Si.
NIP 19720530 200003 2 001



Prof. Dr. Buhani, M.Si.
NIP 19690416 199403 2 003

2. Ketua Jurusan Kimia FMIPA



Dr. Eng. Supto Dwi Yuwono, M.T.
NIP 19740705 200003 1 001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

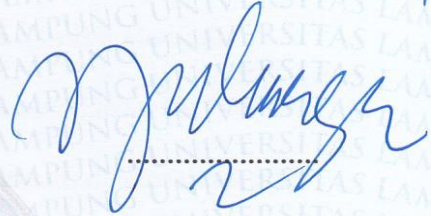
Ketua : **Dr. Mita Rilyanti, M.Si.**



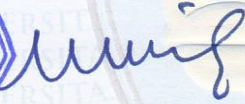
Sekretaris : **Prof. Dr. Buhani, M.Si.**



Penguji
Bukan Pembimbing : **Prof. Suharso, Ph.D.**



Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Prof. Warsito, S.Si., D.E.A., Ph.D.
NIP. 19710212 199512 1 001

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **11 Juli 2017**

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Desa Komring Agung, Kecamatan Gunung Sugih, Kabupaten Lampung Tengah, pada tanggal 07 Februari 1995, sebagai anak kesembilan dari sepuluh bersaudara pasangan Bapak Junaidi dan Ibu Hadijah.

Jenjang pendidikan diawali dari Sekolah Dasar (SD) di SDN 1 Gunung Sugih Lampung Tengah, diselesaikan pada tahun 2007. Sekolah Menengah Pertama (SMP) di SMPN 1 Gunung Sugih diselesaikan pada tahun 2010, dan Sekolah Menengah Atas (SMA) di SMAN 1 Gunung Sugih, diselesaikan pada tahun 2013. Tahun 2013 penulis diterima sebagai Mahasiswa Jurusan Kimia FMIPA Unila melalui jalur SNMPTN (Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri) dan merupakan penerima beasiswa PGN (PT. Gas Negara persero).

Selama menjadi mahasiswa, penulis pernah menjadi asisten praktikum kimia dasar jurusan teknik hasil pertanian fakultas pertanian tahun 2016, asisten praktikum kimia anorganik 2 angkatan 2014 tahun 2016. Penulis juga mengikuti aktivitas organisasi dimulai dengan menjadi kader muda HIMAKI (KAMI) 2013, penulis juga pernah menjadi anggota bidang sosial dan masyarakat HIMAKI FMIPA Unila tahun 2014-2015, anggota bidang sosial dan masyarakat HIMAKI FMIPA Unila tahun 2014-2015.

MOTTO

Fisik itu hanya sementara tapi ilmu akan kekal selamanya,,,, Ilmu mampu meninggikan drajat seseorang dan mempermudah seseorang menjalani hidupnya, investasi terbaik adalah jadilah orang berilmu, tapi jangan berharap kamu akan menjadi pintar karna semakin kau berilmu semakin kau tau betapa kosongnya dirimu (Andiarsyil).

Sebaik-baiknya manusia adalah yang paling bermanfaat bagi manusia lain (H.R Thabrani)

Bekerja keraslah dengan sungguh-sungguh dan berdo'alah dengan khusuk, maka hal luar biasa akan terjadi dalam hidupmu (Fatimah)

PERSEMBAHANKU....

الْحَمْدُ لِلَّهِ رَبِّ الْعَالَمِينَ وَرَحْمَةُ اللَّهِ وَبَرَكَاتُهُ

Dengan mengucap Alhamdulillahil'alamina kepada Allah SWT yang membolak-balikan hati.

Kupersembahkan goresan tinta dalam karya sederhana ini

Sebagai wujud syukur, tanggung jawabku, dan rasa terimakasihku terhadap kedua malaikat dalam hidupku, Buyah dan Umi yang tak pernah lelah berjabat dengan kasarnya gagang pacul, keringat, dan air mata yang selalu menjadi saksi akan perjuangannya dan kakak-kakakku serta adikku tercinta yang tak pernah bosan memberikan dukungan kepadaku. Buyah dan Umi, lewat karya ini aku ingin berterimakasih atas segala ketulusan, pengorbanan, serta kasih sayang yang tidak akan pernah terbayar sampai kapanpun, oleh apapun dan hanya rasa syukur serta ucapan terimakasihlah yang bisa aku berikan.

SANWACANA

Assalamualaikum wr. wb.

Puji syukur Penulis haturkan kepada Sang Pemberi Kehidupan, Allah SWT., karena atas seizin-Nya skripsi ini dapat diselesaikan.

Skripsi dengan judul "**EKSTRAKSI DAN DEALUMINASI SILIKA DARI ABU AMPAS TEBU (*Bagasse ash*) DENGAN PERLAKUAN ASAM NITRAT SEBAGAI PREKURSOR UTAMA SINTESIS ZEOLIT ZSM-5**"

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

Dalam pelaksanaan dan penulisan skripsi ini tidak lepas dari kesulitan dan rintangan, namun itu semua dapat penulis lalui karena Allah SWT. serta bantuan dan dorongan semangat dari orang-orang yang hadir dalam kehidupan penulis.

Dalam kesempatan ini, penulis menyampaikan terima kasih setulus-tulusnya kepada :

1. Allah SWT. Tuhan semesta alam yang telah memberikan kehidupan kepada penulis dan memberikan nikmat sehat untuk menyelesaikan skripsi ini.
2. Kedua orang tuaku (malaikat ku) yang sangat aku cintai dan aku sayangi Bapak (Junaidi) dan Ibu (Hadijah). Hanya terima kasih yang bisa aku ucapkan dan berikan kepada kalian. Pengorbanan kalian sungguh luar biasa

untuk membesarkanku. Terima kasih telah memberikan semangat kepada fatimah untuk menyelesaikan studi di jurusan Kimia dan menyelesaikan skripsi ini. Semoga Allah SWT membalas dengan *jannah-Nya, aamiin Allahumma aamiin;*

3. Ibu Dr. Mita Rilyanti, M. Si., selaku pembimbing I penelitian yang telah banyak memberikan nasihat, saran, ilmu, motivasi, perhatian, serta kesabaran dalam membimbing penulis dalam menyelesaikan skripsi ini dengan baik, semoga Allah SWT akan selalu memberikan kemudahan serta keberkahan atas ilmu yang telah diberikan.
4. Bapak Prof. Dr. Buhani, M.Si., selaku pembimbing II penelitian yang telah memberikan kritik, saran, dan arahan yang diberikan kepada penulis sehingga skripsi ini terselesaikan dengan baik. Semoga Allah SWT akan selalu memberikan pertolongan dan membalas semuanya dengan kebaikan.
5. Bapak Prof. Suharso, Ph.D., selaku penguji penelitian yang telah memberikan semangat, kritik, saran, dan arahan kepada penulis sehingga skripsi ini terselesaikan dengan baik. Semoga Allah SWT akan selalu memberikan pertolongan dan membalas semuanya dengan kebaikan.
6. Dr. Suropto Dwi Yuwono, M.T., selaku Ketua Jurusan Kimia FMIPA Unila.
7. Ibu Dra. Aspita Laila, M. S., selaku pembimbing akademik yang selalu memberikan bimbingan konseling berupa arahan dan masukan yang baik kepada penulis selama penulis menjadi mahasiswa.
8. Bapak dan Ibu dosen jurusan kimia FMIPA Unila yang telah mendidik dan memberikan ilmu pengetahuan, serta pengalaman yang sangat berguna

kepada penulis selama kuliah. Semoga Allah SWT akan membalasnya dengan kebaikan.

9. Kakak-kakakku tercinta Nur Baiti (unie), Berta Lina (kak'atu), Fauzi Saleh (ratu), alm. Bambang Suhairi (abang), Endang Komala sari (tete), Juli Romansyah (oda), Hendri Afriyadi (kakak), Sri Sumarni (yunda) terimakasih atas segala dukungan, nasehat, dan semangat yang kalian berikan kepadaku selama kuliah dan menyelesaikan skripsi ini, semoga kalian selalu diberikan keberkahan dan selalu dilindungi oleh Allah SWT.
10. Adik yang sangat rese' (Rostina). Karena rese' itu yang membuat gue kangen. Makasi udah memberikan semangat ke gue selama gue studi dan menyelesaikan skripsi ini. Tetep jadi adik yang "rese'".
11. Kepada kesebelas keponakanku Nando, Monika, Nia, Abel, Fajri, Dava, Daniel, Ahza, Zahra, Hana, dan Alif pasukan yang selalu mengobarkan semangat. Terimakasih atas canda dan tawa sebagai motivasi yang kalian berikan kepada penulis.
12. Teman-teman seperjuanganku Anggun F (panjul), Lulu N (loloks), Wahyuni (Mb bale), dan Mita S (sisibuk) yang selalu ada saat susah dan senang, salalu memberikan semangat, motivasi, nasihat, dan selalu berisik dimanapun berada, untuk Fentri (yanti) yang selalu cerewet tapi untuk kebaikan terimakasih untuk semuanya, semoga kita semua bisa mencapai puncak kesuksesan bersama.
13. Teman-teman satu perjuangan, "Grup *Baggase*", Anggi Widyawati (Jambu) siahli sintesis, Indah Tri Y (yang katanya princess) siahli bakar membakar, Nur Hastriyani (si jutek) siahli ekstraksi, Terima kasih banyak atas kerjasama,

masukannya, semangat, dan kekompakannya kalian selama ini serta telah membuat gue jadi seseorang yang “strong” menghadapi kalian yang mempunyai watak yang berbeda-beda.

14. Teman-teman terbaikku Fadila dwi A, Afriyani, Dian P, Nina D, dan teman-teman lainnya.
15. Temen seperjuangan di LAB Esti (si baik), Mawar (si nyebelin), widya (si rese' tapi baik kadang), linda, Renita, Nabila (jenab), dan Dewi R orang-orang yang paling berisik kalo kumpul dilab tapi kalo ga ada mereka “ga rame”
16. Teman-teman satu lab, Laboratorium Kimia Anorganik/Fisik, Ismi, Nova, Febri, Kartika, Dela, Yulia, Mita, Murnita, Melita, Mega, Radho, Awan, Eka, arif,. Terima kasih untuk kalian, karena kalian lah hari-hari gue di laboratorium menjadi lebih “berwarna” dan “hidup”.
17. My Best Chetir (Kimia 2013) : Doddy, Anggun, Jambu, Ahjumma, Cabe, Arief, Arni, Aol, Awan, Subadi, Paul, Della, Citra, Dewi, Dian, Dona, Eka M, Eka, Embung, Esti, Erza, Celli, Nia, Fatimah, Febri, Fentri, Fera, Diki, Fika, Gesa, Herma, Nora, Indah, Inggit, Ambal, Kartika, Dd nisa, Imah, Atun, Korina, Kurnia, Linda, Lulu, Dd Bara, Maya, Mega, Melia, Emak, Mia, Monic, Mawar, Umi, Ridho, Ines, Mb nita, Ledom, Mb Nanda, Dilla, Nurul, Oci, Tyas, Radho, Renita (Ahjumma), Eky, Amha, Riska, Kiki, Riyan, Shela, Mami, Sintia, Mbah, Nabil, Bunda, Cuni', Tika, Gita, Verdi, Netty, Vyna, Mb Balek, Widya, Yolanda, Yai, Yulia, Yunitri, Yuvicha, Vicka sebagai keluarga kedua. Semoga tali silaturahmi ini tetap terjaga, tak akan pernah putus, dan kita semua akan sukses, Aamiin;

18. Kepada Bapak Suhani dan istri beserta keluarga besar Uman Agung sebagai induk semang dalam kegiatan kuliah kerja nyata (KKN). Terimakasih atas segala kebaikan hatinya, semoga Allah SWT membalasnya dengan kebaikan pula dan temen-temen KKN.
19. *Bagasse Research Group*: Devi, Icha, Arum, Ainun, dan Cindy, tetaplah semangat menjalani proses
20. Kakak-kakak kimia 2012 serta adik-adik 2014, 2015, dan 2016
21. Terima kasih kepada Mbak Liza selaku PLP (Pranata Laboratorium Pendidikan) Laboratorium Kimia Anorganik/Fisik atas bantuan dan saran dalam kepada penulis dalam melaksanakan penelitian.
22. Teman-teman kostsan cantik Nisa ul (temen sekamarku), cici, ela, ica, aul, syica, sarah, dan laiali terimakasih atas semangat yang diberikan dan atas kekeluargaan yang terjalin selama ini.
23. Semua pihak yang telah membantu dan mendukung penulis dalam penyusunan skripsi ini. Terima kasih.

