



**KONVERSI KATALITIK MINYAK SAWIT (MEPO) UNTUK
MENGHASILKAN *BIOGASOLINE* MENGGUNAKAN
KATALIS ZEOLITE FAUJASITE DARI *FLY ASH*
DENGAN IMPREGNASI NIKEL (Ni)**

SKRIPSI

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat
untuk menyelesaikan Program Studi Kimia (S1)
dan mencapai gelar Sarjana Kimia

Oleh

Tommy Dutika Indarto
121810301033

JURUSAN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS JEMBER
2017

PERSEMBAHAN

Dengan segenap ketulusan hati, skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. Orang tua tercinta Mamah Indarti dan Bapak Dukut Kumoro yang senantiasa memberikan doa, dukungan, nasihat, dan pengorbanan yang begitu besar demi kebaikan dan kesuksesan kami;
2. Adik dan kakak tersayang Aris Hendra Atmaja dan Dutika Rizky Indarto yang selalu memberikan semangat, keceriaan dan kebahagiaan;
3. Guru-guru di SDN 008 Batu Besar, SDN Kauman II, SMPN 3 Blitar, SMAN 2 Blitar serta dosen-dosen di Jurusan Kimia FMIPA Universitas Jember yang telah secara tulus memberikan ilmu dan bimbingannya;
4. Almamater tercinta, Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

MOTTO

“Dan kamu akan selalu dikenang sebagai seorang yang masih punya mimpi dan keyakinan, bukan hanya sebagai seongkok daging yang hanya punya nama”

(5 cm)



*) Kutipan dialog Film 5 cm

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Tommy Dutika Indarto

NIM : 121810301033

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “Konversi Katalitik Minyak Sawit (MEPO) Untuk Menghasilkan Biogasoline Menggunakan Katalis Zeolite Faujasite Dari Fly Ash Dengan Impregnasi Nikel (Ni)” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali jika dalam pengutipan substansi disebutkan sumbernya, dan belum pernah diajukan pada institusi manapun, serta bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 31 Mei 2017

Yang menyatakan,

Tommy Dutika Indarto

NIM 121810301033

SKRIPSI

**KONVERSI KATALITIK MINYAK SAWIT (MEPO) UNTUK
MENGHASILKAN *BIOGASOLINE* MENGGUNAKAN
KATALIS ZEOLITE FAUJASITE DARI *FLY ASH*
DENGAN IMPREGNASI NIKEL (Ni)**

Oleh

Tommy Dutika Indarto
NIM 121810301033

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Novita Andarini, S.Si., M.Si.
Dosen Pembimbing Anggota : Dr. Donatus Setyawan P.H., S.Si., M.Si.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Konversi Katalitik Minyak Sawit (Mepo) Untuk Menghasilkan Biogasoline Menggunakan Katalis Zeolite Faujasite Dari Fly Ash Dengan Impregnasi Nikel (Ni)” telah diuji dan disahkan oleh Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember pada:

hari, tanggal :

tempat : Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas
Jember

Tim Penguji

Ketua,

Anggota I,

Novita Andarini, S.Si., M.Si.
NIP. 19721112200003201

Dr. Donatus Setyawan P.H., S.Si., M.Si.
NIP. 196808021994021001

Anggota II,

Anggota III,

Tanti Haryati, S.Si., M.Si.
NIP. 19800102920005012000

Dr. A. A. Istri Ratnadewi, S.Si., M.Si.
NIP. 197012251997022001

Mengesahkan,
Dekan Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam

Drs. Sujito, Ph.D.
NIP. 196102041987111001

RINGKASAN

“Konversi Katalitik Minyak Sawit (MEPO) Untuk Menghasilkan Biogasoline Menggunakan Katalis Zeolite Faujasite Dari Fly Ash Dengan Impregnasi Nikel (Ni)” Tommy Dutika Indarto, 121810301033; 2017; 55 halaman; Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Kebutuhan manusia dalam bidang bahan bakar minyak semakin meningkat. Upaya pencarian untuk mendapatkan sumber bahan bakar alternatif yang dapat diperbaharui harus dilakukan. Komposisi minyak sawit terdiri dari rantai hidrokarbon panjang dengan kandungan asam oleat dan asam palmitat yang melebihi 80% sehingga minyak sawit menjadi potensi besar untuk dijadikan bahan baku konversi menjadi bahan bakar.

Proses konversi minyak sawit menjadi bahan bakar dapat dilakukan dengan berbagai cara. Proses hidrorengkah menghasilkan fraksi *biogasoline* (C₆-C₁₂) lebih banyak sehingga penelitian ini menggunakan proses hidrorengkah. Proses hidrorengkah dalam penelitian kali ini memakai zeolit faujasite yang disintesis dari *fly ash*. Zeolit faujasite merupakan zeolit sintesis dari sumber alumina dan silika dalam lingkungan larutan natrium hidrooksida pada suhu 100 °C. Hidrorengkah dalam penelitian kali ini menggunakan katalis faujasite yang diimpregnasi dengan logam Ni menjadi Ni-Faujasite untuk meningkatkan aktivitas dan selektivitas katalis.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik katalis faujasite hasil sintesis dari *fly ash* dan mengetahui pengaruh variasi impregnasi Ni pada katalis zeolit faujasite terhadap aktivitas dan selektivitas katalis pada perengkahan minyak sawit menjadi *biogasoline*. Sintesis faujasite terdiri dari beberapa tahap yaitu pencucian bahan organik, refluks HCl, peleburan dengan NaOH, *aging* selama 8 jam, dan yang terakhir adalah hidrotermal autoklaf selama 24 jam. Faujasite yang telah berhasil disintesis dikarakterisasi menggunakan kristalinitas dan rasio Si/Al. Faujasite digunakan sebagai katalis untuk hidrorengkah. Faujasite tersebut diimpregnasikan dengan nikel sebanyak 2% dan 4%. Katalis yang

digunakan untuk hidrorengkah yaitu katalis *fly ash* hasil leaching, faujasite, Ni-Faujasite 2%, dan Ni-Faujasite 4%. Karakter katalis adalah kadar Ni, rasio Si/Al, dan keasaman. Hidrorengkah menggunakan reaktor jenis fixed bed dengan temperatur 450 °C dan laju H₂ sebesar 20 mL/menit. Katalis yang digunakan sebanyak 3 gram dengan waktu operasi selama 1 jam. Hasil hidrorengkah dianalisis menggunakan GC-MS sehingga dapat diketahui aktivitas dan selektivitas katalis.

Faujasite yang disintesis dari fly ash telah berhasil dilakukan dengan karakterisasi menggunakan XRD memiliki kristalinitas puncak utama sebesar 67% dan pengukuran menggunakan AAS memiliki rasio Si/Al sebesar 1.64. Impregnasi nikel mempengaruhi karakter katalis yang lain sehingga mempengaruhi aktivitas dan selektivitas katalis. Katalis fly ash hasil leaching memiliki kadar nikel 0,09%, rasio Si/Al 1,27 dan keasaman 0,00011 mol/g. Katalis faujasite memiliki kadar nikel 0,08%, rasio Si/Al 1,64, dan keasaman 0,00035 mol/g. Katalis Ni-Faujasite 2% memiliki kadar nikel 2,05%, rasio Si/Al 2,080 dan keasaman 0,0030 mol/g. Katalis Ni-Faujasite 4% memiliki kadar nikel 3,71%, rasio Si/Al 2,22 dan keasaman 0,0035. Hubungan antara karakter katalis seperti kadar nikel, keasaman, dan rasio Si/Al meningkat seiring bertambahnya nikel yang diimpregnasi. Impregnasi Ni meningkatkan kemampuan katalis pada hidrorengkah metil ester palm oil untuk menghasilkan *liquid product* dengan aktivitas sebesar 42,34% dan selektivitas terhadap fraksi fraksi *biogasoline* sebesar 7,12% menggunakan katalis Ni-Faujasite 4%.

PRAKATA

Puji syukur ke hadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Konversi Katalitik Minyak Sawit (MEPO) Untuk Menghasilkan Biogasoline Menggunakan Katalis Zeolite Faujasite Dari Fly Ash Dengan Impregnasi Nikel (Ni)”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat dalam menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan dan dukungan berbagai pihak, oleh karena itu penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada;

1. Drs. Sujito, Ph.D selaku Dekan Fakultas MIPA Universitas Jember;
2. Bapak Dr. Bambang Piluharto, S.Si., M.Si., selaku ketua Jurusan Kimia Fakultas MIPA Universitas Jember;
3. Ibu Novita Andarini, S.Si., M.Si dan Bapak Dr. Donatus Setyawan Purwo Handoko, S.Si., M.Si selaku dosen pembimbing;
4. Ibu Tanti Haryati, S.Si., M.Si. dan Ibu Dr. A. A. Istri Ratnadewi, S.Si., M.Si. selaku dosen penguji;
5. Drs. Siswoyo, M.Sc.,Ph.D., selaku Dosen Pembimbing Akademik yang selalu memberi saran dan masukan selama menjadi mahasiswa;
6. Dosen-dosen FMIPA umumnya dan dosen-dosen Jurusan Kimia khususnya yang telah memberikan ilmu dan bimbingan dengan penuh kesabaran;
7. Raden Yuni Ristanti S yang menemani perjalanan skripsi mulai dari awal hingga selesai, sosok yang tidak pernah bosan memberikan semangat;
8. Wong 8, Ratna, Nora Gepso, Iphon, Agung, Sibul dan Beny yang buat kuliah terasa dunia hiburan;
9. Crew Luntur “TIFITI” memberikan gambaran keluarga kecil nan harmonis;
10. Keluarga besar UKMS TITIK angkatan Bethorokolo, Pandawa, Ganesha, Baladewa, Yudhistira, Basudewa, Wibisana, Anggada, Arjuna, dan Prahasta yang senantiasa memberi inspirasi sehingga mampu berpikir kreatif;

11. Keluarga besar UKM SPORA yang membuat sehat disela-sela aktivitas kampus;
12. Angkatan Lanthanida yang selalu membawa kebahagiaan disaat-saat bersama;
13. Keluarga Kos Cak Agus yang selalu membuat canda;
14. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu yang telah banyak membantu terselesainya penulisan skripsi ini, saya ucapkan terima kasih.

Penulis menyadari bahwa karya tulis ini masih jauh dari sempurna. Penulis menerima adanya kritik dan saran yang membangun dari semua pihak demi kesempurnaan karya tulis ini. Akhirnya, semoga karya tulis ini dapat bermanfaat dalam kemajuan ilmu pengetahuan.