Akhir kata Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan. Penulis berharap semoga skripsi yang sederhana ini dapat berguna dan bermanfaat. Aamiin.

Wassalamualaikum wr. wb.

Bandar Lampung, 11 juli 2017
Penulis

Fatimah

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR TABEL	iii
DAFTAR GAMBAR	iv
I. PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang.....	1
B. Tujuan Penelitian	8
C. Manfaat Penelitian	9
II. TINJAUAN PUSTAKA	10
A. Ampas Tebu (<i>Sugarcane bagasse/ SCB</i>).....	10
B. Abu Ampas Tebu (<i>Sugarcane bagasse ash/ SCBA</i>).....	12
C. Ekstraksi Silika dari Ampas Tebu (<i>Sugarcane bagasse/ SCB</i>).....	14
D. Metode Pembakaran.....	15
E. Metode Tanpa Pembakaran	15
F. Silika	16
G. Metode Dealuminasi.....	18
H. Zeolit	20
I. Zeolit ZSM-5 (<i>Zeolite Secony Mobile-5</i>).....	23
J. Sintesis Zeolit	26
1. Komposisi molar pereaksi.....	26
2. Sumber Si dan Al	26
3. Rasio Si/Al	27
4. Alkalinitas (Kebasaan).....	27
5. Jumlah H ₂ O.....	28
6. Kation anorganik	28
7. Cetakan (<i>template</i>) organik	28
K. Sintesis Hidrotermal	29
L. Karakterisasi Material	30
a. <i>X-Ray Fluoresence (XRF)</i>	30
b. <i>X-Ray Diffraction (XRD)</i>	32
c. <i>Scanning Electron Microscope (SEM)</i>	33

III. METODOLOGI PENELITIAN	35
A. Waktu dan Tempat Penelitian.....	35
B. Alat dan Bahan.....	35
C. Prosedur Penelitian	36
a. Preparasi Abu Ampas Tebu (<i>baggage</i>).....	36
b. Ekstraksi Silika dari Abu Ampas Tebu	36
c. Dealuminasi Silika.....	37
d. Karakterisasi Silika	38
e. Sintesis zeolit ZSM-5	38
1. Sintesis zeolit ZSM-5 dari silika komersil	38
2. Sintesis zeolit ZSM-5 dari silika hasil ekstraksi.....	40
3. Karakterisasi zeolit hasil sintesis.....	41
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	42
A. Ekstraksi Silika dari Abu Ampas Tebu (<i>sugarcane baggage/SCB</i>).....	42
B. Karakterisasi Silika Hasil Ekstraksi	46
1. <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	46
2. Spektrofotometer <i>Infra Merah</i> (IR)	47
3. <i>X-Ray Fluorescence</i> (XRF)	50
C. Dealuminasi Silika Hasil Ekstraksi	51
D. Karakterisasi Silika Hasil Dealuminasi.....	53
E. Sintesis dan Karakterisasi Zeolit ZSM-5.....	56
1. Sintesis Zeolit ZSM-5 menggunakan silika komersil	56
2. Karakterisasi Zeolit ZSM-5 dari silika komersil	57
1. <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD)	57
2. <i>X-Ray Fluorescence</i> (XRF).....	58
F. Sintesis dan Karakterisasi Zeolit ZSM-5	59
a. Sintesis zeolit ZSM-5 menggunakan silika hasil dealuminasi.....	59
b. Karakterisasi.....	61
1. <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	61
2. <i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM).....	63
3. <i>X-Ray Fluorescence</i> (XRF).....	65
V. SIMPULAN DAN SARAN	67
A. Simpulan	67
B. Saran.....	68
DAFTAR PUSTAKA	69
LAMPIRAN.....	76

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Ampas tebu	10
2. Abu ampas tebu	13
3. Mekanisme reaksi pembentukan natrium silikat	15
4. Struktur tetrahedral silika.....	18
5. Struktur dasar tetrahedral zeolit	21
6. Mekanisme pembentukan zeolit.....	22
7. Mekanisme fase padat zeolit	22
8. Spektrum difraksi sinar-X zeolit ZSM-5.....	25
9. Autoklaf	29
10. <i>X-Ray Fluorescence</i> (XRF)	31
11. <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	33
12. <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM)	34
13. Perlakuan awal ampas tebu	43
14. Perlakuan ampas tebu menggunakan asam sitrat 5% (a) Penyaringan ampas tebu setelah perlakuan asam (b)	43
15. Kondisi larutan saat hidrogel silika terbentuk (a) Pengendapan hidrogel setelah dibiarkan 24 jam	44
16. Silika hasil ekstraksi dari abu ampas tebu.....	45
17. Difraktogram silika hasil ekstraksi.....	46

18. Spektra Inframerah dari silika hasil ekstraksi abu ampas tebu	48
19. Perubahan penurunan berat silika setelah didealuminasi	52
20. Proses dealuminasi silika menggunakan <i>oilbath</i> (a) Silika yang diperoleh setelah dioven (b)	53
21. Grafik rasio Si/Al dealuminasi dengan variasi konsentrasi HNO ₃	55
22. Autklaf yang digunakan dalam mensintesis zeolit (a) Zeolit yang diperoleh dari sintesis	57
23. Pola difraksi zeolit ZSM-5 standar (a) Difraktogram benih zeolit ZSM-5 hasil sintesis dari sumber silika komersil.....	57
24. Autoklaf yang digunakan dalam mensintesis zeolit (a) Zeolit yang diperoleh dari sintesis (b)	60
25. Pola difraksi zeolit ZSM-5 standar (a) Pola difraksi hasil sintesis zeolit dari silika komersil (b) Hasil sintesis zeolit dengan sumber silika abu ampas tebu hasil dealuminasi dengan HNO ₃ 2 M (c)	61
26. Morfologi sampel zeoli ZSM-5 dari silika komersil dengan perbesaran (a) 2000 kali dan (b) 4000 dan ZSM-5 dari silika <i>bagasse ash</i> , (c) 3000 kali dan (d) 5000 kali	63

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Komposisi kimia ampas tebu	11
2. Komposisi kadar abu ampas tebu (<i>baggase ash</i>)	13
3. Data zeolit MFI	24
4. Data zeolit ZSM-5	24
5. Komposisi molar pereaksi sintesis zeolit ZSM-5 silika komersil.....	38
6. Perhitungan komposisi molar pereaksi untuk sintesis zeolit	39
7. Komposisi molar pereaksi sintesis zeolite ZSM-5 silika <i>baggase ash</i>	40
8. Perhitungan komposisi molar pereaksi untuk sintesis zeolit	41
9. Komposisi senyawa dalam silika hasil ekstraksi	50
10. Karakteristik Silika Hasil Dealuminasi dengan Berbagai Konsentrasi.....	52
11. Komposisi silika hasil dealuminasi HNO ₃ variasi konsentrasi	54
12. Komposisi zeolit ZSM-5 dari silika komersil	59
13. Komposisi zeolit ZSM-5 dari silika <i>baggase ash</i>	65

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Di Indonesia, setidaknya terdapat 64 buah pabrik gula yang hingga saat ini masih beroperasi dengan berbagai kapasitas produksi dan menghasilkan sisa pembakaran ampas tebu pada ketel yaitu berupa abu ampas tebu dalam jumlah yang sangat banyak. Jumlah produksi abu ampas tebu kira-kira 0,3% dari berat tebu, sehingga apabila sebuah pabrik gula memiliki kapasitas 5000 ton per hari maka abu ampas tebu yang dihasilkan sebesar 15 ton per hari (Akhinov *et al.*, 2010) sedangkan di Indonesia sendiri pabrik gula memproduksi tebu sekitar 34,5 juta ton dan gula yang dihasilkan sekitar 2,8 juta ton, dan telah mampu memenuhi konsumsi gula rumah tangga dalam negeri (sekitar 2,7 juta ton per tahun) untuk semua pabrik yang ada di Indonesia, dengan produksi tebu tersebut menghasilkan potensi ampas tebu sebesar 6 juta ton per tahun (Migo, 1993). Untuk pabrik gula di Lampung berdasarkan hasil survey di PT. Gunung Madu Plantations, Lampung minimal ampas tebu yang dihasilkan dari industri gula mencapai 100 ton/tahun, dan diperkirakan untuk PT. Gula Putih Mataram dan PT. Indo Lampung juga memiliki kapasitas ampas tebu yang sama (Wyman, 1994).

Sementara itu dari Pusat Penelitian Perkebunan Gula Indonesia (P3GI), ampas tebu yang dihasilkan sebanyak 32% dari berat tebu yang digiling. Dari jumlah tersebut, 60% digunakan untuk bahan bakar ketel sedangkan kelebihanannya dijual dan banyak dimanfaatkan untuk pakan ternak, bahan baku pembuatan pupuk, bahan baku pembuatan kertas, media pertumbuhan jamur merang dan industri pembuatan papan-papan buatan. Nilai ekonomi yang diperoleh dari pemanfaatan ampas tebu tersebut masih cukup rendah (Mubin dan Fitriadi, 2005).

Sekitar 54 juta ton ampas tebu kering dihasilkan setiap tahun di seluruh dunia (Huang *et al.*, 2012). Ampas tebu mengandung senyawa organik sekitar 50 selulosa, 25 hemiselulosa, dan 25% lignin (Hajiha *et al.*, 2015). Ampas tebu berbentuk serat-serat pendek yang mengandung air dan sejumlah kecil padatan yang dapat larut. Secara umum, ampas tebu memiliki ukuran panjang 1,2 mm (Hajiha *et al.*, 2015). Abu ampas tebu merupakan material sampah padatan non biodegradasi. Abu ampas tebu biasanya digunakan sebagai pupuk dalam perkebunan tetapi tidak memiliki nutrisi mineral yang memadai untuk tujuan ini (Sales *et al.*, 2010).

Abu ampas tebu mengandung konsentrasi silika sekitar 50-70%. Silika dari abu ampas tebu dapat dijadikan sebagai sumber silika untuk sintesis material berbasis silika seperti sintesis zeolit (Moises *et al.*, 2013). Selain itu juga silika dapat digunakan sebagai bahan dasar pembuatan keramik, zat aditif untuk semen, beton, dan campuran mortar, serta pembuatan

keramik lempung (*clay*) (Faria *et al.*, 2012). Oleh karena itu, dilakukan ekstraksi pada ampas tebu untuk memperoleh silika dari ampas tebu.

Untuk memproduksi silika dari biomassa dapat dilakukan dengan proses *leaching* secara kimia dan proses pembakaran untuk menghilangkan karbon (Atta *et al.*, 2012). Proses ekstraksi silika didasarkan pada karakteristik kelarutan silika. Kelarutan silika sangat rendah pada $\text{pH} < 10$ tetapi meningkat tajam pada $\text{pH} > 10$. Silika dalam abu ampas tebu dapat dilarutkan dengan larutan alkali sambil dipanaskan untuk membentuk natrium silikat dan kemudian dapat mengendap pada pH rendah dengan menambahkan asam (Nazriati *et al.*, 2014). Untuk mendapatkan silika murni dari suatu biomassa maka dapat dilakukan dengan metode pembakaran dan tanpa pembakaran. Silika yang baik diperoleh pada metode pembakaran, maka pada penelitian ini digunakan metode pembakaran.

Ekstraksi secara non-termal dapat dilakukan dengan menggunakan bahan kimia yaitu suatu oksidator kuat seperti hidrogen peroksida (H_2O_2) atau asam kuat seperti asam sulfat (H_2SO_4), asam klorida (HCl), dan asam nitrat (HNO_3). Perlakuan asam biasanya diberikan sebagai perlakuan awal terhadap biomassa untuk menghasilkan silika dengan tingkat kemurnian yang tinggi. Senyawa-senyawa anorganik yang terdapat dalam ampas tebu harus dihilangkan sebelum pembakaran karena dapat menghambat pembentukan silika. Selain senyawa anorganik, perlakuan dengan asam juga dapat menghilangkan senyawa-senyawa organik seperti

selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Melalui hidrolisis terjadi pemecahan ikatan kimia polisakarida.

Pembakaran ampas tebu akan menghasilkan abu yang berwarna abu-abu hingga putih untuk pembakaran yang sempurna dan berwarna kehitaman untuk pembakaran yang tidak sempurna. Kontrol terhadap temperatur dan lingkungan saat pembakaran akan memberikan pengaruh terhadap kualitas abu ampas tebu yang dihasilkan yang terlihat dari ukuran partikel dan luas spesifik permukaannya. Pembakaran ampas tebu ditempat terbuka dapat menghasilkan kualitas abu yang buruk dan juga menyebabkan polusi (Chandra *et al.*, 2012).

Dari 1000 kg tebu dihasilkan 250 kg ampas tebu dan dari pembakaran ampas tebu tersebut dihasilkan 6 kg abu ampas tebu (Souza *et al.*, 2011). Sehingga silika yang diperoleh dari metode pembakaran lebih baik dari pada dengan metode tanpa pembakaran. Silika dari abu ampas tebu (*baggase ash*) dapat digunakan sebagai bahan baku utama, misalnya digunakan dalam industri gelas atau kaca, semen, tegel, mosaik keramik, bahan baku fero silikon, silikon carbide bahan abrasit (ampelas dan *sand blasting*), sedangkan sebagai bahan ikutan, misal dalam industri cor, industri perminyakan dan pertambangan, bata tahan api (refraktori), dan lain sebagainya. Selain itu silika merupakan bahan baku atau prekursor utama dalam sintesis zeolit (Moises *et al.*, 2013).

Zeolit dapat terbentuk di alam secara alami dan ditambang secara global namun juga dapat disintesis dalam skala laboratorium. Zeolit

dapat disintesis dalam skala laboratorium, salah satunya dengan menggunakan metode hidrotermal. Sintesis secara hidrotermal biasanya terjadi dalam pelarut air dengan kondisi suhu dan tekanan yang tinggi ($>100\text{ }^{\circ}\text{C}$, $>1\text{ bar}$). Metoda hidrotermal telah banyak dikembangkan tidak hanya untuk sintesis material berpori seperti zeolit tetapi juga untuk material anorganik penting seperti superionik konduktor, sensor kimia, keramik oksida kompleks, dan material magnetik (Cejka *et al.*, 2007). Zeolit merupakan material mikropori kristalin tiga dimensi tersusun atas struktur tetrahedral silika (SiO_4) dan alumina (AlO_4)⁻ membentuk suatu kerangka (*framework*) yang mempunyai pori dan rongga (Atta *et al.*, 2012). Pori dan rongga pada zeolit terisi oleh kation dan molekul air yang dapat bergerak bebas. Zeolit alam merupakan zeolit yang ditambang secara langsung dari alam dan terbentuk karena adanya proses kimia dan fisika kompleks dari batuan yang mengalami berbagai macam perubahan di alam.

ZSM-5 (*Zeolite Secony Mobile-5*) merupakan salah satu jenis zeolit yang banyak digunakan secara luas seperti, sebagai katalis di dalam penyulingan minyak, dalam produksi bahan kimia melalui aromatisasi, alkilasi, perengkahan katalitik, dan lain sebagainya (Hagen, 2000). Secara konvensional, zeolit juga telah dimanfaatkan dalam berbagai bidang, seperti adsorben (Damjanovic *et al.*, 2010; Lee *et al.*, 2012; Cheng *et al.*, 2013), agen penukar kation (Biskup dan Subotic, 2004; Wang *et al.*, 2008; Hou *et al.*, 2012), maupun katalis (Tukur dan Al-Khattar, 2011; Hu *et al.*, 2012; Wu *et al.*, 2013, Corma *et al.*, 2013; Fuentes-Ordonez *et al.*, 2014).

Penggunaan lebih lanjut terhadap zeolit pun telah marak dilakukan, seperti material optik-elektronik (Sauer *et al.*, 2001), penangkap karbon (Chatti *et al.*, 2009; Gkanas *et al.*, 2014; Thang *et al.*, 2014), serta membran (Lee dan Dutta, 2002; Huang *et al.*, 2013; Wang *et al.*, 2014).

ZSM-5 termasuk dalam zeolit dengan rasio Si/Al yang cukup tinggi.

ZSM-5 merupakan material yang seluruh strukturnya mempunyai struktur pori dua dimensi yang menyilang. ZSM-5 mempunyai dua jenis pori, keduanya dibentuk oleh oksigen cincin enam. Jenis pori yang pertama berbentuk lurus dan elips. Jenis pori yang kedua porinya lurus pada sudut kanan, polanya zig-zag dan melingkar. ZSM-5 merupakan salah satu zeolit dengan kerangka tipe MFI, memiliki diameter pori 0,54 nm dan rasio Si/Al bervariasi dari 10 sampai ratusan. Zeolit ini biasa disintesis dengan menggunakan kation Na^+ sebagai ion penyeimbang kerangka yang bermuatan negatif. Ion Na^+ dapat ditukar dengan kation lain yang dapat memasuki pori dalam modifikasi zeolit (Petushkov *et al.*, 2011).

Sintesis zeolit biasanya dilakukan dengan menggunakan sumber silika dan alumina yang memiliki fasa amorf karena silika amorf lebih reaktif dibandingkan silika kristalin. Pembakaran ampas tebu menyebabkan penurunan jumlah senyawa organik dan senyawa volatil lain sehingga mengakibatkan terjadinya kristalisasi fasa amorf (Moises *et al.*, 2013). Pada penelitian yang dilakukan Aisyah (2015) telah disintesis zeolit menggunakan silika dengan fase amorf hasil ekstraksi dari abu ampas tebu (*baggase ash*) dengan NaOH menggunakan metode pembakaran yang

menghasilkan silika berwarna putih bersih dengan kandungan silika SiO_2 sebesar 69,089 % dan Al_2O_3 sebesar 29,171 % diperoleh kandungan Si/Al 9,262 %. Pada penelitian tersebut kandungan alumuniumnya masih cukup besar untuk sintesis zeolit, maka diperlukan penelitian lebih lanjut tentang penurunan konsentrasi alumina pada silika, salah satu metodenya yaitu dealuminasi. Metode dealuminasi silika adalah metode yang digunakan untuk menurunkan kadar Al_2O_3 yang terkandung didalam silika yang telah diperoleh dari hasil ekstraksi abu ampas tebu (*baggase ash*) sehingga rasio Si/Al meningkat antara (10-100).

Proses dealuminasi selain untuk meningkatkan rasio Si/Al juga suatu metode yang digunakan untuk menjaga stabilitas struktur pori dan menghilangkan alumina dari silika agar katalis ini tidak mudah mengalami deaktivasi. Proses dealuminasi biasanya dilakukan dengan menambah sejumlah asam (misalnya amonium klorida, asam klorida, asam fluorida, asam nitrat, dan sebagainya) pada zeolit (Maharani, 2011), selain itu juga dapat digunakan agen pengkhelat seperti EDTA (Sherrington, 2011), jika didealuminasi dengan agen pengkhelat (EDTA) maka senyawa yang dihasilkan merupakan senyawa kompleks, senyawa kompleks biasanya merupakan padatan maka sulit untuk dipisahkan, sehingga zeolit yang dihasilkan tidak murni sedangkan dealuminasi dengan asam akan mudah dipisahkan zeolit yang diperoleh lebih murni. Dealuminasi merupakan salah satu metode aktivasi secara kimia. Aktivasi dapat dilakukan baik secara fisika maupun secara kimia, aktivasi secara fisika dilakukan melalui pengecilan ukuran butir, pengayakan, dan

pemanasan pada suhu tinggi, tujuannya untuk menghilangkan pengotor-pengotor organik, memperbesar pori, dan memperluas permukaan, sedangkan aktivasi secara kimia dilakukan melalui pengasaman dengan tujuan untuk menghilangkan pengotor anorganik. Berdasarkan uraian diatas, maka pada penelitian ini akan dipelajari proses dealuminasi pada silika dengan variasi konsentrasi. Silika yang diperoleh akan digunakan sebagai prekursor utama untuk sintesis ZSM-5.

B. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dilakukan penelitian ini antara lain :

1. Mengekstraksi silika dari abu ampas tebu (*baggage ash*)
2. Mempelajari proses dealuminasi dan karakterisasi pada silika hasil ekstraksi dari ampas tebu.
3. Melakukan sintesis zeolit dengan penambahan benih secara hidrotermal dengan sumber silika dari abu ampas tebu hasil dealuminasi.
4. Mempelajari karakterisasi zeolit hasil sintesis.

C. Manfaat penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai kandungan silika dari ampas tebu (*bagasse ash*) dan dapat memberikan informasi mengenai proses dealuminasi terhadap silika untuk menurunkan kandungan alumina dan meningkat rasio Si/Al pada silika yang digunakan untuk mensintesis zeolit ZSM-5.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Ampas Tebu (*Sugarcane Bagasse ash/SCBA*)

Ampas tebu merupakan limbah yang dihasilkan dari industri gula dan etanol. Sekitar 54 juta ton ampas tebu kering dihasilkan setiap tahun diseluruh dunia (Huang *et al.*, 2012). Ampas tebu mengandung senyawa organik sekitar 50 selulosa, 25 hemiselulosa, dan 25% lignin (Hajiha *et al.*, 2015). Ampas tebu berbentuk serat-serat pendek yang mengandung air dan sejumlah kecil padatan yang dapat larut (Gambar 1). Secara umum, ampas tebu memiliki ukuran panjang 1,2 mm (Hajiha *et al.*, 2015).



Gambar 1. Ampas tebu.

Selain itu Husin (2007) menambahkan, berdasarkan data dari Pusat Penelitian Perkebunan Gula Indonesia (P3GI) limbah ampas tebu yang dihasilkan dari pabrik gula sebanyak 32% dari berat tebu giling. Diperkirakan juga sekitar 1,8 juta ton pertahun limbah ampas tebu dapat dihasilkan dari pabrik gula dan diperkirakan sebanyak 45% dari ampas tebu tersebut belum dimanfaatkan, sehingga dapat mengganggu lingkungan. Ampas tebu itu sendiri digunakan karena mengandung silika. Menurut Husin (2007) hasil analisis serat ampas tebu adalah seperti dalam Tabel 1 berikut:

Tabel 1. Komposisi kimia ampas tebu.

Kandungan	Kadar (%)
Abu	3,82
Lignin	22,09
Selulosa	37,65
Sari	1,81
Pentosan	27,97
SiO ₂	3,01

Limbah ampas tebu telah dimanfaatkan sebagai bahan penguat dalam material komposit karena berhubungan dengan sifat mekanik dan termal selain berbiaya rendah dan juga ramah lingkungan (*green processes*) (Loh *et al.*, 2013).

Selain itu, ampas tebu juga dimanfaatkan dalam memproduksi senyawa kimia seperti furfural atau hidroksimetil furfural (HMF), senyawa fenolik, dan bahan pembuat kertas (Ju *et al.*, 2011). Secara tradisional ampas tebu digunakan sebagai bahan bakar pada tangki pemanas di pabrik gula. Namun karena rendahnya kalori yang dihasilkan, pemanfaatan ini menjadi tidak efisien. Sehingga biasanya dibutuhkan lahan kosong untuk pembuangan ampas tebu yang menyebabkan salah satu masalah penanganan dampak lingkungan (Verma *et al.*, 2012).

B. Abu Ampas Tebu (*Sugarcane bagasse ash/SCBA*)

Pembakaran ampas tebu menghasilkan abu ampas tebu. Dari 1000 kg tebu dihasilkan 250 kg sampah ampas tebu dan pembakaran ampas tebu tersebut menghasilkan 6 kg abu ampas tebu (Souza *et al.*, 2011). Abu ampas tebu (Gambar 2) mengandung material sampah padat yang kaya dengan silika kristalin (Faria *et al.*, 2012). Abu ampas tebu mengandung kadar silika cukup tinggi yaitu sekitar 50-70%.

Kandungan silika abu ampas tebu tidak mempunyai nilai yang pasti, berbeda-beda berdasarkan jenis tanah area tebu tersebut ditanam. Selain kadar silika, abu ampas tebu juga mengandung aluminium, besi, logam alkali, dan alkali tanah dalam jumlah yang kecil (Souza *et al.*, 2011).



Gambar 2. Abu ampas tebu (SCBA)

Kemudian komposisi dari abu ampas tebu dapat dilihat pada Tabel 2 berikut:

Tabel 2. Komposisi kadar *baggage ash*.

Komposisi	%Berat
SiO ₂	73,5
Al ₂ O ₃	7,6
Fe ₂ O ₃	2,7
CaO	3,0
MgO	2,6
K ₂ O	7,1
P ₂ O ₃	1,7

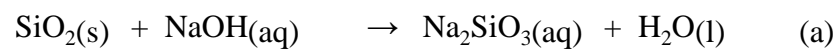
Sumber : Paturau dalam Setyawan, 2006 :4

Abu ampas tebu adalah material sampah padatan non-biodegradasi, biasanya digunakan sebagai pupuk dalam perkebunan tetapi tidak memiliki nutrisi mineral memadai untuk tujuan ini (Sales *et al.*, 2010).