Jember, Mei 2017

Penulis

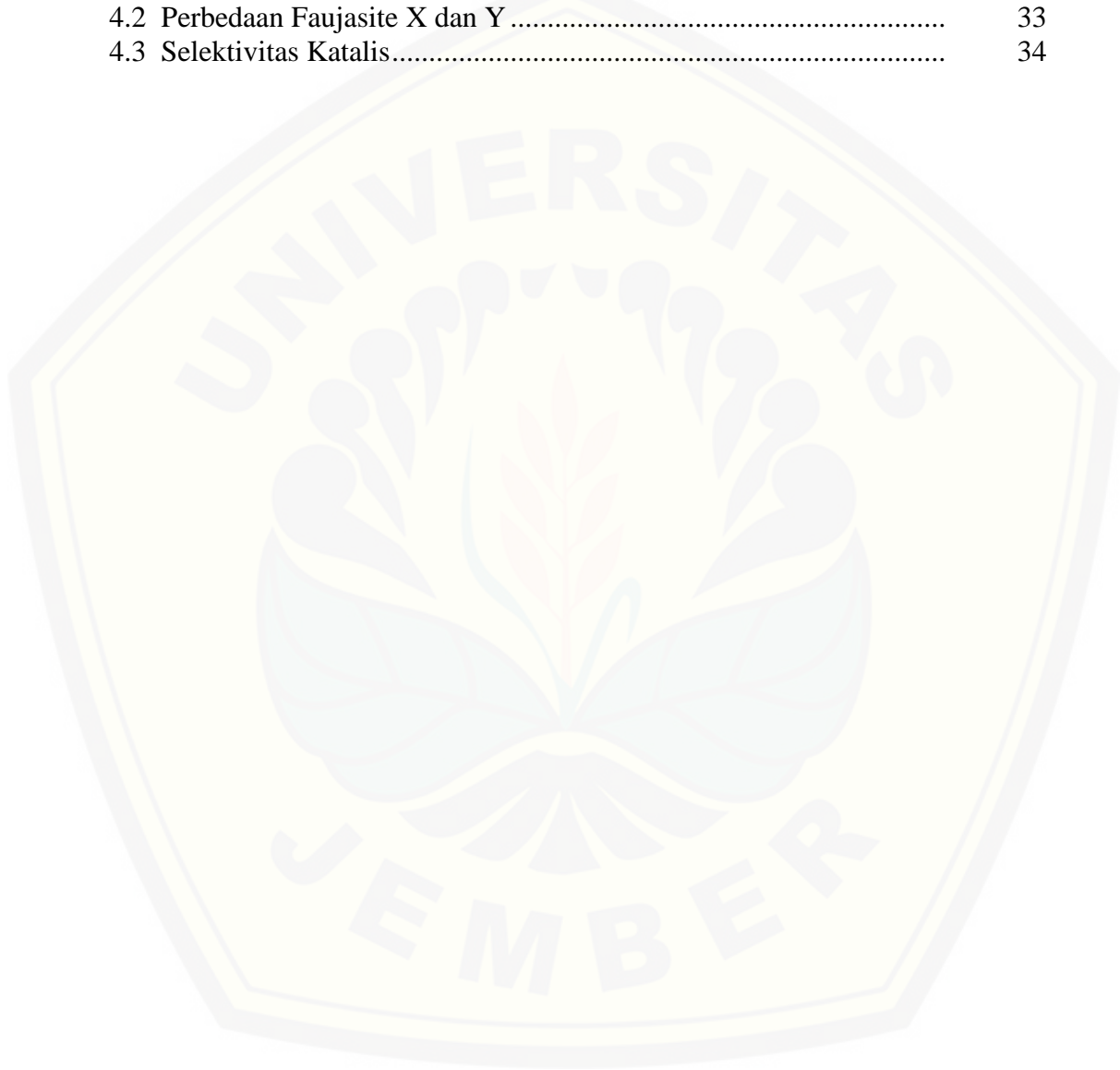
DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN SAMBUNG.....	i
HALAMAN JUDUL.....	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	iii
HALAMAN MOTTO.....	iv
HALAMAN PERNYATAAN.....	v
HALAMAN PEMBIMBINGAN.....	vi
HALAMAN PENGESAHAN.....	vii
RINGKASAN.....	viii
PRAKATA.....	x
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvi
BAB 1. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah.....	4
1.4 Tujuan Penelitian.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Minyak Sawit.....	5
2.2 Metil Ester Palm Oil.....	6
2.3 Abu Terbang Batu Bara (Fly Ash).....	7
2.3.1 Fly Ash Kelas F.....	7
2.3.2 Fly Ash Kelas C.....	8
2.4 Sifat Fisika Dan Kimia Fly Ash.....	8
2.5 Katalis.....	9
2.5.1 Kinerja Katalis.....	10
2.5.2 Sifat Fisik Katalis.....	11
2.6 Zeolit Faujasite.....	11
2.7 Impregnasi.....	13
2.8 Impregnasi Nikel.....	14
2.9 Reaksi Katalitik Heterogen.....	15
2.10 Hidrorengkah.....	17
2.11 Keasaman Katalis.....	17
2.12 Spektroskopi Serapan Atom.....	18
2.13 XRD.....	18
2.14 GC-MS.....	19
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN.....	21
3.1 Waktu Penelitian.....	21
3.2 Alat dan Bahan.....	21

3.2.1 Alat	21
3.2.2 Bahan	21
3.3 Diagram Alir Penelitian	22
3.4 Prosedur Penelitian	23
3.4.1 Preparasi Bahan	23
3.4.2 Preparasi <i>Fly Ash</i>	23
3.4.3 Hidrotermal	23
3.4.4 Hidrotermal	23
3.4.5 Impregnasi Ni	24
3.4.6 Kristalinitas Faujasite	24
3.4.7 Penentuan Konsentrasi Ni	24
3.4.8 Penentuan Konsentrasi Si dan Al	25
3.4.9 Penentuan Keasaman Total	25
3.4.10 Uji GC-MS	25
3.4.11 Proses Hidrorengkah MEPO	26
3.4.12 Perhitungan Aktivitas Dan Selektivitas	27
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	28
4.1 Sintesis Zeolit Faujasite Dari <i>Fly Ash</i>	28
4.1.1 Hasil Preparasi <i>Fly Ash</i>	28
4.1.2 Hidrotermal	29
4.2 Karakter Zeolit Faujasite	31
4.2.1 Karakter XRD Faujasite	31
4.2.2 Karakter Rasio Si/Al Faujasite	33
4.3 Aktivitas Dan Selektivitas Katalis	34
4.3.1 Aktivitas Katalis	34
4.3.2 Selektivitas Katalis	35
4.4 Pengaruh Variasi Impregnasi Nikel Terhadap Aktivitas Dan Selektivitas Katalis	37
4.4.1 Hubungan Antara Kadar Nikel Dengan Aktivitas Dan Selektivitas Katalis	37
4.4.2 Hubungan Antara Rasio Si/Al Dengan Aktivitas Dan Selektivitas Katalis	41
4.4.3 Hubungan Antara Keasaman Dengan Aktivitas Dan Selektivitas Katalis	46
BAB 5. PENUTUP	50
5.1 Kesimpulan	50
5.2 Saran	50
DAFTAR PUSTAKA	51
LAMPIRAN	56

DAFTAR TABEL

	Halaman
2.1 Komposisi Asam Lemak Dalam Minyak Sawit.....	5
2.2 Komposisi kimia <i>fly ash</i> PLTU Paiton Probolinggo.....	8
4.1 Perbandingan Puncak Karakteristik 2 Theta	32
4.2 Perbedaan Faujasite X dan Y	33
4.3 Selektivitas Katalis.....	34



DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 Kromatogram Mestil Ester Palm Oil	6
2.2 Diagram Energi Reaksi Dengan Menggunakan Katalis	9
2.3 Struktur Kerangka Zeolit Faujasite.....	12
2.4 Faujasite Dari <i>Fly Ash</i>	13
2.5 Kesetimbangan Situs Asam Bronsted Dan Lewis	17
2.6 Instrumentasi AAS.....	18
2.7 Instrumentasi XRD	19
2.8 Instrumentasi GC-MS	20
3.1 Reaktor <i>Fixed Bed</i>	26
4.1 Faujasite Sintesis Dari <i>Fly Ash</i>	29
4.2 Mekanisme Kristalisasi Sintesis Zeolite	30
4.3 Difraktogram XRD Faujasite Sintesis Dan Standart	31
4.4 Aktivitas Katalis	34
4.5 Grafik Persentase Nikel	37
4.6 Impregnasi Nikel	38
4.7 Hubungan Kadar Nikel Dengan Aktivitas Katalis.....	39
4.8 Akumulasi Logam Aktif Terimpregnasi Pada Mulut Pori Yang Menyebabkan Penurunan Luas Permukaan	40
4.9 Hubungan Kadar Nikel Dengan Selektivitas Katalis Terhadap Fraksi <i>Biogasoline</i> (C ₆ -C ₁₂).....	41
4.10 Grafik Rasio Si/Al	42
4.11 Ilustrasi Pelepasan Al	43
4.12 Hubungan Rasio Si/Al dengan Aktivitas Katalis	44
4.13 Hubungan Rasio Si/Al dengan Selektivitas Katalis Terhadap <i>Biogasoline</i> (C ₆ -C ₁₂).....	45
4.14 Grafik Keasaman Katalis.....	46
4.15 Akumulasi Logam Aktif Terimpregnasi Di Beberapa Tempat Dan Menyebabkan Luas Permukaan Zeolit Meningkatkan Sedikit Dan Logam Aktif Yang Terimpregnasi Sedikit	47
4.16 Kemisorpsi Amoniak Pada Permukaan Zeolit Dalam Menentukan Keasaman Katalis Pada Asam Bronsted (A) Asam Lewis (B).....	48
4.17 Hubungan Keasaman dengan Aktivitas Katalis	49
4.18 Hubungan Keasaman dengan Selektivitas Katalis Terhadap <i>Biogasoline</i> (C ₆ -C ₁₂)	50

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
A. Gambar Susunan Alat Oksidasi Dan Reduksi.....	56
B. Gambar Reaktor <i>Fluid Fixed Bed</i>	57
C. Rangkaian Alat Metode Gravimetri	58
D. Hasil Hidrorengkah	58
E. XRD Faujasite	58
E.1 Kromatogram XRD.....	58
E.2 Sudut Karakteristik	59
E.3 Kristalinitas	59
F. Perhitungan Impregnasi Ni, Keasaman, Rasio Si/Al, Pembuatan Larutan HCl 5M, Dan Pembuatan Larutan Garam Nikel Sulfat.	60
F.1 Kadar Nikel	60
F.2 Rasio Si/Al	60
F.3 Keasaman	61
F.4 Pembuatan Larutan HCl.....	61
F.5 Pembuatan Garam Nikel Sulfat.....	61
G. Kromatogram GC-MS.....	62
F.4 Kromatogram GC-MS Hasil Hidrorengkah Dengan Katalis Fly Ash Leaching	62
F.4 Kromatogram GC-MS Hasil Hidrorengkah Dengan Katalis Faujasite	63
F.4 Kromatogram GC-MS Hasil Hidrorengkah Dengan Katalis Ni-Faujasite 2%	64
F.4 Kromatogram GC-MS Hasil Hidrorengkah Dengan Katalis Ni-Faujasite 4%	65
G. Hubungan Antara Karakter Katalis Dengan Aktivitas Dan Selektivitas Katalis.....	66
G.1 Hubungan Antara Kadar Nikel Dengan Aktivitas Dan Selektivitas Katalis Terhadap Biogasoline.....	66
G.1 Hubungan Antara Rasio Si/Al Dengan Aktivitas Dan Selektivitas Katalis Terhadap Biogasoline.....	66
G.1 Hubungan Antara Keasaman Dengan Aktivitas Dan Selektivitas Katalis Terhadap Biogasoline.....	66
I. Difraktogram Faujasite X dan Y.....	67



**KONVERSI KATALITIK MINYAK SAWIT (MEPO) UNTUK
MENGHASILKAN *BIOGASOLINE* MENGGUNAKAN
KATALIS ZEOLIT FAUJASITE DARI *FLY ASH*
DENGAN IMPREGNASI NIKEL (Ni)**

SKRIPSI

Oleh

**Tommy Dutika Indarto
NIM 121810301033**

**JURUSAN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS JEMBER
2017**

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan manusia dalam bidang bahan bakar minyak semakin meningkat. Penggunaan bahan bakar minyak yang berasal dari minyak bumi tentunya akan semakin menipis. Bahan bakar minyak ini berasal dari fosil yang tertimbun setelah berjuta-juta tahun yang tidak dapat diperbaharui. Pemakaian bahan bakar minyak yang kian hari semakin meningkat tidak diimbangi dengan persediaannya. Upaya pencarian alternatif guna mendapatkan sumber bahan bakar yang dapat diperbaharui harus dilakukan.

Sumber energi yang dapat diperbaharui (*renewable resources*) salah satunya adalah produksi *biofuel* yang diperoleh dari minyak kelapa sawit. Komposisi minyak sawit terdiri dari rantai hidrokarbon panjang dengan kandungan asam oleat dan asam palmitat yang melebihi 80% menjadi potensi besar minyak kelapa sawit menjadi bahan baku. Minyak sawit dipilih karena sifatnya yang ramah lingkungan dengan terbebas dari senyawaan nitrogen dan sulfur. Hasil penelitian sebelumnya menyebutkan bahwa minyak sawit dapat dikonversi menjadi beberapa produk antara lain metana, etana, *biogasoline*, *biokerosene*, *biosolar*, dan produk aromatis berupa benzena, toluena dan xylena (Farouq *et al*, 2009).