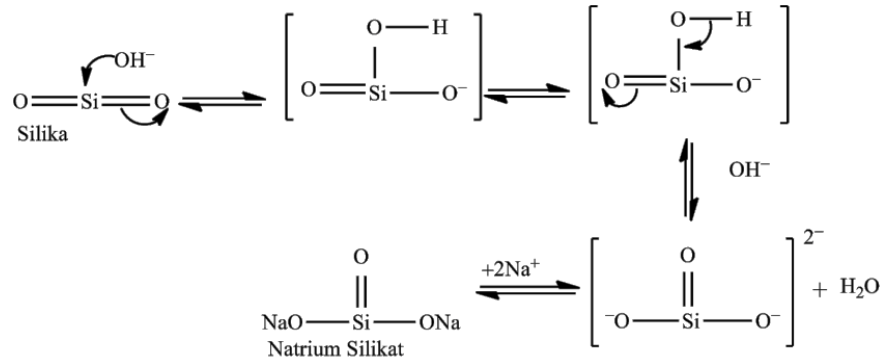
C. Ekstraksi Silika dari Ampas Tebu

Untuk memproduksi silika dari biomassa dapat dilakukan dengan proses *leaching* secara kimia dan proses pembakaran untuk menghilangkan karbon (Atta *et al.*, 2012). Proses ekstraksi silika didasarkan pada karakteristik kelarutan silika. Kelarutan silika sangat rendah pada $\text{pH} < 10$ tetapi meningkat tajam pada $\text{pH} > 10$. Silika dalam abu ampas tebu dapat dilarutkan dengan larutan alkali sambil dipanaskan untuk membentuk natrium silikat dan kemudian dapat mengendap pada pH rendah dengan menambahkan asam (Nazriati *et al.*, 2014). Untuk mendapatkan silika murni dari suatu biomassa maka dapat dilakukan dengan metode pembakaran dan tanpa pembakaran.

Ekstraksi silika dilakukan dengan memanaskan abu ampas tebu bersama larutan NaOH karena silika dapat larut dalam alkali (Moises *et al.*, 2013). Reaksi antara silika dengan larutan NaOH dapat dilihat pada persamaan berikut :



Sedangkan mekanisme reaksinya dapat dilihat pada Gambar 3, sebagai berikut :



Gambar 3. Mekanisme reaksi pembentukan natrium silikat (Yusuf *et al.*, 2014).

D. Metode Pembakaran

Pembakaran ampas tebu akan menghasilkan abu yang berwarna abu-abu hingga putih untuk pembakaran yang sempurna dan berwarna kehitaman untuk pembakaran yang tidak sempurna. Kontrol terhadap temperatur dan lingkungan saat pembakaran akan memberikan pengaruh terhadap kualitas abu ampas tebu yang dihasilkan yang terlihat dari ukuran partikel dan luas spesifik permukaannya. Pembakaran ampas tebu ditempat terbuka dapat menghasilkan kualitas abu yang buruk dan juga menyebabkan polusi (Chandra *et al.*, 2012).

E. Metode Tanpa Pembakaran

Ekstraksi silika secara non-termal dapat dilakukan dengan menggunakan bahan kimia yaitu suatu oksidator kuat seperti hidrogen peroksida (H₂O₂)

atau asam kuat seperti asam sulfat (H_2SO_4), asam klorida (HCl), dan asam nitrat (HNO_3). Metode non-termal biasanya diberikan sebagai perlakuan awal terhadap biomassa untuk menghasilkan silika dengan tingkat kemurnian yang tinggi. Senyawa-senyawa anorganik yang terdapat dalam ampas tebu harus dihilangkan sebelum pembakaran karena dapat menghambat pembentukan silika.

Selain senyawa anorganik, perlakuan dengan asam juga dapat menghilangkan senyawa-senyawa organik seperti selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Melalui hidrolisis terjadi pemecahan ikatan kimia polisakarida. Namun demikian, metode non-termal jarang digunakan karena proses penghilangan pengotor berlangsung relatif lama, oksidator asam dapat menyebabkan korosi, butuh perlakuan khusus untuk pembuangan limbah sehingga membutuhkan biaya yang cukup tinggi (Chandra *et al.*, 2012).

F. Silika

Silika adalah senyawa kimia dengan rumus molekul SiO_2 (*silicon dioxida*) yang dapat diperoleh dari silika mineral, nabati dan sintesis kristal. Silika mineral adalah senyawa yang banyak ditemui dalam bahan tambang/galian yang berupa mineral seperti pasir kuarsa, granit, dan *fledsfar* yang mengandung kristal-kristal silika (SiO_2) (Bragmann and Goncalves, 2006; Della *et al.*, 2002). Selain terbentuk secara alami, silika dengan struktur kristal tridimit dapat diperoleh dengan cara memanaskan pasir kuarsa pada suhu $870\text{ }^\circ\text{C}$ dan bila pemanasan dilakukan pada suhu

1470 °C dapat diperoleh silika dengan struktur kristobalit (Cotton and Wilkinson, 1989). Silika juga dapat dibentuk dengan mereaksikan silikon dengan oksigen atau udara pada suhu tinggi (Iler, 1979).

Silika terbentuk melalui ikatan kovalen yang kuat serta memiliki struktur dengan empat atom oksigen terikat pada posisi sudut tetrahedral di sekitar atom pusat yaitu atom silikon. Gambar 4 memperlihatkan struktur silika tetrahedral. Pada umumnya silika dalam bentuk amorf terhidrat, namun bila pembakaran berlangsung terus-menerus pada suhu di atas 650°C maka tingkat kristalinitasnya akan cenderung naik dengan terbentuknya fasa *quartz*, *crystobalite*, dan *tridymite* (Hara, 1986). Bentuk struktur *quartz*, *crystobalite*, dan *tridymite* yang merupakan jenis kristal utama silika memiliki stabilitas dan kerapatan yang berbeda (Brindley and Brown, 1980).

Secara umum silika digunakan di berbagai industri seperti industri pasta gigi, perawatan kulit, dan pelapisan kertas baik sebagai produk akhir maupun sebagai bahan penunjang proses industri (Affandi *et al.*, 2009). Selain itu silika saat ini banyak digunakan sebagai prekursor utama dalam sintesis zeolit (Moises *et al.*, 2013).



Gambar 4. Struktur silika tetrahedral (Anonim A, 2013).

G. Metode Dealuminasi

Proses dealuminasi merupakan suatu metode untuk menjaga stabilitas struktur pori dan menghilangkan alumina dari *framework* zeolit agar katalis ini tidak mudah mengalami deaktivasi. Proses dealuminasi biasanya dilakukan dengan menambah sejumlah asam (misalnya amonium klorida, asam klorida, asam fluorida, asam nitrat, dan sebagainya) pada zeolit (Maharani, 2011).

Dealuminasi adalah metode komersial yang paling penting untuk mendapatkan jumlah Al yang diinginkan. Kenaikan rasio Si/Al akan memberikan pengaruh terhadap sifat-sifat zeolit seperti berikut:

1. Terjadinya perubahan medan magnet elektrostatik dalam zeolit, sehingga mempengaruhi interaksi adsorpsi zeolit. Zeolit bersilika rendah akan bersifat hidrofilik sementara zeolit bersilika tinggi bersifat hidrofobik dan lipofilik.

2. Zeolit bersilika rendah (zeolit A dan X) dapat stabil pada temperatur 800-900 K, sedangkan zeolit bersilika tinggi (H-ZSM-5) stabil hingga temperatur 1300 K.
3. Zeolit bersilika rendah mudah rusak pada pH kurang dari 4, sedangkan zeolit bersilika tinggi lebih stabil dalam lingkungan asam kuat
4. Kekuatan asam akan meningkat, sedangkan sisi Asam Bronsted akan berkurang dengan naiknya rasio Si/Al. Kekuatan asam ini disebabkan oleh posisi aluminium dalam kerangka yang lebih terisolasi. Menurut Triantafillidis (2000), semakin banyak kandungan Al dalam *framework* zeolit (rasio Si/Al menurun) akan menyebabkan kekuatan atau total situs asam zeolit menurun. Sehingga berdasarkan data tersebut dapat dinyatakan bahwa dealuminasi akan menyebabkan peningkatan keasaman zeolit. Keasaman yang dimaksud adalah kekuatan asam yang terdapat pada permukaan zeolit atau banyaknya situs asam yang terdapat pada permukaan zeolit.

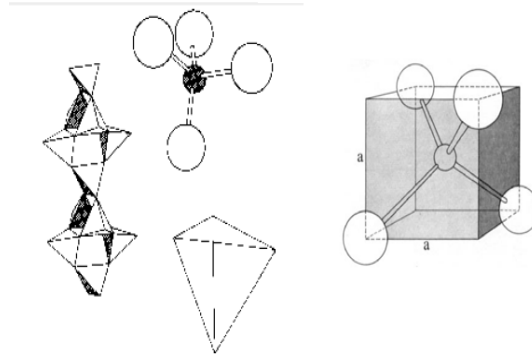
Menurut Sherrington (2001), metode yang dapat digunakan untuk dealuminasi zeolit yaitu sebagai berikut:

1. Perlakuan hidrotermal
2. Perlakuan kimia
 - a. Dealuminasi dengan penyisipan Si
 - b. Dealuminasi tanpa penyisipan Si
 - Bantuan asam (HCl dan HNO₃)
 - Bantuan agen pengkhelat (EDTA)

H. Zeolit

Zeolit merupakan mineral multifungsi, salah satu fungsinya adalah sebagai katalis. Zeolit katalis umumnya mempunyai rasio Si/Al tinggi (>10) sehingga dapat digunakan sebagai katalis reaksi-reaksi organik seperti konversi hidrokarbon (misalnya *hydro-cracking*), perubahan metanol menjadi gasolin, dll. Selama ini bahan katalis yang digunakan di Indonesia masih berasal dari bahan impor, sedangkan Indonesia kaya akan bahan-bahan alam seperti zeolit yang bisa dimodifikasi menjadi bahan katalis (Handhoyo *et al.*, 2005).

Selain itu juga, zeolit merupakan material mikropori kristalin tiga dimensi tersusun atas struktur tetrahedral silika (SiO_4) dan alumina (AlO_4)⁻. Gambar 5 membentuk suatu kerangka (*framework*) yang mempunyai pori dan rongga (Atta *et al.*, 2012). Pori dan rongga pada zeolit terisi oleh kation dan molekul air yang dapat bergerak bebas. Zeolit dapat terjadi secara alami namun dapat juga disintesis dalam skala laboratorium. Zeolit alam merupakan zeolit yang ditambang secara langsung dari alam dan terbentuk karena adanya proses kimia dan fisika kompleks dari batuan yang mengalami berbagai macam perubahan di alam. Namun demikian zeolit alam memiliki beberapa kelemahan, diantaranya mengandung banyak pengotor serta tingkat kristalinitas yang kurang baik sehingga untuk mengaplikasikan zeolit alam harus diaktivasi terlebih dahulu. Kondisi ini menyebabkan zeolit alam memiliki harga yang lebih murah dibandingkan zeolit sintesis (Lestari, 2010).

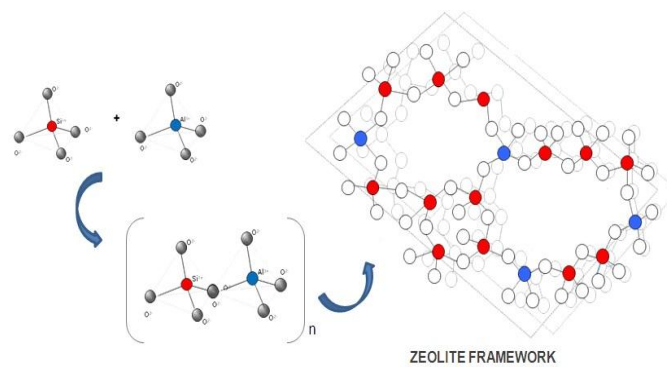


Gambar 5. Stuktur dasar kerangka zeolit tetrahedral (Anonim A, 2013).

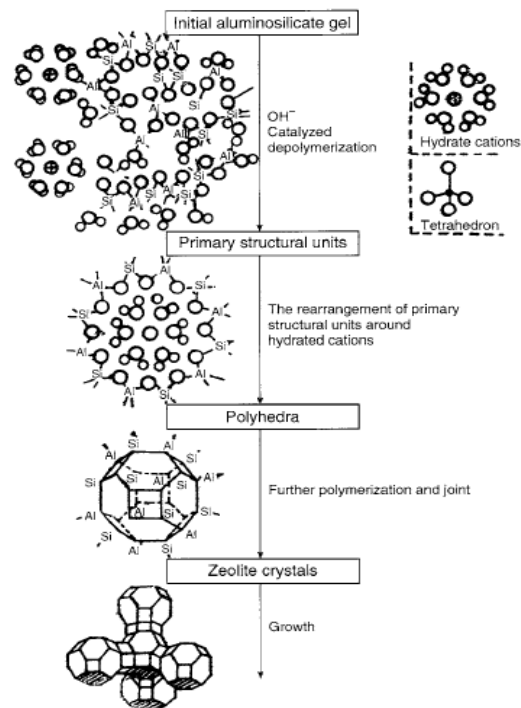
Karena sifat-sifat yang dimiliki oleh zeolit, maka mineral ini dapat dimanfaatkan dalam berbagai bidang, seperti dalam bidang industri yaitu sebagai bahan yang dapat digunakan untuk membantu pengolahan limbah pabrik. Masalah limbah industri semakin meresahkan masyarakat, sehingga banyak dilakukan usaha-usaha untuk mengatasi pencemaran limbah ini, baik itu dengan mengurangi volume limbah yang terbuang ataupun dengan mendaur ulang kembali limbah tersebut. Zeolit sintetis adalah suatu senyawa kimia yang mempunyai sifat fisik dan kimia yang sama dengan zeolit alam. Zeolit ini dibuat dari bahan lain dengan proses sintetis. Karena secara umum zeolit mampu menyerap, menukar ion dan menjadi katalis, membuat zeolit sintetis ini dapat dikembangkan untuk keperluan alternatif pengolahan limbah.

Parameter kimia yang penting dari zeolit adalah perbandingan Si/Al, yang menunjukkan persentase Si yang mengisi di dalam tetrahedral, jumlah kation monovalen dan divalen, serta molekul air yang terdapat di dalam saluran kristal. Perbedaan kandungan atau perbandingan Si/Al akan berpengaruh terhadap ketahanan zeolit terhadap asam atau

pemanasan. Ikatan ion Al-Si-O adalah pembentuk struktur kristal sedangkan logam alkali adalah kation yang mudah tertukar (*exchangeable cation*). Jumlah molekul air menunjukkan jumlah pori-pori atau volume ruang kosong yang terbentuk bila unit sel kristal tersebut dipanaskan (Sastiano, 1991). Adapun mekanisme pembentukan zeolit dan mekanisme fase padat zeolit dapat dilihat pada Gambar 6 dan 7.



Gambar 6. Mekanisme pembentukan zeolit (Breck, 1974).



Gambar 7. Mekanisme fase padat zeolit (Yu, 2004)

I. ZSM-5 (*Zeolite Secony Mobile-5*)

ZSM-5 (*Zeolite Secony Mobile-5*) adalah salah satu jenis zeolit yang banyak digunakan. ZSM-5 adalah zeolit dengan rasio silika dan alumina yang tinggi. ZSM-5 merupakan material yang seluruh strukturnya mempunyai struktur pori dua dimensi yang menyilang.

ZSM-5 mempunyai dua jenis pori, keduanya dibentuk oleh oksigen cincin enam. Jenis pori yang pertama berbentuk lurus dan elips. Jenis pori yang kedua porinya lurus pada sudut kanan, polanya zig-zag dan melingkar. ZSM-5 merupakan salah satu zeolit dengan kerangka tipe MFI yang dapat dilihat pada Tabel 3, memiliki diameter pori 0,54 nm dan rasio Si/Al bervariasi dari 10 sampai ratusan. Zeolit ini biasa disintesis dengan menggunakan kation Na^+ sebagai ion penyeimbang kerangka yang bermuatan negatif. Ion Na^+ dapat ditukar dengan kation lain yang dapat memasuki pori dalam modifikasi zeolit (Petushkov *et al.*, 2011).

Tabel 3. Data zeolit tipe MFI.

<i>Cell Parameters</i>	$a = 20,090 \text{ \AA}$ $b = 19,738 \text{ \AA}$ $c = 13,142 \text{ \AA}$ $\alpha = 90,000^0$ $\beta = 90,000^0$ $\gamma = 90,000^0$
<i>Volume</i>	$5211,29 \text{ \AA}^3$
<i>R_{DLS}</i>	0,0020
<i>Framework density</i>	18,4 T/1000 \AA^3
<i>Ring size (# T- atoms)</i>	10 6 5 4
<i>Channel System</i>	3- dimensional
<i>Secondary Building Unit</i>	5-1

(Anonim C, 2016).

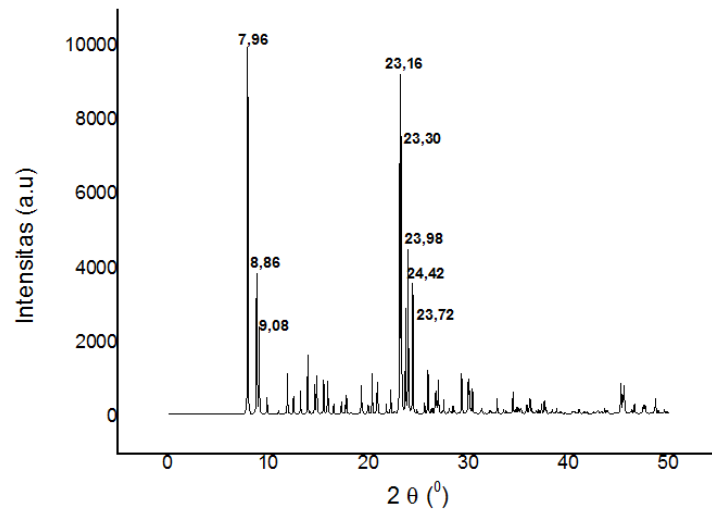
Tabel 4. Data zeolit ZSM-5

<i>Chemical formula</i>	$[\text{Na}^+_n(\text{H}_2\text{O})_{16}] [\text{Al}_n\text{Si}_{96-n} \text{O}_{192}]$ -MFI, $n < 27$
<i>Cell Parameters</i>	$a = 20,07 \text{ \AA}$ $b = 19,92 \text{ \AA}$ $c = 13,42 \text{ \AA}$ $\alpha = 90,0^0$ $\beta = 90,0^0$ $\gamma = 90,0^0$
<i>Framework density</i>	17,9 T/1000 \AA^3
<i>Channel System</i>	{[100] 10 5,1 x 5,5 <-> [010] 10 5,3 x 5,6}*** (3-dimensional)

(Anonim C, 2016).

Zeolit ZSM-5 memiliki unit pembangunan sekunder 5-1 atau disebut juga unit pentasil. Unit pentasil tersebut kemudian saling berhubungan membentuk rantai pentasil. Pada tahap selanjutnya rantai pentasil ini akan membentuk kerangka zeolit ZSM-5. Zeolit ZSM-5 memiliki pori berukuran sedang (5,1-5,5 \AA), dan *channel* 3 dimensi yang ditunjukkan pada Tabel 4. Selain itu zeolit ini memiliki selektivitas yang unik, sifat asam, serta kesetabilan yang tinggi. Sifat-sifat ini membuat ZSM-5 sering

digunakan sebagai katalis dibidang petrolium dan petrokimia (Cejka *et al.*, 2005). Adapun spektrum XRD dari zeolit ditunjukkan Gambar 8 , sebagai berikut.



Gambar 8. Spektrum difraksi sinar-X Zeolit ZSM-5 (Anonim B, 2016).

ZSM-5 (*Zeolite Secony Mobile-5*) merupakan salah satu jenis zeolit yang banyak digunakan secara luas seperti, sebagai katalis di dalam penyulingan minyak, dalam produksi bahan kimia melalui aromatisasi, alkilasi, perengkahan katalitik, dan lain sebagainya (Hagen, 2000). Secara konvensional, zeolit juga telah dimanfaatkan dalam berbagai bidang, seperti adsorben (Damjanovic *et al.*, 2010; Lee *et al.*, 2012; Cheng *et al.*, 2013), agen penukar kation (Biskup dan Subotic, 2004; Wang *et al.*, 2008; Hou *et al.*, 2012), maupun katalis (Tukur dan Al-Khatat, 2011). Pemanfaatan zeolit ZSM-5 juga digunakan dalam bidang katalitik seperti pada reaksi *dewaxing*, konversi metanol menjadi *gasolin*, metanol menjadi *olefin*, *hidrocracking*, alkilasi benzena, reduksi Nox dan oksidasi parsial metana (Cejka *et al.*, 2005).

J. Sintesis Zeolit

Menurut Cejka *et al.* (2007), ada beberapa faktor yang mempengaruhi proses pembentukan kristal dalam sintesis zeolit, diantaranya:

1. Komposisi molar pereaksi

Komposisi molar campuran pereaksi memberikan peranan penting terhadap kristalisasi zeolit. Hal-hal yang berkaitan dengan komposisi molar pereaksi adalah sumber prekursor, rasio Si/Al, alkalinitas (kebasaan), jumlah H₂O, kation anorganik, dan *template* organik.

2. Sumber Si dan Al

Sumber silika yang biasa digunakan dalam sintesis zeolit diantaranya; silika koloid (LUDOX), tetraetil orto silikat (TEOS), Cab-O-Sil (*fumed silica*), tetrametil orto silikat (TMOS), dan natrium silikat (Na₂SiO₃). Karakteristik suatu polisilikat akan berbeda dengan sumber silika yang lain. Karakteristik ini memainkan peran penting dalam proses nukleasi dan kristalisasi zeolit. Perbedaan luas permukaan dari sumber silikon akan memberikan efek terhadap laju pengkristalan, ukuran kristal, dan distribusi ukuran partikel terhadap zeolit hasil sintesis.

Silika dengan luas permukaan yang besar sangat mudah larut dalam medium basa dibandingkan dengan silika yang luas permukaannya kecil. Silika jenis ini lebih mudah membentuk kristal dengan ukuran yang lebih kecil sedangkan kristal dengan luas permukaan kecil dan kelarutan rendah lebih cenderung membentuk kristal besar. Selain

sumber silika, sumber alumina juga memberikan pengaruh besar terhadap laju pengkristalan zeolit. Sumber alumina yang biasa digunakan antara lain : natrium alumina (NaAlO_2), aluminium hidroksida (NaOH), *pseudo-boehmite* ($\text{AlO}(\text{OH})$), aluminium isopropoksida ($\text{C}_9\text{H}_21\text{AlO}_3$), aluminium nitrat ($\text{Al}(\text{NO}_3)_3$), aluminium sulfat ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$), atau logam aluminium (bubuk Al atau foil).

3. Rasio Si/Al

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

4. Alkalinitas (kebasaaan)

Alkalinitas memberikan kontribusi terhadap rasio OH^-/Si atau rasio $\text{H}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$. Sifat alkali yang tinggi meningkatkan kelarutan silika dan alumina serta mempercepat polimerisasi dari ion polisilikat dan aluminat. Proses induksi, nukleasi, dan kristalisasi dapat dipercepat dengan meningkatkan alkalinitas. Disamping itu, tingkat kebasaaan juga dapat mempengaruhi ukuran partikel dan morfologi zeolit.

5. Jumlah H₂O

Dalam sintesis zeolit secara hidrotermal, air berperan sebagai pelarut. Jumlah air dalam suatu campuran reaksi akan mempengaruhi konsentrasi dari reaktan sehingga berpengaruh juga kepada proses kristalisasi zeolit. Dengan demikian mengubah jumlah air akan mengubah laju kristalisasi zeolit.

6. Kation anorganik

Kation anorganik berasal dari basa hidroksida logam alkali (MOH) sebagai sumber basa dalam sintesis zeolit. Basa logam alkali yang biasa digunakan adalah natrium hidroksida (NaOH) dan kalium hidroksida (KOH). Perbedaan kation anorganik akan mempengaruhi pembentukan unit kerangka penyusun zeolit yang tentunya juga akan mempengaruhi jenis zeolit yang dihasilkan. Beberapa zeolit seperti : ANA, CAN, FAU (X dan Y), MOR, LTA, dan SOD terbentuk dengan kehadiran ion Na⁺ sebagai kation anorganik. Sedangkan zeolit NAT, PAU, OFF, dan PHI terbentuk dengan adanya kation K⁺. Hal ini dikarenakan kation anorganik juga berperan sebagai agen pengarah struktur.

7. Cetakan (*template*) organik

Kation organik dapat berperan sebagai pengisi rongga kosong yang mengarahkan pembentukan struktur spesifik zeolit (*structure directing agent / SDA*). Antara kerangka zeolit dengan SDA terjadi interaksi karena adanya gaya Van der Waals. Dengan demikian, hidropobisitas dan hidrofilisitas ion organik yang berperan sebagai

SDA, sangat berpengaruh terhadap rasio Si/Al dalam sintesis zeolit.