Proses konversi minyak sawit dapat dilakukan dengan berbagai cara. Yusman (2012) melakukan perengkahan katalitik menggunakan *metil ester palm oil* dengan katalis zeolit alam (modernit) termodifikasi diimpregnasi dengan nikel 3% yang dilakukan dengan perbandingan berat minyak:katalis adalah 2:1 selama 30 menit pada suhu 450 °C menghasilkan fraksi *biogasoline* sebesar 12,06 %. Proses hidorengkah *metil ester palm oil* menggunakan katalis zeolit alam (modernit) termodifikasi diimpregnasi dengan nikel 2% yang dilakukan dengan perbandingan berat minyak:katalis adalah 2:1 selama 30 menit pada suhu 450 °C telah dilakukan oleh Junaidi (2011) dengan menghasilkan fraksi *biogasoline* sebesar 19,62%. Proses hidorengkah menghasilkan fraksi *biogasoline* lebih besar sehingga penelitian ini menggunakan proses hidorengkah.

Proses hidrorengkah dalam penelitian kali ini memakai zeolit faujasite yang disintesis dari *fly ash*. Zeolit alam (modernit) biasanya ditemukan dalam sedimen sebagai hasil alterasi debu vulkanik. Proses sedimentasi tersebut juga ikut tercampur dengan mineral lain seperti felspar dan kwarsa sehingga membentuk struktur yang tidak seragam dan tidak teratur. Ketidakteraturan itulah yang membuat para peneliti mineralogi membuat zeolit dengan kestabilan zeolit dengan mineral lainnya (Las, 2004). Zeolit sintetis dapat dibuat dalam kondisi hidrotermal. Sistem hidrotermal merupakan sistem tertutup dengan memakai air sebagai pelarut sehingga menghasilkan tekanan uap air pada sistem tersebut (Rodhie, 2006). Zeolit yang akan disintesis kali ini adalah zeolit faujasite. Zeolit faujasite merupakan zeolit sintesis dari sumber alumina dan silika dalam lingkungan larutan natrium hidroksida pada suhu 100 °C (Tovina, 2009). Zeolit ini memiliki struktur poros 3 dimensi dengan pori-pori yang saling tegak lurus dan dibangun dari unit pembangunan 4-6 dan 6-6 dengan rasio Si/Al dari faujasite sebesar 1-3 (Rodhie, 2006).

Peneliti sebelumnya telah melakukan sintesis faujasite dari *fly ash*. Sutarno (2004) menggunakan *fly ash* yang berasal dari PLTU Suralaya dengan kandungan rasio Si/Al 2.14 menghasilkan faujasite yang memiliki rasio Si/Al menjadi 2.79 dengan kristalinitas dari hasil XRD menunjukkan 70% (puncak utama) dari faujasite standart. Sintesis faujasite juga dilakukan oleh Somerset (2004) menggunakan *fly ash* dari afrika selatan dengan rasio Si/Al 1.95 dengan munculnya morfologi faujasite dengan menggunakan SEM kemudian munculnya spektrum OH kuat pada 3840-3500 cm^{-1} menggunakan FTIR namun masih ditemukan juga zeolit A dan *sodalite*. Sintesis zeolit faujasite pada penelitian kali ini berasal dari *fly ash* PLTU Paiton Probolinggo dengan kandungan terbesar SiO_2 yaitu 30,25 % dan Al_2O_3 yaitu 14.52 % (PJB Paiton, 2002). Kandungan tersebut berpotensi untuk dijadikan zeolit faujasite.

Hidrorengkah dalam penelitian kali ini menggunakan katalis faujasite yang disintesis dari *fly ash* yang diimpregnasi dengan logam Ni menjadi Ni-Faujasite. Logam nikel yang diimpregnasikan ke pengemban zeolit akan meningkatkan keasaman dan luas permukaan spesifik katalis jika logam Ni terembankan secara

merata di permukaan zeolit (Wulansari, 2004). Logam nikel jika dibandingkan dengan logam – logam transisi lain yang dapat diimbangkan pada permukaan zeolit seperti Co, Fe, dan Cr, logam Ni memiliki ukuran yang lebih kecil sehingga memudahkannya masuk dan berdifusi ke dalam pori pengemban. Hayat (2007) menjelaskan bahwa distribusi logam Ni^{2+} lebih baik daripada logam Co^{2+} yang didasari jari – jari logam Ni yang lebih kecil sehingga meningkatkan distribusinya di dalam maupun di luar rongga pori. Yusro (2012) menggunakan zeolit alam (modernit) yang diimpregnasi nikel 3% dengan proses hidrorengkah pada suhu 450 °C selama 30 menit pada *metil palmitat* menghasilkan fraksi *biogasoline* sebesar 12,01%. Sutarno (2007) melakukan impregnasi logam Ni pada perbandingan berat 4% dari katalis faujasite yang disintesis dari *fly ash* PLTU Suralaya dengan hidrorengkah pada petroleum distilat perbandingan berat minyak:katalis adalah 2:1 dengan kondisi suhu 320 °C selama 45 menit menghasilkan fraksi gasoline sebesar 8%.

Pemanfaatan katalis dari *fly ash* yang telah diimpregnasi oleh Ni sangat potensial untuk dikembangkan sebagai alternatif produksi *biogasoline* dari minyak kelapa sawit dengan metode hidrorengkah. Penelitian kali ini memakai katalis zeolit faujasite dari *fly ash* PLTU Paiton Probolinggo. Katalis zeolit faujasite dari *fly ash* kemudian diimpregnasi dengan logam aktif Ni. Sutarno (2007) mengungkapkan bahwa perubahan sifat katalitik suatu logam dapat terjadi dengan variasi komposisi pengemban dari preparasi pengembanan, oleh karena itu pada penelitian ini dilakukan variasi kadar logam Ni yang diimbangkan pada katalis. Hasil hidrorengkah tersebut akan dikarakterisasi menggunakan GC-MS.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana karakteristik katalis faujasite hasil sintesis dari *fly ash*?
2. Bagaimana pengaruh variasi impregnasi Ni pada katalis zeolit faujasite terhadap aktivitas dan selektivitas katalispada perengkahan minyak sawit menjadi *biogasoline*?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah diatas maka tujuan dalam penelitian ini adalah:

1. Mengetahui karakteristik katalis faujasite hasil sintesis dari *fly ash*?
2. Mengetahui pengaruh variasi impregnasi Ni pada katalis zeolit faujasite terhadap aktivitas dan selektivitas katalis pada perengkahan minyak sawit menjadi *biogasoline*?

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. *Fly ash* sebagai raw material zeolit faujasite berasal dari PLTU Paiton Probolinggo.
2. Umpan yang digunakan adalah *metil ester palm oil* (MEPO).
3. Reaktor menggunakan satu set reaktor jenis *fixed bed*.
4. Karakterisasi zeolit faujasite adalah Kristalinitas dan Rasio Si/Al
5. Karakterisasi katalis adalah kadar Nikel, Rasio Si/Al, dan Keasaman

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah:

1. Penelitian ini dapat digunakan sebagai solusi alternatif pembuatan *biogasoline* dari minyak sawit
2. Memberikan solusi dalam penanganan masalah pencemaran lingkungan akibat limbah *fly ash* batu bara.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Minyak Kelapa Sawit

Minyak yang dihasilkan dari bagian kulit atau sabut kelapa sawit dikenal dengan nama *Crude Palm Oil* (CPO). Minyak kelapa sawit digunakan sebagai bahan mentah minyak dan lemak pangan untuk menghasilkan minyak goreng, shortening, margarin, dan minyak makan lainnya. Minyak sawit mengandung asam lemak jenuh dan asam lemak tidak jenuh yang ikatannya mudah dipisahkan dengan alkali (Pasaribu, 2004).

Minyak sawit kasar (*Crude Palm Oil*, CPO) adalah suatu sumber energi alternatif potensial. Indonesia memproduksi sebesar 16 juta ton pertahun pada 2006. Indonesia memastikan diri untuk menjadi yang terbaik di Industri kelapa sawit di masa depan. Minyak sawit dapat diproses untuk menghasilkan suatu bahan bakar alternatif sebagai pengganti *gasoline*, *kerosene* dan *biosolar* karena minyak sawit memiliki rantai hidrokarbon panjang mirip minyak bumi (Heny, 2007).

Minyak kelapa sawit yang diperoleh dari pengolahan buah kelapa sawit (*laeis guinensis jacq*) terdiri dari gliserida campuran yang merupakan ester dari gliserol dan asam lemak rantai panjang. Umumnya komposisi asam lemak minyak sawit seperti terlihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Komposisi Asam Lemak dalam Minyak Sawit

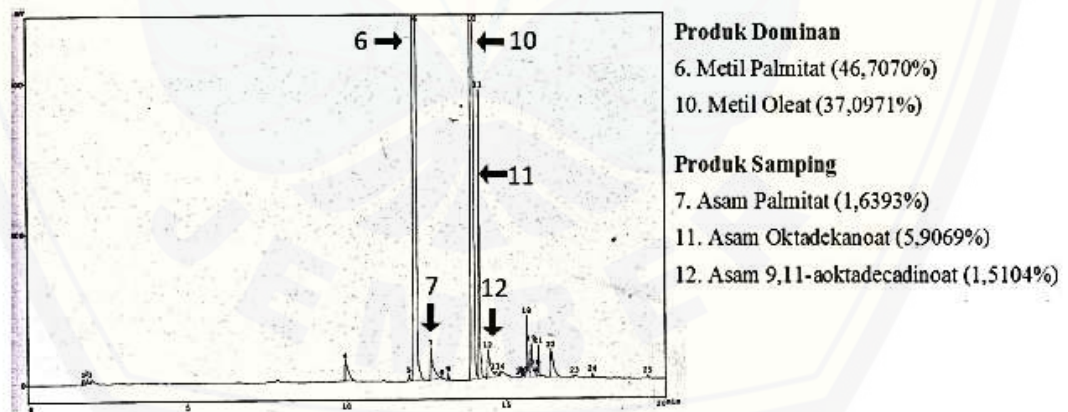
Nama Asam lemak	Rumus Asam Lemak	Komposisi
Laurat	C 12 : 0	0.2 %
Myristat	C 14 : 0	1.1 %
Palmitat	C 16 : 0	44.0 %
Stearat	C 18 : 0	4.5 %
Oleat	C 18 : 1	39.2 %
Linoleat	C 18 : 2	10.1 %
Lainnya	-	0.9 %

Sumber : Pahan (2008).

Minyak sawit banyak digunakan sebagai minyak goreng dan berfungsi sebagai penghantar panas, penambah rasa gurih, dan penambah nilai kalori bahan pangan yang dapat berasal dari hewan maupun tumbuhan. Perubahan minyak goreng sawit saat dipanaskan ditunjukkan oleh kandungan asam lemak. Kualitas minyak goreng ditentukan dari titik asapnya dimana temperatur saat triasilgliserol mulai terurai dengan adanya pemanasan pada udara terbuka. Titik asap pada minyak merupakan tanda telah terjadinya penguraian. Secara normal titik asap terjadi pada temperatur 200-221 °C dan akan berkurang dengan adanya penguraian produk. Semakin tinggi titik asap maka semakin baik mutu minyak goreng tersebut. Titik asap suatu minyak goreng dapat dilihat dari kandungan gliserol dan asam lemak bebas (Belitz dan Grosch, 2009).

2.2 Metil Ester Palm Oil

Reaktan yang dipakai pada proses hidorengkah adalah metil ester palm oil. *Metil ester palm oil* merupakan hasil dari transesterifikasi minyak sawit. Kromatogram MEPO dari hasil penelitian Haliq (2011) dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Kromatogram Metil Ester Palm Oil (Haliq, 2011)

Gambar 2.1 menunjukkan adanya 2 puncak yang dominan. Kedua puncak tersebut adalah senyawa metil palmitat yang muncul pada waktu retensi 12,229 menit dengan konsentrasi 46,7070% dan metil oleat pada waktu retensi 14,0150 menit dengan konsentrasi 37,0971%.

Kromatogram produk transesterifikasi juga menunjukkan adanya puncak - puncak lain yang cukup luas. Puncak – puncak tersebut terbaca pada waktu retensi 12,652 menit yang merupakan asam palmitat (1,6393%), waktu retensi 14,175 menit merupakan asam oktadekanoat (5,9069%) dan pada waktu retensi 14,429 menit adalah asam 9,11-oktadecadinoat (1,5104%). Metil palmitat dan metil oleat ditetapkan sebagai reaktan yang akan diumpangkan pada proses hidrorengkah. Sedangkan asam palmitat dan asam oleat tidak dikategorikan dalam reaktan sebab gugus asam karboksilat memiliki sifat lamban terhadap kebanyakan zat pereduksi termasuk gas hidrogen dengan katalis dalam proses hirorengkah (Fessenden, 1986).