Sintesis zeolit dengan sumber silika dan alumina komersial merupakan proses dengan biaya tinggi sehingga para peneliti telah banyak mengembangkan sumber bahan mentah yang berbiaya lebih rendah (*low cost*) seperti mineral *clay*, zeolit alam, diatomit, bauksit, silika vulkanik, dan material sisa ekstraksi minyak (Sandoval *et al.*, 2009).

K. Sintesis Hidrotermal

Sintesis secara hidrotermal biasanya terjadi dalam pelarut air dengan kondisi suhu dan tekanan yang tinggi ($>100\text{ }^{\circ}\text{C}$, $>1\text{ bar}$). Metoda hidrotermal telah banyak dikembangkan tidak hanya untuk sintesis material berpori seperti zeolit tetapi juga untuk material anorganik penting seperti superionik konduktor, sensor kimia, keramik oksida kompleks, dan material magnetik (Cejka *et al.*, 2007). Alat sintesis hidrotermal dapat dilihat pada Gambar 9 berikut:



Gambar 9. Autoklaf (alat sintesis secara hidrotermal)

Metoda hidrotermal sebelumnya telah diterapkan dalam sintesis zeolit analsim diantaranya penelitian yang dilakukan oleh Ghobakar *et al.*, (1999) mengidentifikasi efek temperatur sintesis terhadap bentuk kristal zeolit dengan waktu reaksi yang cukup panjang yaitu selama enam minggu secara hidrotermal (Ghobakar, *et al.*, 1999). Selain itu juga telah dilakukan penelitian terkait pengaplikasian hidrotermal sintesis dalam memproduksi kristal menggunakan sumber silika alam (Sandoval, *et al.*, 2009), (Atta *et al.*, 2012).

L. Karakterisasi Material

a. *X-Ray Fluorescence* (XRF)

X-Ray Fluorescence (XRF) adalah alat uji yang digunakan untuk menentukan komposisi unsur suatu material secara kualitatif maupun kuantitatif. Analisis kualitatif memberikan informasi jenis unsur yang terkandung dalam bahan yang dianalisis, yang ditunjukkan oleh adanya spektrum unsur pada energi sinar-X karakteristiknya, sedangkan analisis kuantitatif memberikan informasi jumlah unsur yang terkandung dalam bahan yang ditunjukkan oleh ketinggian puncak spektrum. Teknik pengujian ini sangat cepat dan tidak merusak sampel yang akan diuji, tergantung pada penggunaannya XRF dapat dihasilkan tidak hanya oleh sinar-x tetapi juga sumber eksitasi primer yang lain seperti partikel *alpa*, proton atau sumber elektron dengan energi yang tinggi (Agus dan Darma, 2012).

Prinsip kerja alat XRF adalah sebagai berikut : sinar-X fluoresensi yang dipancarkan oleh sampel dihasilkan dari penyinaran sampel dengan sinar-X primer dari tabung sinar-X (*X-Ray Tube*), yang dibangkitkan dengan energi listrik dari sumber tegangan sebesar 1200 volt. Bila radiasi dari tabung sinar-x mengenai suatu bahan maka elektron dalam bahan tersebut akan tereksitasi ke tingkat energi yang lebih rendah, sambil memancarkan sinar-X karakteristik. Sinar-X karakteristik ini ditangkap oleh detektor diubah ke dalam sinyal tegangan (*voltage*), diperkuat oleh *Preamp* dan dimasukkan ke analizer untuk diolah datanya. Energi maksimum sinar-X primer (keV) tergantung pada tegangan listrik (kVolt) dan kuat arus (*ampere*). Fluoresensi sinar-X tersebut dideteksi oleh detektor SiLi (Rosika, 2007) alat XRF dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. *X-Ray Fluorescence (XRF).*

b. *X-Ray Diffraction (XRD)*

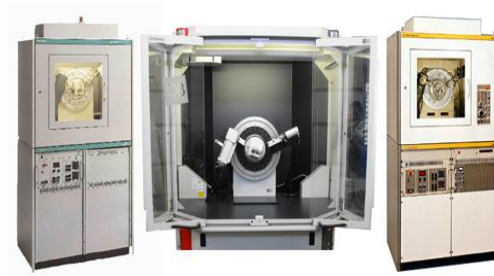
X-Ray Diffraction (XRD) merupakan suatu teknik yang digunakan menentukan sistem kristal (kubus, tetragonal, ortorombik, rombohedral, heksagonal, monoklin, triklin), kualitas kristal (kristal tunggal, polikristalin, dan amorf), simetri kristal, menentukan cacat kristal, mencari parameter kristal (parameter kisi, jarak antar atom, jumlah atom per unit sel), identifikasi campuran dan analisis kimia (Zakaria, 2003). Prinsip kerjanya yaitu ketika sinar-X yang monokromatik jatuh pada sebuah kristal maka sinar-X tersebut akan dihamburkan ke segala arah, tetapi karena ada keteraturan letak atom-atom dalam kristal maka pada arah tertentu saja gelombang hambur akan berinterferensi konstruktif dan pada arah lainnya akan berinterferensi destruktif (Cullity *and* Stock, 2001).

Atom-atom dalam kristal dapat dipandang sebagai unsur yang membentuk keluarga bidang datar yang mempunyai jarak karakteristik antara bidang (West, 1989). Syarat yang diperlukan agar berkas yang sejajar ketika dihamburkan atom-atom kristal akan berinterferensi konstruktif adalah memiliki beda jarak lintasan tepat $n\lambda$, dimana selisih jarak antara 2 berkas sejajar adalah $2d \sin \theta$, dan memenuhi persamaan Bragg, yakni :

$$n \lambda = 2d \sin \theta$$

Dimana n adalah bilangan bulat dan merupakan tingkat difraksi sinar-X, λ adalah panjang gelombang yang dihasilkan oleh katoda yang digunakan (\AA), sedangkan d merupakan jarak antara batas lapisan permukaan (\AA),

dan θ merupakan sudut difraksi sinar-X terhadap permukaan kristal ($^{\circ}$) (Cullity, 1978). Peralata XRD dapat dilihat pada Gambar 11 berikut:



Gambar 11. *X-Ray Diffraction (XRD).*

c. *Scanning Electron Microscope (SEM)*

Scanning Electron Microscope (SEM) adalah sebuah mikroskop elektron yang didesain untuk mengamati permukaan objek *solid* secara langsung. *SEM* memiliki perbesaran 10-3.000.000 kali, *depth of field* 4-0,4 mm dan resolusi sebesar 1-10 nm. Kombinasi dari perbesaran yang tinggi, *depth of field* yang besar, resolusi yang baik, kemampuan untuk mengetahui komposisi dan informasi kristalografi membuat *SEM* banyak digunakan untuk keperluan penelitian dan industri (Prasetyo, 2011). Anonymous (2012) menambahkan, *SEM* memfokuskan sinar elektron (*electron beam*) di permukaan objek dan mengambil gambarnya dengan mendeteksi elektron yang muncul dari permukaan objek.

Prinsip kerja *SEM* dengan cara mengalirkan arus pada kawat filamen dan perlakuan pemanasan, sehingga dihasilkan elektron. Elektron tersebut dikumpulkan dengan tegangan tinggi dan berkas elektron difokuskan dengan sederetan lensa elektromagnetik. Ketika berkas elektron mengenai

target, informasi dikumpulkan melalui tabung sinar katoda yang mengatur intensitasnya. Setiap jumlah sinar yang dihasilkan dari tabung sinar katoda dihubungkan dengan jumlah target, jika terkena berkas elektron berenergi tinggi dan menembus permukaan target, elektron kehilangan energi, karena terjadi ionisasi atom dari cuplikan padatan. Elektron bebas ini tersebar keluar dari aliran sinar utama, sehingga terbentuk lebih banyak elektron bebas dengan demikian energinya habis lalu melepaskan diri dari target. Elektron ini kemudian dialirkan ke unit demagnifikasi dan dideteksi oleh detektor dan selanjutnya dicatat sebagai suatu foto (Wagiyo dan Handayani, 1997), adapun peralatan SEM dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 12. *Scanning Electron Microscope (SEM).*

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat

Penelitian dilaksanakan selama empat bulan (Desember 2016 - Maret 2017) di Laboratorium Kimia Anorganik dan Fisik Fakultas MIPA Universitas Lampung. Karakterisasi silika dan zeolit hasil sintesis menggunakan XRF dilakukan di Laboratorium Kimia Instrumen Fakultas MIPA Universitas Negeri Padang, analisis FTIR di Laboratorium Terpadu UII XRD di Laboratorium Kimia Fakultas MIPA Universitas Gadjah Mada Yogyakarta, dan karakterisasi menggunakan SEM di UPT-LTSIT Fakultas MIPA Universitas Lampung.

B. Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain adalah gelas kimia, *hot plate*, corong *Buchner*, corong kaca, pengaduk magnetik, oven, batang pengaduk, kaca arloji, neraca analitik, pipet tetes, gelas ukur, spatula, erlenmeyer, loyang, termometer, mortal, *spinbar*, cawan penguap, *furnace*, *oilbath*, dan seperangkat alat sintesis autoklaf.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah ampas tebu, NaOH 2 M, Asam Sitrat, HCl 1 M, HNO₃, akuades, kertas Whatman no 42, kertas saring, aluminium foil, indikator universal, dan tisu.

C. Prosedur Kerja Penelitian

1. Ekstraksi Silika

a. Preparasi Abu Ampas Tebu

Untuk mendapatkan silika dari abu ampas tebu maka terlebih dahulu dilakukan proses pembakaran ampas tebu. Ampas tebu yang telah kering ditimbang sebanyak 10 gram, kemudian dimasukkan ke dalam gelas kimia 1 L, setelah itu direndam asam sitrat 5% sebanyak 250 mL, lalu distirer sambil dipanaskan hingga mendidih, hal ini bertujuan untuk menghilangkan pengotor pada ampas tebu dan memutuskan ikatan senyawa organik pada ampas tebu tersebut.

Setelah itu campuran tersebut didinginkan pada suhu kamar. Kemudian ampas tebu yang telah dicuci disaring dengan kertas saring biasa, diambil ampasnya diletakkan diatas loyang, lalu filtratnya dibuang, setelah itu ampasnya dioven dengan suhu 100°C hingga ampas tersebut kering dan bebas dari filtratnya, kemudian ampas yang telah dikeringkan kemudian dibakar pada suhu 600°C hingga diperoleh abu ampas tebu.

b. Ekstraksi Silika dari Abu Ampas Tebu

Abu ampas tebu yang diperoleh ditimbang sebanyak 5 gram dimasukkan dalam gelas kimia 1 L kemudian ditambahkan 125 mL larutan NaOH 2 M sambil diaduk dan dipanaskan sampai mendidih (\pm selama 1 jam).

Selanjutnya campuran dibiarkan pada suhu kamar selama 12 jam untuk memaksimalkan proses pengekstraksian. Kemudian disaring menggunakan kertas Whatman no.42 sehingga diperoleh filtrat yang

berwarna kecoklatan. Filtrat kemudian ditambahkan larutan HCl 1 M tetes demi tetes sehingga terbentuk hidrogel hingga pH 6. Hidrogel kemudian didiamkan selama 24 jam untuk memaksimalkan pembentukan gel. Gel kemudian disaring dan dicuci dengan aqua dm dan selanjutnya dikeringkan dengan oven pada suhu 90 °C selama 24 jam hingga terbentuk kristal silika.

c. Dealuminasi Silika

Silika yang diperoleh dari hasil ekstraksi, ditimbang sebanyak 1 gram kemudian silika yang sudah ditimbang dimasukkan ke dalam botol polipropilen. Botol polopropilen tersebut dimasukkan ke gelas kimia atau wadah aluminium yang telah berisi *oilbath*. Setelah itu ke dalam botol polopropilen ditambahkan asam nitrat sebanyak 10 mL kemudian diaduk dan dipanaskan pada suhu 60 °C-85 °C selama 3 jam. Kemudian hasilnya didinginkan dengan cara direndam dalam gelas kimia yang berisi campuran air es, disaring, dicuci dengan akuades sampai netral, dan dikeringkan pada suhu 60 °C selama 12 jam . Dealuminasi dilakukan menggunakan asam nitrat yang digunakan dengan variasi konsentrasi yaitu 0,02 ; 0,2 ; 2 ; dan 5 M dengan perlakuan yang sama untuk keempat konsentrasi tersebut.

d. Karakterisasi Silika

Silika yang diperoleh dari proses ekstraksi dan dealuminasi dengan perlakuan asam nitrat dianalisis menggunakan analisis FTIR untuk

mengetahui gugus-gugus fungsi yang terkandung dalam silika, XRF untuk mengetahui komponen-komponen yang terdapat pada silika dan karakterisasi menggunakan XRD untuk mengkonfirmasi bentuk dari silika.

2. Sintesis Zeolit ZSM-5

a. Sintesis zeolit ZSM-5 menggunakan silika komersil

Sintesis zeolit ZSM-5 menggunakan sumber silika komersial yaitu LUDOX dan sumber alumina yaitu NaAlO₂. Sintesis zeolit ZSM-5 menggunakan silika komersil selain digunakan sebagai pembanding juga digunakan sebagai benih dalam mensintesis zeolit ZSM-5 dari silika *baggase ash*. Zeolit ZSM-5 dari silika komersil disintesis dengan perbandingan molar pereaksi 1 SiO₂: 0,020 NaAlO₂: 0,069 NaOH: 0,084 TPA-Br: 7,670 H₂O. Secara rinci komposisi molar dari masing-masing pereaksi dapat dilihat pada Tabel 5 dan Tabel 6 dibawah ini:

Tabel 5. Komposisi molar pereaksi untuk sintesis zeolit ZSM-5 menggunakan silika komersil.

Komposisi	SiO ₂	NaOH	H ₂ O	NaAlO ₂	TPA-Br
Molar	1,00	0,07	7,67	0,02	0,08
MW (g/mol)	60,00	39,97	18,00	81,97	266,26
ρ (g/mL)	-	-	-	-	-
W (g)	60,00	2,76	138,06	1,64	22,36

Kemudian disiapkan komposisi campuran seperti pada Tabel 6 diaduk dengan pengaduk magnetik selama 30 menit dan setelah tercampur semua

dipindahkan ke dalam teflon autoklaf untuk disintesis secara hidrotermal dengan suhu 170°C selama 72 jam. Selanjutnya *crude* produk disaring dan dicuci dengan akuades. Padatan hasil sintesis dikeringkan dengan *oven* pada suhu 90°C.

Tabel 6. Perhitungan komposisi molar peraksi sintesis zeolit ZSM-5 menggunakan silika komersil.

Bahan	<i>P</i> (g/mL)	Kemurnian (%)	MW (g/mol)	Massa (g)	Massa untuk 1 autoklaf (g)*
SiO ₂ (dari LUDOX)	-	50,00	60,08	120,06	18,69
NaAlO ₂	-	100	81,97	1,64	0,25
NaOH 50% (w/w)	1,52	50,00	40,00	8,36	1,30
TPA-Br	-	99,00	266,26	22,59	3,51
H ₂ O dari NaOH	-	-	18,00	5,60	-
H ₂ O ditambahk an	-	-	18,00	72,30	11,24

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

b. Sintesis zeolit ZSM-5 menggunakan silika hasil ekstraksi dan dealuminasi

Silika yang diperoleh dari hasil dealuminasi digunakan sebagai sumber silika dan alumina dalam mensintesis zeolit. Silika yang digunakan yaitu silika hasil dealuminasi menggunakan HNO₃ 2 M karna Si/Al pada silika dealuminasi HNO₃ 2 M lebih tinggi sebesar 51,37 dari pada konsentrasi yang lainnya . Kemudian zeolit tersebut disintesis dengan perbandingan molar pereaksi 1 SiO₂: 0,108 Al₂O₃: 0,229 NaOH: 0,24 TPA-Br: 30 H₂O dan

dengan penambahan benih zeolit ZSM-5 dari silika komersil sebanyak 5%. Secara rinci komposisi molar dari masing-masing pereaksi dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Komposisi molar pereaksi untuk sintesis zeolit menggunakan silika *baggage ash*.

Komposisi	SiO ₂	NaOH	H ₂ O	Al ₂ O ₃	TPABr
Molar	1,00	0,23	30,00	0,11	0,24
MW (g/mol)	60,00	39,97	18,00	102	266,26
ρ (g/ml)	-	-	-	-	-
W (g)	60,00	9,14	540	11,01	63,90

Komposisi campuran pada Tabel 8 diaduk dengan pengaduk magnetik selama 15 menit kemudian ditambahkan benih lalu dipindahkan ke dalam teflon-autoklaf untuk disintesis secara hidrotermal dengan suhu 170 °C selama 120 jam. Selanjutnya *crude* produk disaring dan dicuci dengan aqua dm padatan hasil sintesis dikeringkan dengan *oven* pada suhu 90 °C.

Tabel 8. Perhitungan komposisi molar peraksi untuk sintesis zeolit ZSM-5 menggunakan silika *baggage ash*.

Bahan	ρ (g/mL)	Kemurnian (%)	MW (g/mol)	Massa (g)	Massa untuk 1 autoklaf (g)*
SiO ₂ (dari SCBA)		95,79	60,00		
				85,40	1,56
Al ₂ O ₃ (dari SCBA)		1,58	102		
NaOH 50% (w/v)	1,50	50,00	40,00	18,35	0,46
TPA-Br		100	266,26	63,90	1,59
H ₂ O dan NaOH			18,00	9,17	
H ₂ O ditambahkan			18,00	530,83	13,27

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

c. Karakterisasi Zeolit Hasil Sintesis

Zeolit yang diperoleh dari hasil sintesis silika komersil dan silika *baggage ash* hasil dealuminasi dikarakterisasi menggunakan XRF untuk mengetahui komponen-komponen yang terdapat dalam zeolit hasil sintesis, XRD untuk mengkonfirmasi kristal hasil sintesis dan dikarakterisasi menggunakan SEM untuk melihat morfologi kristal zeolit hasil sintesis.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

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

1. Ekstraksi silika dari abu ampas tebu telah berhasil dilakukan dengan diperoleh silika berwarna putih dengan rasio Si/Al sebesar 4,631 dan pada pola XRD silika yang diperoleh berbentuk amorf.
2. Dealuminasi silika hasil ekstraksi dari ampas tebu dengan menggunakan HN03 diperoleh konsentrasi optimum ditunjukkan dari diperolehnya rasio Si/Al sebesar 51,375 pada konsentrasi 2 M.
3. Sintesis zeolit ZSM-5 menggunakan sumber silika komersil telah berhasil dilakukan ditunjukkan dengan hasil karakterisasi XRD diperolehnya puncak-puncak yang sesuai dengan zeolit ZSM-5 standar yakni $2\theta = 7,90; 8,80; \text{ dan } 23,11^\circ$ dan berdasarkan karakterisasi SEM diperoleh morfologi yang merata dan tingkat kristalinitas yang tinggi, dengan rasio Si/Al sebesar 65,42.
4. Zeolit ZSM-5 telah berhasil disintesis dari silika *baggage ash* ditunjukkan dengan hasil karakterisasi menggunakan XRD, SEM, dan XRF yang menunjukkan bahwa telah tumbuhnya kristal zeolit ZSM-5 ditandai dengan puncak-puncak yang dihasilkan sesuai dengan standar zeolit ZSM-5.

B. Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh, maka untuk penelitian selanjutnya disarankan untuk melakukan sintesis zeolit dari sumber silika hasil ekstraksi abu ampas tebu dilakukan tanpa penambahan benih dan menggunakan metode metode hidrotermal dengan variasi waktu dan suhu dalam mensintesis zeolit.

DAFTAR PUSTAKA

- Adam, F., Kandasamy, K dan Batakrishnan, S. 2006. Iron Incorporated heterogeneous Catalyst From Rice Husk Ash. *Journal of Colloid and Interface Science*. 304: 137-143
- Affandi, S., H. Setyawan, S. Winardi, A. Purwanto, and R. Balgis. 2009. A Facile Method for Production of High-Purity Silica Xerogels from Bagasse Ash. *J. Advanced Powder Tecnology*. 20: 468-472.
- Agus J., Darma A., 2007. Analisis Kerusakan X-Ray Fluoresence (XRF), *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Nuklir, Pusat Teknologi Nuklir bahan dan radiometri (PTNBR) BATAN*. Bandung.
- Akhinov, A. F and Puspaning, D. 2010. *Sintesis Silika Aerogel Berbasis Abu Bagasse dengan Pengeringan pada Tekanan Ambient*. Seminar Rekayasa Kimia dan Proses 2010, ISSN: 1411-4216.
- Anomin. A. 2013 : http://err.wikipedia.org/wiki/silicon_dioxide. Diakses pada tanggal 12 November 2016 pukul 16.30 WIB.
- Anonim. B. 2001 : http://izasc-mirror.la.asu.edu/fmi/xsl/IZA-SC/ftc_fw.xsl?-db=Atlas_main&-lay=fw&-max=25&STC=MFI&-find. Framework MFI diakses pada tanggal 15 November 2016 pukul 16.00.
- Anonim B. 2016. *Xray Powder Pattern Generated for ZSM-5, Calcined*. http://asia.iza-structure.org/IZA-SC/xrd_plot.php. Diakses pada 6 Januari 2016.
- Anonim. C. 2016. *Framework MFI*. http://izacs-mirror.la.asu.edu/fmi/xsl/IZA-SC/ftc_fw.xsl?-db=Atlas_main&-lay=fw&-max=25&STC=MFI&-find. Diakses pada 20 Oktober 2016.
- Astuti, Maria Dewi., Radna Nurmasari dan Dwi Rasy Mujiyanti., 2012. Immobilization of Silika Gel onto 1-8-dihydroxyanthraquinone Through Sol-Gel process. *Jurnal Sians*, vol 6 no. 1 (25-34)
- Atta, A.Y., Jibril, B.Y., Aderemi, B.O., dan Adefila, S.S. 2012 : Preparation of Analsim from Local Kaolin and Rice Husk Ash, *Applied Clay Science*, **61**, 8-13.

- Biskup, B., and B. Subotic. 2004. *Kinetic analysis of the exchange processes between sodium ions from zeolite A and cadmium, copper and nickel ions from solutions*, Sep. Purif. Technol., 37, 17-31.
- Bragmann, C.P and Goncalves, M.R.F. 2006. Thermal Insulators Made With Rice Husk Ashes: *Production and Correlation Between Properties and Microstructure*. Department of materials, school of engineering, federal university of rio grande do sul, Brasil.
- Breck, D. W. 1974. *Zeolite Molekular Sieves*. John Wiley & Sons. New York.
- Brindley, G.W and Brown, G. 1980. *Crystal Structures of Clay Minerals and Their X-Ray Identification*. Mineralogical Society. No. 5, pp. 312-316, 378-380.
- Candra, A., Miryanti, Y.I.P.A., Widjaja, L.B., dan Pramudita, A. 2012 : Isolasi dan Karakterisasi Silika dari Sekam Padi, Universitas Katolik Prahayangan.
- Chatti, R., A.K. Bansiwal, J.A. Thote, V. Kumar, P. Jadhav, S.K. Lokhande, R. B. Biniwale, N. K. Labhsetwar, and S. S. Rayalu. 2009. Amine loaded zeolites for carbon dioxide capture: Amine loading and adsorption studies, *Microporous Mesoporous Mater.*, 121, 84-89.
- Cejka, J., Bekkum H., Corma, A., dan Schuth, F. 2007 : Introduction of Science and Practice- 3rd Revised Edition, 39-103.
- Cheng, X., G. Lu, Y. Guo, Y. Wang, and Y. Guo. 2013. A high effective adsorbent of NO_x: Preparation, characterization and performance of Ca-beta zeolites, *Microporous Mesoporous Mater.*, 165, 113-120.
- Corma, A., J. Mengual, and P.J. Miguel. 2013. *IM-5 zeolite for steam catalytic cracking of naphtha to produce propene and ethene. An alternative to ZSM-5 zeolite*, Appl. Catal A., 460-461, 106-115.
- Cotton, F. A. and Walkinson, G. 1989. *Kimia Anorganik*. UI Press. Jakarta.
- Cullity, B.D. 1978. *Element of X-Ray Diffraction*. Department of Metallurgical Engineering and Materials Science. Addison-Wesley Publishing Company. Inc. USA. 514: 285-310.
- Cullity, B.D. dan S.R. Stock. 2001. *Element of X-Ray Diffraction*. Third Edition, Prentice Hall. New Jersey.
- Daifullah, A.A.M., Girgis, B.S. and Gad, H.M.H. 2003. Utilization of Agro-Residues (Rice Husk) in Small Waste Water Treatment Plans. *Material Letters*. Vol 57. Pp 1723-1731.