2.3 Abu Terbang Batu Bara (*Fly ash*)

Fly ash merupakan limbah industri yang dihasilkan dari pembakaran batu bara yang memiliki ukuran butiran yang halus, berwarna keabu-abuan dan diperoleh dari hasil pembakaran batu bara. *Fly ash* mengandung unsur kimia antara lain silika (SiO_2), alumina (Al_2O_3), fero oksida (Fe_2O_3), kalsium oksida (CaO), magnesium oksida (MgO), dan titanium oksida (TiO_2). Karakteristik *fly ash*:

- Jumlah presentase lolos dari saringan (0,074 mm) berkisar antara 60% - 90%.
- Warna dari *fly ash* dapat bervariasi dari abu-abu sampai hitam tergantung dari jumlah kandungan karbonnya, semakin terang semakin rendah kandungannya.
- Fly ash* bersifat tahan air (*hydrophobic*)

(Setiawan *et al*, 2009).

2.3.1 *Fly ash* kelas F

Pembakaran batu bara antrasit atau bitominus biasanya menghasilkan *Fly ash* kelas F. *Fly ash* ini adalah pozzolanik di alam, dan mengandung kurang dari 20% kapur (CaO). *Fly ash* kelas f memiliki sifat pozzolani dimanfaatkan sebagai semen portland, atau kapur terhidrasi yang direaksikan dengan air dan menghasilkan senyawa semen, atau penambahan aktivator kimia seperti natrium silikat menyebabkan pembentukan geopolimer (Das, 2011).

2.3.2 *Fly ash* kelas C

Fly ash yang dihasilkan dari pembakaran lignit atau batu bara *subbitumes*, selain memiliki sifat pozzolanik juga memiliki sifat yang berfungsi sebagai semen. Keberadaan air dari *Fly ash* kelas C akan mengeras dari waktu ke waktu. *Fly ash* kelas C umumnya mengandung lebih dari 20% kapur (CaO). Alkali dan sulfat (SO₄) yang terdapat dalam *Fly ash* kelas C umumnya lebih tinggi daripada *Fly ash* kelas F (Das, 2011).

2.4 Sifat Kimia dan Sifat Fisika *Fly ash*

Fly ash batu bara terdiri dari butiran halus yang umumnya berbentuk bola padat atau berongga. Kerapatan *fly ash* berkisar antara 2100 sampai 3000 kg/m³ dan luas area spesifiknya antara 170 sampai 1000 m²/kg, sedangkan ukuran partikel rata-rata *fly ash* batu bara jenis sub-bituminous 0,01 mm – 0,015 mm, luas permukaannya 1-2 m²/g, dan massa jenis (*specific gravity*) 2,2–2,4 (Nugroho dan Antoni, 2007). Kandungan kimia dari *fly ash* PLTU Paiton Probolinggo memiliki kandungan silika dan alumina dengan persentase yang besar seperti yang tertera pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Komposisi kimia *Fly ash* PLTU Paiton Probolinggo

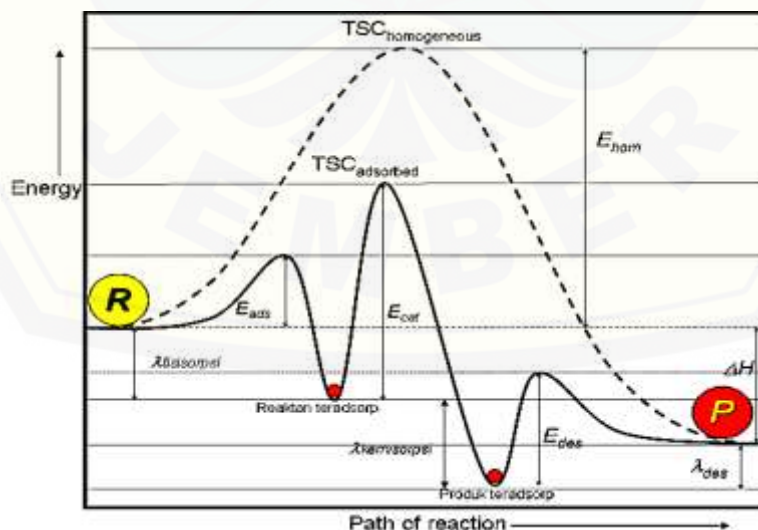
No	Komposisi Kimia	Satuan	Abu batu bara dari PLTU Paiton
1.	SiO ₂	%	30,25 – 36,83
2.	Al ₂ O ₃	%	14,52 – 23,78
3.	Fe ₂ O ₃	%	13,46 – 19,94
4.	CaO	%	11,40 – 16,57
5.	MgO	%	5,360 – 8,110
6.	Mn ₃ O ₄	%	0,140 – 0,480
7.	Na ₂ O	%	0,250 – 0,740
8.	K ₂ O	%	0,630 – 1,320
9.	TiO ₂	%	0,830 – 1,050
10.	SO ₃	%	3,010 – 7,280
11.	P ₂ O ₃	%	0,630 – 3,750

Sumber : PJB Paiton (2002).

2.5 Katalis

Katalis merupakan substansi yang menyebabkan perubahan laju reaksi yang besar dan terlibat dalam reaksi untuk menghasilkan produk meskipun akan diperoleh kembali pada akhir reaksi (Satterfield, 1980). Peran aktif katalis tersebut terlihat dari interaksi antara katalis dengan reaktan selama reaksi berlangsung. Interaksi katalis dengan reaktan dibedakan menjadi dua macam berdasarkan fase penyusunnya yaitu katalis homogen dan heterogen. Katalis homogen adalah katalis yang memiliki fase yang sama dengan reaktan dalam campuran reaksinya sedangkan katalis heterogen adalah katalis yang memiliki fase yang berbeda dengan reaktan dalam campuran (Atkins, 1997).

Peranan suatu katalis dalam reaksi kimia sangat menentukan laju pembentukan produk yang diinginkan. Katalis tidak merubah konstanta kesetimbangan reaksi, katalis hanyalah mempercepat laju reaksi yang berarti katalis berdampak pada peningkatan konstanta kecepatan reaksi. Secara kinetik konsentrasi tumbukan akan meningkat dan terlokalisasi, sehingga tumbukan tersebut akan lebih efektif pada tiap tahap reaksi memiliki energi aktivasi relatif lebih rendah daripada reaksi tanpa katalis (Smith, 1970). Gambar 2.2 terdapat diagram yang menggambarkan penggunaan energi dengan dan tanpa katalis dalam suatu reaksi.



Gambar 2.2 Diagram energi reaksi dengan menggunakan katalis (Satterfield, 1980).

Praktek katalis umumnya memiliki daerah temperatur operasi antara 20 °C hingga 500 °C jika diberikan temperatur kurang dari temperatur batas bawah (20 °C) maka reaksi katalitik akan berjalan sangat lambat dan lebih mahal (tidak ekonomis) karena membutuhkan energi untuk meningkatkan probabilitas terjadinya tumbukan. Sebaliknya jika temperatur di atas 500 °C maka selektivitas produk reaksi relatif sangat sulit dicapai, kecuali jika produk yang dihasilkan sangat stabil (Satterfield, 1980). Beberapa faktor yang perlu diperhatikan dalam pemanfaatan suatu katalis adalah aktivitas, selektivitas, waktu pakai katalis, kemampuan untuk dapat diregenerasi.

2.5.1 Kinerja Katalis

Kinerja katalis ditentukan oleh tiga hal yaitu aktivitas, selektivitas terhadap produk dan stabilitas operasi (umur katalis). Katalis sama seperti substansi yang lain yang memiliki waktu pakai (*life time*), menurut Satterfield (1980) waktu pakai inilah yang dominan menentukan efektivitas kelayakan katalis.

a. Aktivitas katalis

Aktivitas katalis adalah kemampuan suatu katalis atau senyawa kimia untuk mengkatalisis reaksi kimia untuk mencapai keadaan setimbang. Aktivitas katalis biasanya dinyatakan dalam persentase konversi atau jumlah produk baru yang dihasilkan dari (jumlah) reaktan dalam waktu tertentu (Satterfield, 1980).

b. Selektivitas katalis

Kemampuan suatu katalis untuk menyokong satu atau beberapa macam produk yang dikehendaki dari keseluruhan macam produk yang mungkin dapat terjadi. Kualitas katalis menentukan selektivitasnya terhadap produk yang diinginkan. Selektivitas katalis sangat bergantung pada tekanan, temperatur reaksi, komposisi reaktan, luas permukaan dan distribusi ukuran pori (Satterfield, 1980).

c. Waktu pakai katalis

Aktivitas katalis sangat berkaitan erat dengan kondisi waktu pakai katalis yang meliputi temperatur, tekanan, yang digunakan dan frekuensi penggunaan katalis. Waktu pakai katalis dijelaskan sebagai kemampuan katalis untuk dapat digunakan dalam waktu proses yang sama dalam satu *batch* (Satterfield, 1980).

2.5.2 Sifat Fisik Katalis

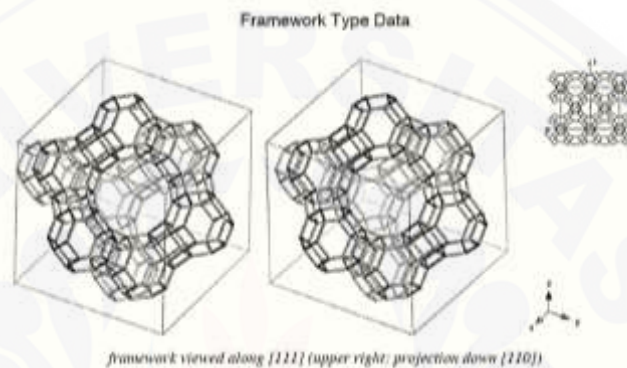
Kemampuan suatu padatan sebagai katalis sangat berkaitan erat dengan pori dan luas permukaan. Penentuan pori suatu permukaan katalis merupakan bagian yang cukup penting pada karakterisasi padatan, karena sangat berhubungan dengan aktivitas katalis. Semakin luas permukaan katalis maka akan semakin banyak molekul pereaksi yang dapat teradsorpsi pada permukaan dan akan bereaksi sehingga dapat menghasilkan produk dengan waktu cepat (Smith, 1970).

Beberapa penyebab penurunan kemampuan waktu pakai katalis adalah terjadinya keracunan katalis (*poisoning*) yang disebabkan adanya unsur tertentu yang menyebabkan situs aktif katalis tertutup dalam senyawa yang diumpankan ke dalam reaktor dan teradsorpsi dengan mudah ke permukaan katalis. Terjadinya pengotoran (*fouling*) pada permukaan katalis yang disebabkan oleh pengotor yang mengendap dan teradsorpsi secara fisik maupun kimia pada permukaan katalis sehingga akan mengurangi luas permukaan katalis. Terjadinya penggumpalan diakibatkan karena terjadi kerusakan struktur pengemban yang disebabkan suhu operasi yang terlalu tinggi. Penurunan aktivitas katalis banyak disebabkan oleh terbentuknya endapan kokas yang menyumbat katalis. Pemakaian katalis yang berulang-ulang akan menyebabkan endapan kokas yang semakin banyak sehingga aktivitas katalis menurun sehingga untuk meningkatkan aktivitas katalis maka katalis harus diregenerasi (Satterfield, 1980).

2.6 Zeolit Faujasite

Faujasite ditemukan pada tahun 1784 oleh seorang profesor geologi asal perancis bernama Barthelemy Faujas de Saint-Fond dalam bukunya berjudul "Mineralogies des Volcans". Bentuk penghormatan pada tahun 1842 dilakukan dengan mengambil nama faujasite (FAU) dari zeolit yang ditemukannya. Faujasite dapat disintesis sama seperti zeolit lainnya yang berasal dari sumber silika dan alumina. Bahan tersebut kemudian dilarutkan dalam natrium hidroksida dan dikristalisasi pada suhu 70 sampai 300 °C (umumnya 100 °C) dan pada akhirnya terbentuk struktur zeolit jenis faujasite (Tovina, 2009).