- Damjanovic, L., V. Rakic, V. Rac, D. Stosic, and A. Aurox. 2010. *The investigation of phenol removal from aqueous solution by zeolites as solid adsorbents*, *J. Hazard. Mater.*, 184, 477-184.
- Della, V.P., Kuhn, I., and Hotza, D. 2002. Rice Husk Ash an Alternate Source For Active Silica Production. *Materials Letters*. Vol. 57, pp. 818-821.
- Faria, K.C.P., Gurgel, R.F., dan Holanda, J.N.F. 2012 : Recycling of Sugarcane Bagasse Ash Waste in the Production of Clay Bricks, *Journal of Environment Management*, 101, 7-12.
- Fuentes-Ordonez, E.G., J.A. Salbidegoitia, J.L. Ayastuy, M.A. Gutierrez-Ortiz, M.P. Gonzales-Marcos, and J.R. Gonzalez-Velasco. 2014. *High external surface Pt/zeolite catalysts for improving polystyrene hydrocracking*, *Catal. Today*, 227, 163-170.
- Gkanas, E.I., T. A. Steriotis, A. K. Stubos, P. Myler, and S. S. Makridis. 2014. *A complete transport validated model on a zeolite membrane for carbon dioxide permeance and capture*, *Appl. Therm. Eng.*, in press, corrected proof.
- Hajiha, H., dan Sain, M. 2015 : The Use of Sugarcane Bagasse Fibres as Reinforcements in Composites, *Biofiber Reinforcements in Composite Material*, 525-549.
- Hara. 1986. *Utilization of Agrowastes for Bulding Materials*. International Reseach and Development Cooperation Division. Tokyo. Japan.
- Hagen , Ingunn., and Janet Wakso. 2000. *Consuming Audiene? Production and Reception in Media Research*. Cresskill, New Jersey: Hampton Publication.
- Handhoyo, R., Prijatama, H., and Komala, R. 2005. Increasing The Si/Al Ratio of Natural Zeolite Mordenite AS Basic Material of Catalyst, *Journal of Indonesian Zeolite*, Vol 4, No. 1hal 19-24. Pusat Geoteknologi LIPI. Bandung.
- Hou, J., J. Yuan, and R. Shang. 2012. Synthesis and characterization of zeolite W and its ionexchange properties to K⁺ in seawater, *Powder Technol.*, 226, 222-224.
- Huang, Z., Wang, N., Zhang, Y., Hu, H. and Luo, Y. 2012 : Effect of Mechanical Activation Pretreatment on the Properties of Sugarcane Bagasse/Poly (Vinylchloride) Composites, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 43, 114 – 120.

- Hu, S., J. Shan, Q. Zhang, Y. Wang, Y. Liu, Y. Gong, Z. Wu, and T. Dou. 2012. Selective formation of propylene from methanol over high silica nanosheets of MFI zeolite, *Appl. Catal. A*, 445-446, 215-220.
- Husin Umar. 2007. *Metode Penelitian Untuk Skripsi Dan Tesis Bisnis*, Jakarta: PT. Raja Grafindo Persada
- Iler, R.K. 1979. *Silica gels and powders*. In: *The Chemistry of Silica*. John Wiley and Sons, New York. pp. 462–599.
- Ju, Y.H., Huynh, L.H., Kasim, N.S., Guo, T.J., Wang, J.H., dan Fazary. A.E. 2011 : Analysis of Soluble and Insoluble Fractions of Alkali and Subcritical Water Treated Sugarcane Bagasse, *Carbohydrate Polymers*, **83**, 591-599.
- Kirk, R.E., and Othmer (1984) ‘Encyclopedia of Chemical Technology’, Fouth Edition, Vol. 21, John Wiley and Sons, Inc., New York.
- Lee, H. and, P. K. Dutta. 2002. Charge Transport through a Novel Zeolite Y Membrane by a Self-Exchange Process, *J. Phys. Chem. B*, 106 (46), 11898-11904.
- Lee, T.P., B. Saad, E.P. Ng, and B. Salleh. 2012. Zeolite Linde Type L as micro-solid phase extraction sorbent for the high performance liquid chromatography determination of ochratoxin A in coffee and cereal, *J. Chromatogr. A*, 1237, 46-54. Liu, L., Z. Yu, H. Chen, Y. Deng, B. Reinforcements in Composites, *Biofiber Reinforcements in Composite Material*, 525-549.
- Lestari, D.Y. 2010 : Kajian Modifikasi dan Karakterisasi Zeolit Alam dari Berbagai Negara, *Prosiding Seminar Nasional Kimia dan Pendidikan Kimia*, Yogyakarta.
- Loh, Y.R., Sujan, D., Rahman, M.E., dan Das, C.A. 2013 : Sugarcane Bagasse The Future Composite Material: A Literature Review, *Resources, Conservation and Recycling*, **75**, 14-22.
- Maharani, R. dan Sigit, B. 2011. Optimasi Proses Dealuminasi Modernite Sebagai Katalis Minyak Goreng Bekas Menjadi Biofuel, *Jurnal 25 (SECURED) bab 1-5*. Universitas Diponegoro. Semarang.
- Maulana, Y., Dede, S., dan Prabowo, H. E. 2004. Studi Karakterisasi Silika Gel Hasil Sintesis dari Abu Ampas Tebu dengan Variasi Konsentrasi Asam Klorida. *Jurnal UIN Bandung* Vol. 8, No. **01**: 16 – 28.
- Migo, V.P., M. Matsumura, E.J.D. Rosario dan H. Kataoka. 1993. Decolorization of Molasses Wastewater Using Inorganic Flocculant. *J. Of Fermentation*

Bioengineering 75(6),438-442.

Moises, M. P., Cleiser, T. P. S., Meneguín, J.G., Girotto, E.M., dan Radovanoic, E. 2013 : Synthesis of Zeolit NaA from Sugarcane Bagasse Ash, *Materials Letters*, **108**, 243-246.

Mubin, A dan Fitriadi, R. 2005. Upaya Penurunan Biaya Produksi Dengan Memanfaatkan Ampas Tebu Sebagai Pengganti Bahan Penguat Dalam Proses Produksi Asbes Semen. *Jurnal Teknik Gelagar*. Vol. 16, No. **01**: 10 – 19.

Nazriati, N., Setyawan, H., Affandi, S., Yuwana, M., dan Winardi, S. 2014 : Using Bagasse Ash as A Silica Source When Preparing Silica Aerogels via Ambient Pressure Drying, *Journal of Non Crystalline Solids*, **400**, 6-11.

Petushkov, A., Yoon, S., dan Larsen, S.C., 2011. Synthesis of Hierarchical nano crystalline ZSM-5 with Controlled particle Size and Mesoporosity. *Micropor. Mesopor. Mater.*, 137, 92-103.

Prasetyo, Y. 2011. *Scanning Electron Microscope and Optical Emission Spectroscopy*. <http://yudiprastyo53.wordpress.com/2011/11/07/scanning-electron-microscope-sem-and-optical-emission-spectroscopy-oes>. Diakses pada tanggal 24 Oktober 2016.

Rosika K., Dian A., Djoko K., 2007. “Pengujian Kemampuan XRF Untuk Analisis komposisi Unsur Paduan Zr-Sn-Cr-Fe-Ni”, *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Nuklir, Pusat Teknologi Nuklir bahan dan radiometri (PTNBR) BATAN*. Bandung.

R. Xu, W. Pang, J. Yu, Q. Huo and J. Chert, *Chemistry-Zeolites and Porous Materials (in Chinese)*, 1st Edn., Science Press, Beijing, 2004.

Sales, A., dan Lima, S.A. 2010 : Use of Brazilian Sugarcane Bagasse Ash in Concrete as Sand Replacement, *Waste Management*, **30**, 1114-1122.

Sandoval, M.V., Henao, J.A., Rios, C.A., Williams, C.D., dan Apperley, D.C. 2009: Synthesis and Characterization of Zeotype ANA Framework by Hydrothermal Reaction of Natural Clinker, *Fuel*, **88**, 272-281.

Saputro, O., Hartanto, D., dan Prasetyoko, D. 2013. Sintesis ZSM-5 secara Langsung dari Kaolin tanpa Templat Organik: Pengaruh Waktu Kristalisasi. *Jurnal Sains dan Seni Pomits* Vol. 2, No.01: 1-5. ITS. Surabaya.

Sari, A. J. 2015. Ekstraksi Silika dari Ampas Tebu sebagai Prekursor dalam Sintesis Zeolit Analsim. (*Tesis*). Institut Teknologi Bandung. Bandung.

- Saryanto, H., *High Temperature Oxidation Behavior of Fe80Cr20 Alloys Implanted with Lanthanum and Titanium Dopant* Master Thesis, Universiti Tun Hussein Onn Malaysia, Malaysia, 2011.
- Sastiano Astiana. *Karakterisasi Deposit Mineral Zeolit Dalam Aspek Pemanfaatan di Bidang Pertanian* ,jilid I, Indonesia, Vol 1, Bogor, 1991
- Sauer, J., F. Marlow, and F. Schuth. 2001. Chapter 5 – Nanoporous materials for optical applications, *Handbook of Advanced Electronic and Photonic Materials and Devices*, Elsevier.
- Setyawan, D. dan Handoko, P. 2002. Preparasi Katalis Cr/Zeolit Melalui Modifikasi Zeolit Alam, *Jurnal Ilmu Dasar*, Vol 3, No. hal 15-23
- Sherrington, D. C., and A. P. Kybett, 2001, Supported Catalysts and Their Application, *Royal Society of Chemistry*. London, 61-65
- 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 Environment Management*, **92**, 2774-2780.
- Treacy, M.M.J., Higgins, J.B. 2001. *Collection of Stimulated XRD Powder Patterns for Zeolites*. Elsevier. Amsterdam.
- Thang, H.V., L. Grajciar, P. Nachtigall, O. Bludsky, C. O. Areal, E. Vrydova, and R. Bulanek. 2014, Adsorption of CO₂ in FAU zeolites: Effect of zeolite composition, *Catal. Today*, 227, 50-56.
- Triantafyllidis, C., Vlessidis, A., and Evmiridis, N. 2000. Dealuminated H-Y Zeolite: Influence of The Degree and The Type of Dealumination Method on Structural and Acidic Characteristics of H-Y Zeolite, *Ind. Eng.Chem* Vol. **39**, No. 2, 307-3019.
- Tukur, N.M. and, S. Al-Khattar. 2011. Comparison studies of xylene isomerization and disproportionation reactions between SSZ- 33, TNU-9, mordenite and ZSM-5 zeolite catalysts, *Chem. Eng. J.*, 166, 348-357.
- Umeda, J., I. Hisashi, et al. (2009). „Polysaccharide Hydrolysis and Metallic Impurities Removal Behavior of Rice Husks in Citric Acid Leaching Treatment“. *Transactions of JWRI*, Vol 38 (2), pp. 13-18.
- Verma, D., Gope, P.C., Maheshwari, M.K., dan Sharma, R.K. 2012 : Bagasse Fiber Composites-A Review, *Journal of Materials and Environmental Science* 3, **6**, 1079-1092.
- Wagiyo dan A. Handayani. 1997. *Petunjuk Praktikum Scanning Electron Microscope, SEM dan Energy Dispersive Spectrometer, EDS*. Badan Tenaga Atom Nasional. Tangerang.

- Wang, X., Y. Chen, C. Zhang, X. Gu, and N. Xu. 2014. Preparation and characterization of high-flux T-type zeolite membranes supported on YSZ hollow fibers, *J. Membr. Sci.*, 455, 294-304.
- Wang, Y., F. Lin, and W. Pang. 2008. Ion exchange of ammonium in natural and synthesized zeolite, *J. Hazard. Mater.*, 160, 371-375.
- Wayman, C. E. 1994. Ethanol from Lignocellulosic Biomass: Technology Economics, and Opportunities, *Bioresource Technology*. 50: 3-16
- West, Anthony. R. 1989. *Solid State Chemistry and Its Application*. John Wiley and Sons. New York.
- Wu, L., V. Degirmeci, P. C. M. M. Magusin, N. J. H. G. M. Lousberg, and E. J. N. Hensen. 2013. Mesoporous SSZ-13 zeolite prepared by a dual-template method with improved performance in the methanol-to-olefins reaction, *J. Catal.*, 298, 27-40.
- Yusmaniar, S. B. (2007) „Pengaruh Suhu Pemanasan Pada Sintesis Silika dari Abu Sekam Padi“, *Jurnal Sains Materi Indonesia*, Edisi Khusus Desember 2009, hal. 115-117.
- Yusri, S. 2012. Sintesis dan Karakterisasi Zeolit ZSM-5 Mesopori dengan *Secondary Template* dan Studi Awal Katalisis Oksidasi Metana. (*Skripsi*). FMIPA Universitas Indonesia. Depok.
- Zakaria. 2003. *Analisis Kandungan Mineral Magnetik pada Batuan Beku dari Daerah Istimewa Yogyakarta dengan Metode X-Ray Diffraction*. Universitas Haluoleo. Kendari.