Zeolit ini memiliki struktur poros 3 dimensi dengan pori-pori yang saling tegak lurus dan dibangun dari unit pembangunan 4-6 dan 6-6. Diameter pori dari faujasite yaitu 7,4 Å sedangkan rongga dalamnya memiliki diameter 12 Å yang dikelilingi oleh 10 *solidtaes cages*. Satu unit sel faujasite berbentuk kubus dengan panjang sisi 24,7 Å dengan simetri Fd-3m (Ahkam, 2011). Struktur kerangka dari faujasite dapat dilihat pada Gambar 2.3.

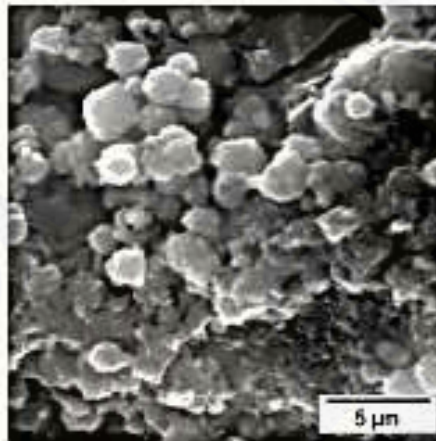


Gambar 2.3 struktur kerangka zeolit faujasite (Baerlocher, 2007).

Zeolit faujasite memiliki dua jenis yang dilihat dari kandungan rasio Si/Al. Zeolit faujasite kaya silikon atau Zeolit Y yang mempunyai rasio Si/Al antara 1,5-3 dan zeolit kaya aluminium atau zeolit X yang mempunyai rasio Si/Al 1-1,5 (Kasmui *et al*, 2008). Perbedaan kandungan kimia dari masing-masing zeolit tersebut menyebabkan kegunaan dari zeolit tersebut juga berbeda. Zeolit X sering digunakan untuk perengkahan katalitik maupun hidrorengkah dan mereduksi NO, NO₂, dan CO₂. Zeolit Y sering digunakan sebagai pemisah fruktosa-glukosa, pemisah N₂ di udara dan bahan pendingin kering (Rodhie, 2006).

Sintesis Zeolit dari abu layang telah banyak dilakukan namun hasil yang diperoleh kebanyakan masih berupa campuran mineral Zeolit seperti *Faujasite*, Zeolit A, *Analcime*, *Hydroxysodalite* dan Zeolit-P. Metode sintesis Zeolit yang telah dilakukan adalah melalui proses refluks abu layang batu bara dengan larutan NaOH dalam berbagai konsentrasi pada suhu 90 °C dengan berbagai variasi waktu sintesis. Metode ini banyak dilakukan untuk sintesis zeolit A (*Linde type A*), zeolit-P, *kalsilite* dan *sodalite* (Sutarno, 2004).

Usaha untuk memperoleh mineral zeolit tipe faujasite secara selektif dari abu layang dilakukan dengan proses peleburan abu layang batu bara menggunakan NaOH yang dilanjutkan dengan reaksi hidrotermal. Hasil yang diperoleh belum maksimal karena masih ditemukannya sejumlah spesi zeolit P dan sodalite pada hasil sintesisnya. Faujasite hasil hidrotermal dapat dilihat pada Gambar 2.4 yang berasal dari pengamatan menggunakan SEM



Gambar 2.4 Faujasite dari *fly ash* (Sutarno, 2004)

2.7 Impregnasi

Zeolit dapat ditingkatkan kinerjanya dengan cara menempelkan logam katalis pada zeolit. Logam yang diimbangkan pada zeolit akan dapat meningkatkan aktivitas katalis secara keseluruhan karena logam-zeolit akan memiliki fungsi ganda yaitu di samping logam sebagai katalis zeolitnya sendiri bersifat katalis, katalis semacam ini biasanya disebut sebagai katalis bifungsional. Logam yang biasa digunakan katalis biasanya logam-logam transisi (Hegedus *et al*, 1999).

Impregnasi merupakan teknik penempelan logam pada pengemban secara fisik. Terdapat dua cara impregnasi (Augustine, 1996) yaitu :

1. Impregnasi kering yaitu bahan pengemban dibasahi dengan larutan yang sesuai dengan volume pori kemudian dikeringkan.
2. Impregnasi basah yaitu bahan pengemban direndam dalam larutan garam dengan volume larutan garam melebihi volume pori dari pengemban.

Logam-logam transisi mempunyai daya adsorpsi yang kuat karena mempunyai pasangan elektron menyendiri pada orbital d. Adanya elektron pada orbital d didukung dengan keadaan elektron orbital s akan menjadi perbedaan tingkat energi yang lebih besar pada keadaan paling aktif dalam pemutusan dan pembentukan ikatan kimia. Hal ini yang menyebabkan logam-logam transisi makin reaktif sebagai katalis (Hegedus *et al*, 1999).

2.8 Impregnasi Nikel

Logam transisi golongan VIIB yang diimpregnasikan pada permukaan yang memiliki luas permukaan dan stabilitas termal tinggi akan memberikan aktifitas katalitik yang tinggi dengan menyediakan situs aktif. Logam transisi golongan VB, VIB dan VIIB dalam bentuk oksidanya memberikan kemampuan untuk membuat penambahan nukleofilik pada kisi atom oksigennya. Nikel merupakan golongan transisi dengan konfigurasi elektron $[\text{Ar}] 4s^2 3d^8$ yang memiliki dua suborbital d yang belum terisi penuh. Kedua suborbital inilah yang aktif dalam pembentukan senyawa intermediet dengan reaktan dan menurunkan energi aktivasi reaksi (Campbell, 1988).

Logam nikel dipergunakan secara luas sebagai katalis untuk hidrogenasi atau pembekuan minyak yang merupakan bahan dasar yang digunakan dalam pembuatan sabun dan produk-produk makanan, untuk pembuatan hidrogen dari gas alam atau gas buangan yang dihasilkan dari pemurnian dan pemecahan minyak bumi. Penggunaan logam Ni sebagai katalis dalam reaksi-reaksi pemutusan rantai hidrokarbon diketahui tidak terbatas hanya pada pemutusan C terminal saja, seperti pada platina (Pt). Keunggulan Ni yang lain adalah ikatan yang dibentuk antara Ni dengan reaktan relatif lemah sehingga produk reaksi mudah terlepas dari permukaan katalis. Proses reaksi bisa berlangsung lebih cepat, walaupun produk hasil reaksi memiliki range panjang rantai karbon yang cukup lebar (Satterfield, 1980). Logam nikel merupakan katalis yang paling banyak digunakan dalam proses reaksi hidrogenasi dibandingkan unsur-unsur transisi lain dalam golongan yang sama karena nikel lebih ekonomis dan efisien (Ketaren, 1986). Ion Ni^{2+} memiliki jari-jari $0,69 \text{ \AA}$ (Cotton dan Wilkinson, 1989).

2.9 Reaksi Katalitik Heterogen

Secara umum faktor–faktor yang berpengaruh dalam reaksi katalitik heterogen adalah keasaman zeolit, luas permukaan zeolit, selektivitas zeolit, dan penyaringan molekuler. Proses reaksi yang terjadi terdapat beberapa tahapan yang perlu diperhatikan selama proses reaksi berlangsung, yaitu:

- 1) difusi reaktan dari fasa alir ke situs aktif katalis melalui saluran dan pori katalis (proses fisisorpsi),
- 2) proses kemisorpsi pada permukaan katalis,
- 3) reaksi kimia pada permukaan katalis,
- 4) desorpsi produk dari permukaan katalis,
- 5) difusi produk melalui saluran pori katalis ke fasa alir.

(Campbell, 1988).

Fungsi katalis dalam reaksi katalitik heterogen adalah menyediakan situs aktif sehingga reaktan saling bertemu dan terjadi reaksi. Adsorpsi reaktan pada situs aktif disertai pelepasan energi yang memudahkan molekul reaktan untuk melewati energi pengaktifan. Aktivitas suatu katalis dipengaruhi oleh kekuatan adsorpsi reaktan pada permukaan katalis, adsorpsi yang terlalu lemah menyebabkan energi yang kecil, sehingga fraksi permukaan yang ditempati oleh reaktan menjadi kecil sehingga berjalan dengan lambat (Gasser, 1979).

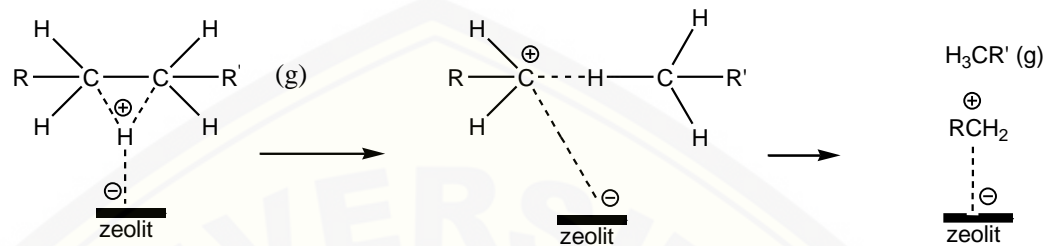
Proses adsorpsi terjadi karena adanya interaksi gaya pada permukaan padatan dengan molekul-molekul adsorbat. Energi adsorpsi yang dihasilkan bergantung pada tipe adsorpsi yang terjadi. Adsorpsi dibedakan menjadi dua, yaitu:

- a. Fisisorpsi merupakan peristiwa interaksi molekul dengan permukaan padatan bersifat reversibel, artinya semua molekul gas yang teradsorpsi secara fisik dapat dilepaskan kembali dengan menaikkan suhu atau menurunkan suhu.
- b. Kemisorpsi merupakan peristiwa adsorpsi yang disebabkan adanya interaksi orbital molekul pada permukaan padatan dengan molekul adsorbat (reaktan) dan bersifat irreversibel.

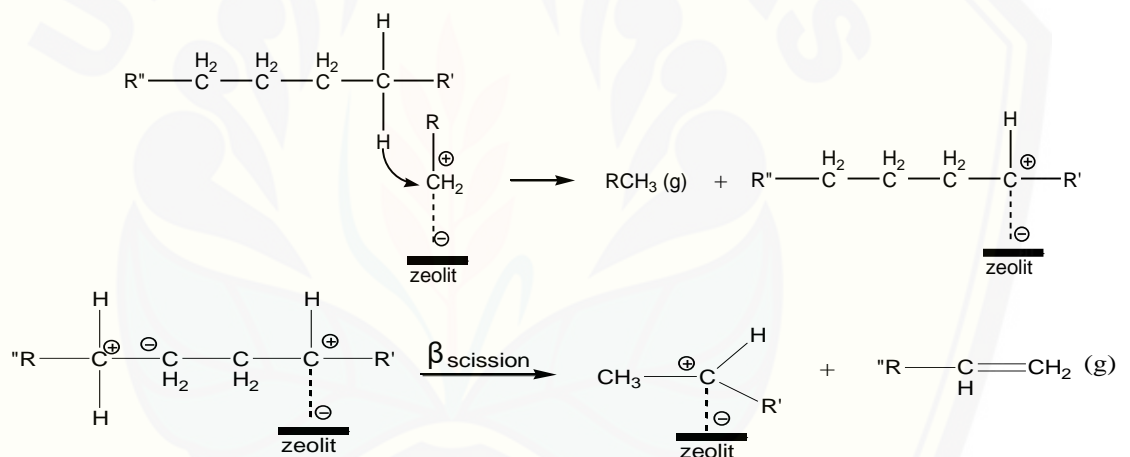
(Gasser, 1979).

Menurut Campbell (1988), mekanisme reaksi katalitik terdapat 3 tahapan utama, yaitu inisiasi, propagasi dan terminasi. Tahapan tersebut digambarkan sebagai berikut,

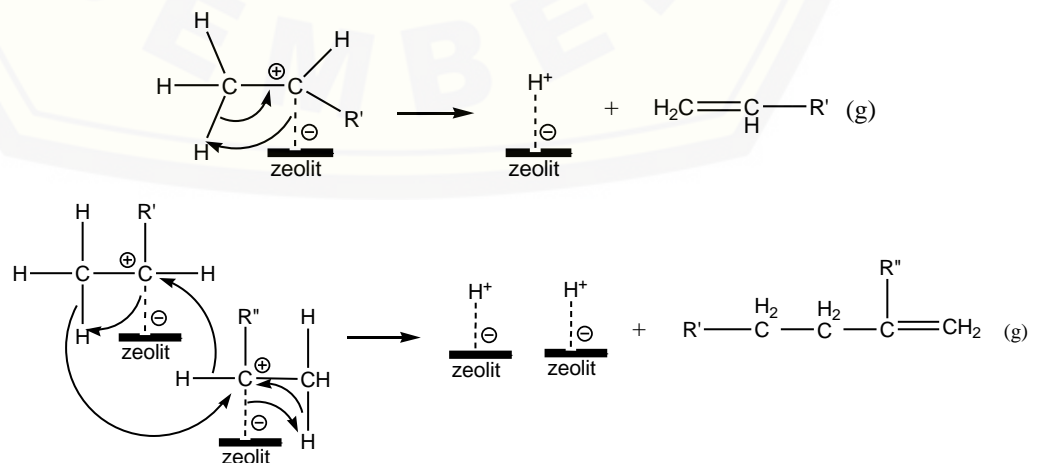
a. Tahap inisiasi, yaitu tahap pembentukan ion karbonium



b. Tahap propagasi, yaitu tahap interaksi antara ion karbonium dengan reaktan sehingga terjadi reaksi



c. Tahap terminasi, yaitu tahap diperoleh katalis H-Zeolit kembali

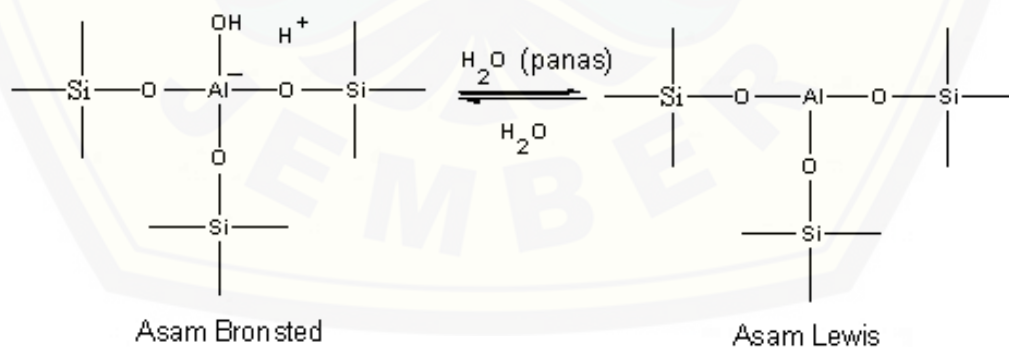


2.10 Hidrorengkah (*hydrocracking*)

Hidrorengkah (*hydrocracking*) merupakan proses reaksi pemutusan ikatan rantai karbon fraksi panjang menjadi ikatan rantai karbon fraksi pendek (perengkahan) dengan menggunakan hidrogen sebagai umpan (*feed*) tambahan. Prakteknya reaksi hidrorengkah dapat menggunakan katalis maupun tanpa katalis dalam reaksinya. Penggunaan hidrogen dapat diperuntukkan proses deoksigenasi. Katalis yang banyak digunakan dalam *hydrocracking* adalah zeolit dengan pori besar (meso pori) yang diimpregnasikan logam aktif seperti Pt, Pd, Ni, Co-Mo, Ni-Mo (Lungstein *et al*, 1999). Biasanya proses dilangsungkan pada temperatur 270-450 °C. Fungsi utama yang lain dari hidrogen dalam reaksi hidrorengkah adalah untuk mencegah deaktivasi katalis melalui hidrogenasi prekursor pembentukan kokas (Barrer, 1978).

2.11 Keasaman Katalis

Keasaman merupakan salah satu karakter penting dalam suatu padatan yang digunakan sebagai katalis heterogen. Gambar 2.5 memperlihatkan kesetimbangan antara asam Bronsted dan Lewis. Teori asam Bronsted yaitu zat yang memiliki kecenderungan untuk melepaskan proton (H^+). Teori Lewis menyatakan bahwa asam suatu zat padatan didefinisikan sebagai kemampuan suatu padatan untuk menerima pasangan elektron oleh nikel.

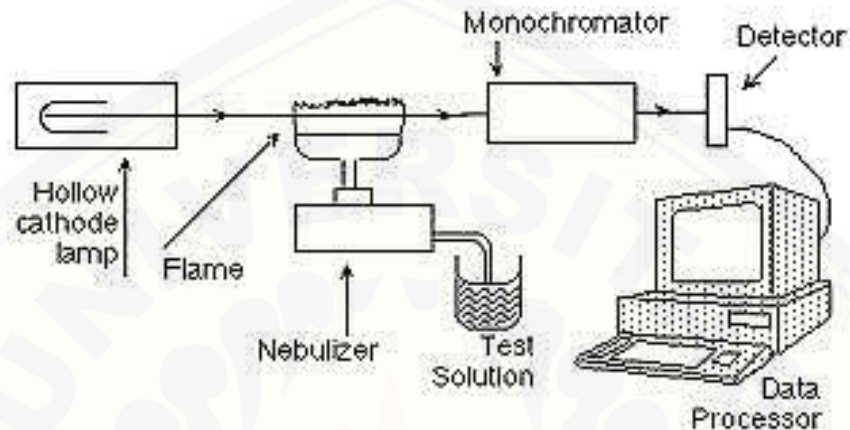


Gambar 2.5 Kesetimbangan situs asam Bronsted dan Lewis(Satterfield, 1980)

Penentuan keasaman total suatu padatan dapat dilakukan dengan cara gravimetri yaitu penimbangan berdasarkan selisih berat antara berat padatan yang telah mengadsorpsi basa dengan berat padatan sebelum mengadsorpsi basa, sehingga dapat dihitung jumlah asamnya (Handoko, 2001).

2.12 Spektroskopi Serapan Atom

Proses analisa menggunakan metode spektroskopi serapan atom (AAS, *Atomic Absorption Spectroscopy*) terjadi tahapan atomisasi dalam pembentukan atom netral wujud gas (Skoog, 1993). Instrumen AAS dapat dilihat pada Gambar 2.6



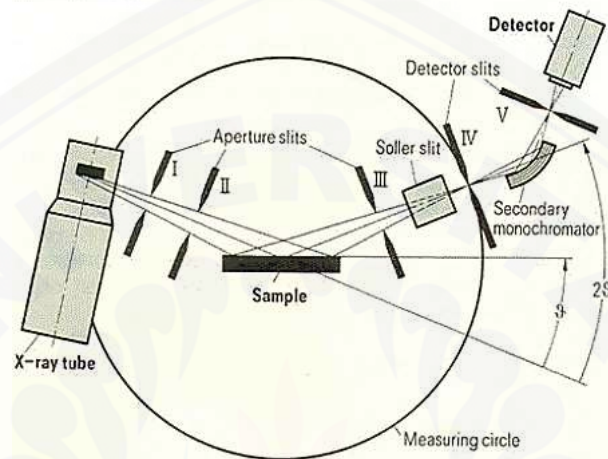
Gambar 2.6 Instrumentasi AAS (Skoog, 1993)

Tahap atomisasi melalui proses penyemprotan larutan membentuk kabut pada nyala api. Tahap selanjutnya terjadi *desolvasi* pelarut menghasilkan partikel yang halus pada nyala. Partikel tersebut kemudian berubah menjadi gas, selanjutnya sebagian atau seluruh partikel mengalami disosiasi menjadi atom – atom (Christian dan Gary, 1994). Proses ini diakibatkan oleh pengaruh langsung dari panas oleh substansi – substansi dalam nyala (Zainuddin, 1998).

2.13 Spektroskopi Difraksi Sinar-X (XRD)

Difraksi sinar-X merupakan suatu teknik yang digunakan untuk mengidentifikasi adanya fasa kristalin di dalam material-material benda dan serbuk, dan untuk menganalisis sifat-sifat struktur (seperti stress, ukuran butir, fasa komposisi orientasi kristal, dan cacat kristal) dari tiap fasa. Metode ini menggunakan sebuah sinar-X yang terdifraksi seperti sinar yang direfleksikan dari setiap bidang, berturut-turut dibentuk oleh atom-atom kristal dari material tersebut. Susunan ini diidentifikasi dengan membandingkannya dengan sebuah data base internasional (Zakaria, 2003).

Prinsip dari alat XRD (*X-ray powder diffraction*) adalah sinar-X yang dihasilkan dari suatu logam tertentu memiliki panjang gelombang tertentu sehingga dengan memvariasi besar sudut pantulan sehingga terjadi pantulan elastis yang dapat dideteksi. Instrumentasi dari XRD dapat dilihat pada Gambar 2.7



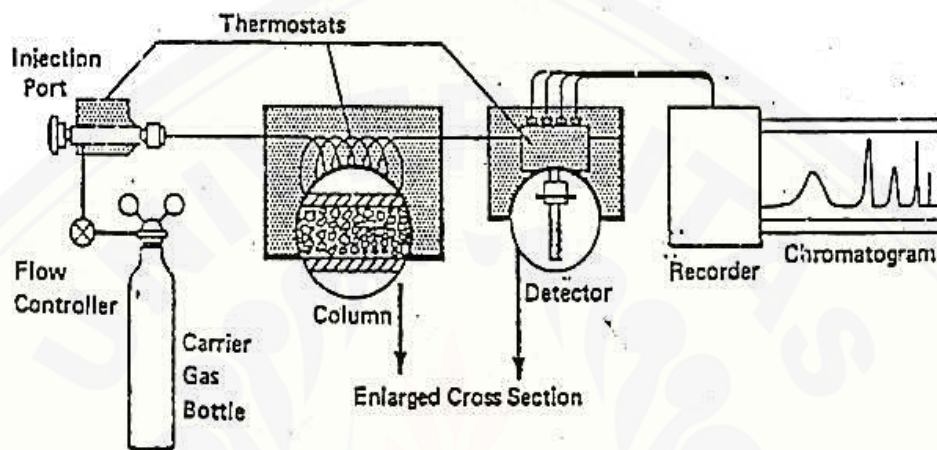
Gambar 2.7 Instrumentasi XRD (Zakaria, 2003).

Bahan yang dikenai sinar-X maka intensitas sinar-X yang ditransmisikan lebih kecil dari intensitas sinar datang. Hal ini disebabkan adanya penyerapan oleh bahan. Berkas sinar yang dihantarkan tersebut ada yang saling menghilangkan karena fasenya berbeda dan ada juga yang saling menguatkan karena fasenya sama. Berkas sinar-X yang saling menguatkan disebut sebagai berkas difraksi (Suryanarayana dan Norton, 1998).

2.14 Gas Chromatography-Mass Spectroscopy (GC-MS)

GC-MS adalah metode yang mengombinasikan kelebihan dari kromatografi gas dan spektrometri massa untuk mengidentifikasi substansi yang berbeda-beda dalam sampel uji. Keuntungan spektrometri massa adalah ketepatannya dalam menentukan fragmentasi dan molekul-molekul serta dapat mengidentifikasi komponen-komponen yang terdapat dalam jumlah kecil. Metode ini bisa digunakan untuk analisis senyawa-senyawa yang mudah menguap (Hendayana, 2006).

Instrumen GC-MS, terdapat dua blok utama yaitu kromatografi gas dan spektrometri massa. Kromatografi gas menggunakan kolom kapiler yang bergantung pada dimensi kolom dan juga sifat interaksi fase. Instrumentasi dari GC-MS dapat dilihat pada Gambar 2.9



Gambar 2.9 Instrumentasi GC-MS (Hendayana, 2006)

Perbedaan sifat kimia senyawa yang terdapat dalam sampel akan memisahkan molekul saat sampel melewati kolom yang ditunjukkan dengan beda waktu retensi elusi. Proses selanjutnya kemudian molekul akan masuk pada spektrometri massa untuk ditangkap, diionisasikan, dan difragmentasikan sehingga terpecah menjadi fragmen-fragmen yang dapat dideteksi sebagai rasio massa dan muatan (Hendayana, 2006).

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Pelaksanaan penelitian akan dilaksanakan di Laboratorium Kimia Fisik dan Kimia Organik Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember. Penelitian dilakukan mulai Juni sampai dengan Januari.

3.2 Alat dan Bahan

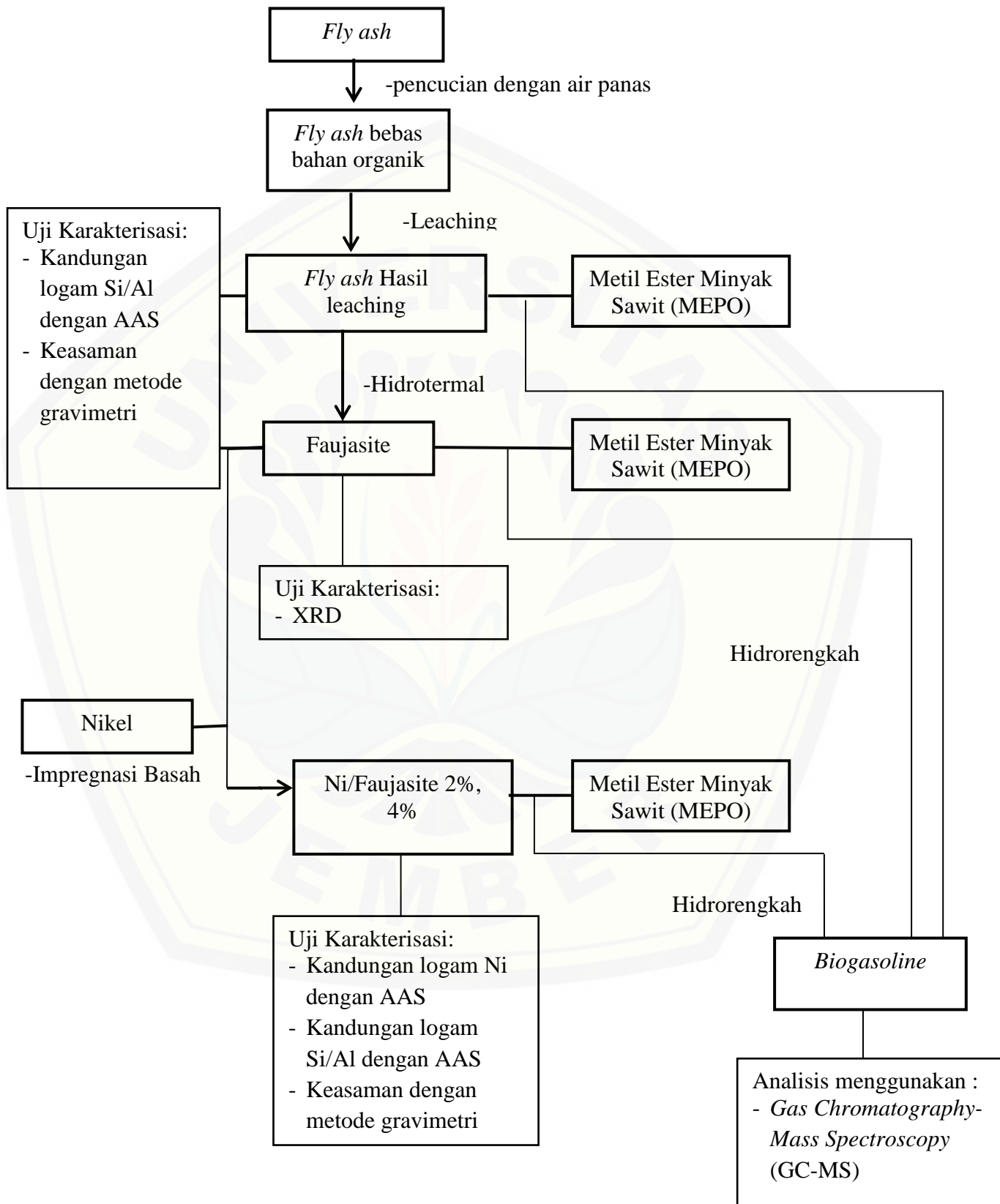
3.2.1 Alat Penelitian

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah gelas ukur 50 mL, *beaker glass* 50, 100, dan 250 mL, labu ukur 100 dan 250 mL, erlenmeyer 250 mL, pengaduk gelas, labu leher tiga 100 mL, pipet tetes, corong pisah, pipet volume 10 dan 25 mL, neraca analitik *Ohaus Analytical Plus*, stirrer magnetic, Furnace 1400 *Barnsted Thermolyne*, desikator, oven *Memert*, termometer, spektrofotometer serapan atom (AAS) *Buck Scientific*, Indikator pH universal, cawan porselin, satu set alat hidrotermal autoklaf, satu set reaktor jenis *fixed bed*, XRD *Xpert MPD* dan GC-MS *Shimadzu QP 2010Hz*.

3.2.2 Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah *fly ash* dari PLTU Paiton-Probolinggo, Metil ester palm oil (lemigas), $\text{Ni}(\text{SO}_4) \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 97% (merck), kristal NaOH (merck), HCl 37% (merck), kertas saring Whatman 41, NH_3 25% pa (merck), akuades (teknis), Na_2SO_4 anhidrat (merck), gas oksigen (samator), dan gas hidrogen (samator)

3.3 Diagram Alir Penelitian



3.4 Prosedur Penelitian

3.4.1 Preparasi Bahan

a. Pembuatan Larutan HCl 5M

Pembuatan larutan HCl 5M dilakukan dengan cara mengencerkan HCl sebanyak 0.414 L dimasukkan kedalam labu ukur 1 L. Air ditambahkan hingga tanda batas kemudian diaduk.

b. Pembuatan Larutan Ni(SO₄).6H₂O 2%

Garam Ni(SO₄) ditimbang sebanyak 1.79 gram. Garam dimasukkan ke dalam gelas beaker 250 mL kemudian dilarutkan dengan 100 mL akuades. Diaduk hingga rata.

c. Pembuatan Larutan Ni(SO₄).6H₂O 4%

Garam Ni(SO₄) ditimbang sebanyak 3.58 gram. Garam dimasukkan kedalam gelas beaker 250 mL kemudian dilarutkan dengan 100 mL akuades. Diaduk hingga rata.

3.4.2 Preparasi *Fly ash*

Sampel (*fly ash*) sebanyak 50 gram yang diambil dari PLTU Paiton- Probolinggo direndam dan diaduk dalam air panas suhu 100 °C selama 2 jam untuk mengekstrak bahan organik larut air.

3.4.3 Leaching *Fly ash*

Refluks 10 g *fly ash* dan 100 mL larutan HCl 5 M. Refluks dilakukan pada temperatur 90 °C selama 1 jam. *Fly ash* hasil refluks kemudian dicuci dengan akuades sampai pH filtrat pencucian netral dan padatan dikeringkan dalam oven. Peleburan dilakukan terhadap *fly ash* hasil refluks HCl 5 M dengan padatan NaOH (rasio berat NaOH :*fly ash* = 1,2) pada temperatur 550 °C selama 1 jam.

3.4.4 Hidrotermal

Hasil peleburan kemudian dilarutkan dalam akuades, diaduk dan diperam selama 8 jam. Hasil pelarutan dan pemeraman (*ageing*) kemudian direaksikan secara hidrotermal dalam *autoclaves* selama 24 jam pada temperatur 100 °C. Hasil reaksi hidrotermal kemudian dicuci dengan akuades sampai netral dan di oven pada suhu 100 °C (Somerset, 2004).

3.4.5 Impregnasi Ni

Impregnasi logam Ni pada faujasite dilakukan dengan metode impregnasi basah (wet impregnation). Garam $\text{Ni}(\text{SO}_4)\cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dengan variasi 2% dan 4% dilarutkan ke dalam 100 mL akuades sambil diaduk hingga homogen. Hasil pelarutan ditambahkan dengan 10 g hasil ekstraksi kemudian dipanaskan dan diuapkan pada temperatur 80 °C hingga 90 °C sambil diaduk hingga air menguap. Hasil penguapan dilanjutkan dengan proses oksidasi dengan gas oksigen 20 mL/menit pada temperatur 500 °C selama 2 jam dan reduksi pada temperatur 500 °C dengan gas hidrogen 20 mL/menit selama 2 jam (Handoko, 2001).

3.4.6 Kristalinitas Faujasite

Padatan yang diperoleh kemudian dikarakterisasi dengan metode difraksi sinar-X. Pengukuran difraksi sinar-X dilakukan menggunakan difraktometer sinar-X Xpert MPD. Kondisi pengukuran adalah, target = Cu, tegangan 40 kV, arus 30 mA, *differgen slit* = 0,25 derajat, dan *receiving slit* = 12,7500. Kristalinitas Faujasite hasil sintesis ditentukan dari perbandingan tinggi atau intensitas 8 puncak utama Faujasite hasil sintesis dengan Faujasit standar, ditentukan dengan persamaan berikut:

$$\text{Kristalinitas} = I_f/I_0 \quad \dots(1)$$

I_f = Intensitas Total Difraktogram sinar-X Faujasithasil sintesis

I_0 = Intensitas Total Difraktogram sinar-X puncakutama Faujasit Standard
(Sutarno, 2007)

3.4.7 Penentuan Konsentrasi Ni

Analisa kandungan Ni pada faujasite dilakukan melalui proses peleburan basa NaOH pada suhu 450 °C selama satu jam. Sampel yang telah mejadi abu, kemudian ditambahkan HCl 10 M sebanyak 2 mL. Kemudian dipanaskan di atas hotplate sampai abu larut. Abu yang telah larut kemudian dipindahkan ke dalam labu takar 50 mL kemudian diencerkan dengan larutan HNO_3 0,1 M sampai tanda batas. Larutan siap dianalisis dengan AAS pada panjang gelombang 232 nm.

3.2.8 Penentuan Konsentrasi Si dan Al dengan AAS

Analisa kandungan Si dan Al pada abu layang batu bara dan hasil konversinya menjadi Faujasite dilakukan melalui proses peleburan basa NaOH pada suhu 450 °C selama satu jam. Sampel yang telah mejadi abu, kemudian ditambahkan HCl 10 M sebanyak 2 mL. Kemudian dipanaskan di atas hotplate sampai abu larut. Abu yang telah larut kemudian dipindahkan ke dalam labu takar 50 mL kemudian diencerkan dengan larutan HNO₃ 0,1 M sampai tanda batas. Larutan siap dianalisis dengan AAS pada panjang gelombang 251,61 nm untuk Si, dan 308,2 nm untuk Al.

3.4.9 Penentuan Keasaman Total

Keasaman total katalis dapat ditentukan secara gravimetri atas dasar adsorpsi gas amonia pada permukaan katalis. Cawan porselin kemudian dipanaskan dalam oven pada temperatur 120 °C selama 2 jam, setelah itu didinginkan dan ditimbang massanya. Katalis yang telah di impregnasi diambil 1 gram kemudian dimasukkan ke dalam cawanporcelain (W). Cawan porselin dan katalis dimasukkan ke desikator lalu divakumkan dan dialiri gas amoniak p.a 25% selama 24 jam kemudian ditimbang kembali (W₁). Berat amoniak teradsorpsi dalam sampel adalah sebagai berikut:

$$\Delta W = (W_1 - W) \text{ gram}$$

Keasaman katalis menyatakan jumlah mol NH₃ teradsorp ke katalis per gram berat. Keasaman katalis dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Keasaman} = \frac{\text{Berat NH}_3 (\Delta W)}{\text{BM NH}_3 \times \text{Berat katalis (W)}} \quad \dots(2)$$

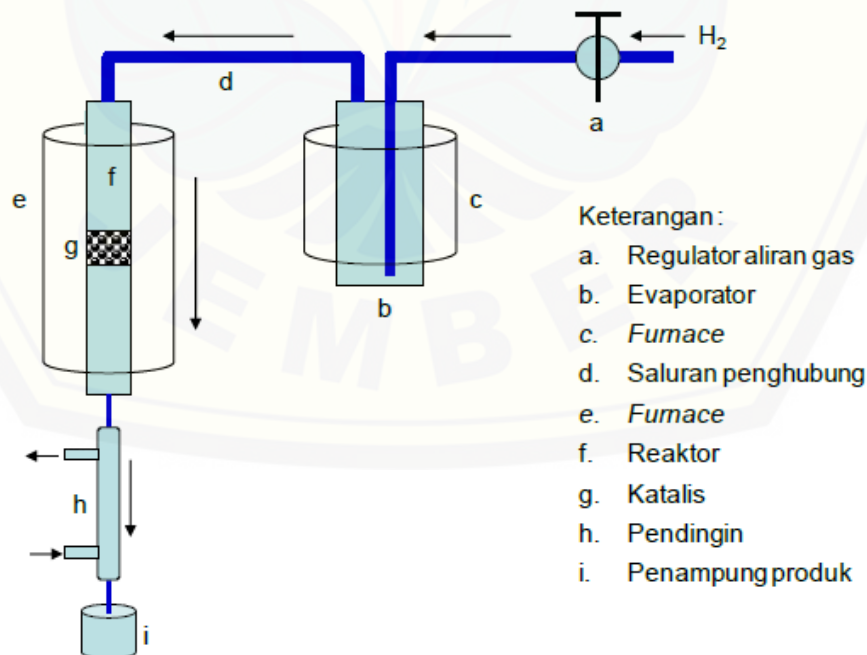
(Handoko *et al*, 2009).

3.4.10 Uji Analisis GC-MS

Produk perengkahan dari metil ester palm oil dianalisis menggunakan GC-MS. Sampel dimasukkan ke dalam set alat GC-MS dengan detektor FID. Suhu kolom pada 60 °C. Laju alir 0,51 mL/menit. Suhu detektor 280 °C. Suhu injektor 310°C. Waktu analisa 21 menit. Volume Injeksi 0,20 mL.

3.4.11 Proses Hidrorengkah MEPO

Metil ester minyak sawit (MEPO) sebanyak 10 gram ditempatkan dalam tangki umpan yang dilengkapi pemanas dan sejumlah variasi katalis ditempatkan dalam kolom reactor *fixed bed*. Jumlah katalis yang diberikan adalah 3 gram dari tiap variasi katalis. Kontrol katalis adalah *flyash* yang belum mengalami proses hidrotermal juga diberikan sebanyak 3 gram. Panas sistem reaktor diatur dengan memanaskan kolom reaktor hingga mencapai temperatur 450 °C untuk kondisi reaksi katalitik. Selanjutnya dipanaskan tangki umpan untuk menguapkan metil ester minyak sawit setelah kondisi temperatur di reaktor tercapai. Gas hidrogen sebagai gas pembawa umpan dialirkan dengan laju alir gas sebesar 20 mL/menit dan membawa umpan menuju kolom reaktor katalitik. Produk reaksi yang berupa gas dilewatkan ke dalam sebuah kondensor (pendingin) hingga berubah menjadi cair dan ditampung dalam sebuah wadah. Proses perengkakan metil ester minyak sawit (MEPO) dengan katalis Ni/Faujasite dilakukan selama 60 menit. Hasil produk reaksi dari masing-masing variasi dianalisis menggunakan GC-MS (Haliq, 2012).



Gambar 3.1 Reaktor *Fixed Bed* (Handoko, 2001)

3.4.12 Perhitungan Aktivitas Dan Selektivitas

Data hasil analisa dengan GC-MS juga digunakan untuk menguji aktivitas dan selektivitas katalis. Aktivitas katalis dapat dihitung menggunakan rumus berikut:

$$\% \text{Aktivitas} = \frac{\% \text{ Area Produk Baru dari Sampel}}{\% \text{ Area Produk Awal dari MEPO}} \quad \dots(3)$$

Jumlah %area 2 puncak terbesar produk baru dari sampel

Jumlah %area 2 puncak terbesar produk awal dari mepo

Selektivitas katalis dihitung dengan rumus berikut:

$$\% \text{ Selektivitas} = \text{Jumlah \%area senyawa hidrokarbon} \quad \dots(4)$$

(Haliq, 2012)

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah:

1. Karakteristik faujasite hasil sintesis dari *fly ash* adalah kristalinitas puncak utama sebesar 67% dan rasio Si/Al sebesar 1.64.
2. Impregnasi Ni meningkatkan kemampuan katalis pada hidrerenkahan *metil ester palm oil* untuk menghasilkan fraksi *biogasoline* dengan hasil aktivitas sebesar 42,34% dan selektivitas sebesar 7,12% menggunakan katalis Ni-Faujasite 4%.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan dari penelitian ini adalah peningkatan aktivitas katalis harus dilakukan untuk meningkatkan keasaman katalis dan rasio Si/Al. Peningkatan ini dapat dilakukan dengan cara mengaktivasi dan memodifikasi zeolit faujasite dengan cara perlakuan asam dan hidrotermal. Proses impregnasi kali ini hanya sampai kadar 4% dengan hasil selektivitas paling tinggi, perlu dilakukan dengan kadar Ni yang lebih tinggi untuk menentukan kadar Ni optimum dalam proses perengkahan katalitik.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahkam, Mutammim. 2011. "Sintesis dan Karakterisasi Membran Nanozeolit Y untuk Aplikasi Pemisahan Gas Metanol-Etanol". Tidak Dipublikasikan. *Skripsi*. Depok: Universitas Indonesia.
- Atkins, P.W. 1997. *Kimia Fisik Jilid I*. Edisi keempat. Terjemahan Irma I Kartohadiprodjo. Jakarta: Erlangga.
- Augustine, R.L. 1996. *Heterogeneous Catalysis for the Synthetic Chemistry*. New York: Marcell Dekker Inc.
- Baerlocher, C.H. 2007. *Atlas Of Framework Types Of Zeolit*. Amsterdam: Elsevier Science.
- Barrer, R.M. 1978. *Zeolit and Clay Minerals as Sorbents and Molecular Sieves*. London: Academic Press Inc.
- Bartholomew, C.H. 2006. *Fundamental Of Industrial Catalytic Process*. New Jersey: John Wiley And Sons Inc.
- Belitz, H.D. dan Grosch.W. 2009. *Food Chemistry*. Berlin: Springer Verlage.
- Byrappa, K. 2001. *Handbook Of Hidrotermal Technology*. New Jersey: Noyes Publications.
- Campbell, I.M. 1988. *Catalysis at Surface*. New York: Chapman and Hall Ltd.
- Cotton dan Wilkinson. 1989. *Basic Inorganic Chemistry*. Terjemahan oleh Suharto, S.Jakarta: UI Press.
- Das, S. N. 2011. "Sintesis Zeolit dan Aplikasi Sebagai Adsorben. Tidak Dipublikasikan". *Tesis*. India: Universitas Thapar.
- Fansuri, Hamzah. 2015. "Pengaruh Karbon Terhadap Pembentukan Zeolit Dari Abu Dasar Dengan Metode Hidrotermal". Tidak Dipublikasikan. *Skripsi*. Surabaya: ITS.
- Farouq, Noor, Zubaidi dan Bhatia. 2009. "Catalytic Conversion of Palm Oil to Hydrocarbons: Performance of Various ZeolitCatalysts, Industrial and Engineering ChemistryResearch". *Jurnal Chemistry Research*, 38 (9):3230-3237.
- Fessenden, R. J dan Fessenden. 1986. J. S. *Kimia Organik*. Jilid II. Edisi III. Terjemahan A. H. Pudjaatmaka. Jakarta: Erlangga.

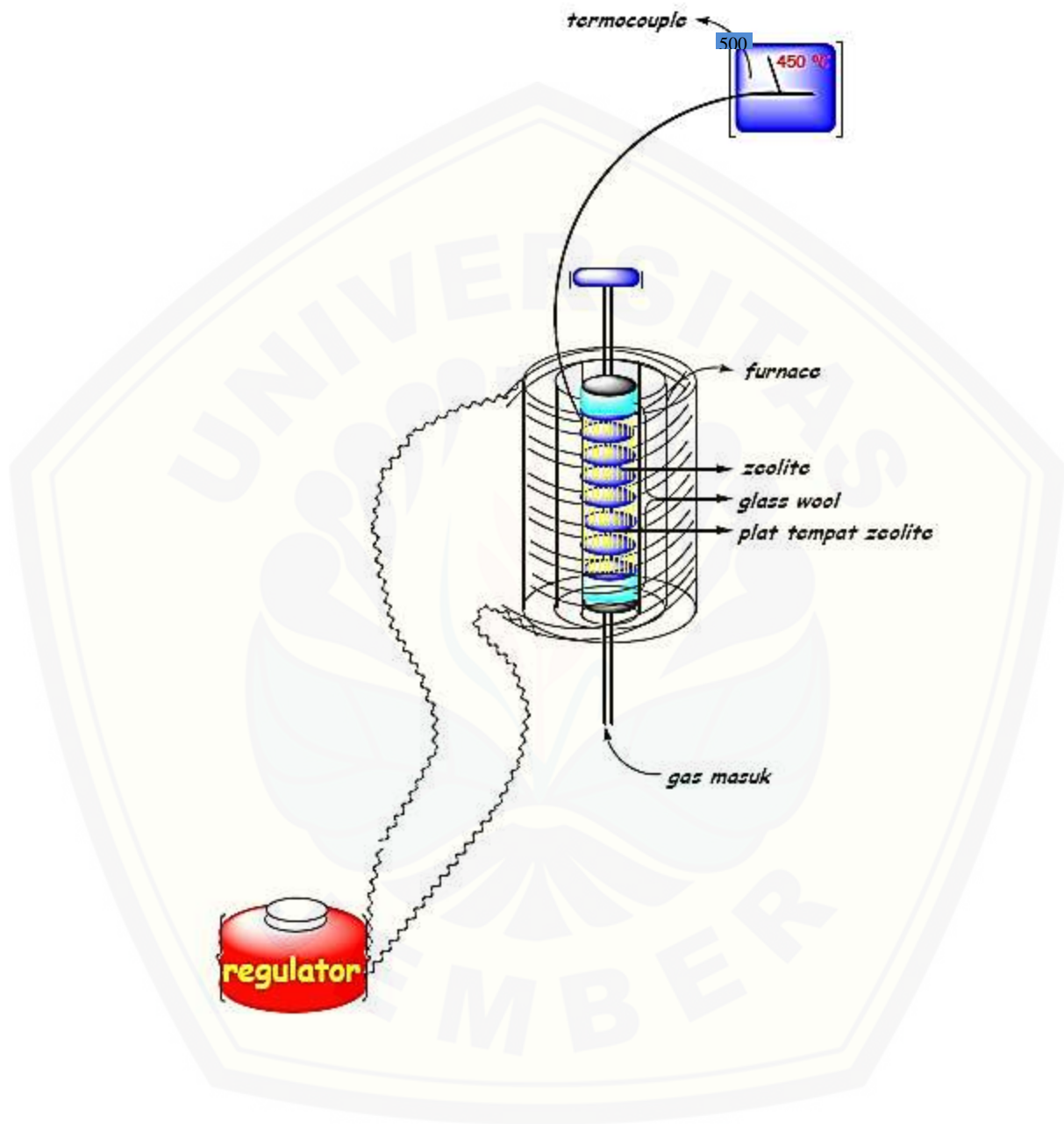
- Gasser, R.P.H. 1987. *An Introduction to Chemisorption and Catalysis by Metal*. Oxford: Oxford Science Publication.
- Hamdan, H. 1992. *Introduction to Zeolites: Synthesis, Characterization, and Modification*. Penang:Universiti Teknologi Malaysia.
- Handoko, D.S.P. 2001. “Modifikasi Zeolit Alam dan Karakterisasinya sebagai Katalis Perengkahan Asap Cair Kayu Bengkirai”. Tidak Dipublikasikan. *Tesis*. Yogyakarta: Universtas Gajah Mada.
- Handoko, Triyono, Narsito, Dwi. 2009. Peningkatan Kualitas Minyak Jelantah Menggunakan Adsorben H5-NZA dalam Reaktor Sistem Fluid Fixed Bed. *Jurnal Ilmu Dasar*. Vol. 10 (2): 121-132.
- Hayat, R. 2007. “Studi Aktivitas Katalis H₅-NZA, Co(III)/H₅-NZA, dan Ni(II)/H₅-NZA Dalam Perengkahan Katalitik Metil Ester Minyak jarak (*Jatropha curcas*)”. Tidak Dipublikasikan. *Skripsi*. Jember: Universitas Jember.
- Hegedus, Aris, Bell, Boudart, Chen, Gates, Haag, Somorjai, dan Wei. 1987. *Catal. Design*. Canada: John Willey & Sons Inc.
- Hendayana, S. 2006. *Kimia Analitik Instrumen*. Edisi kesatu. Semarang: IKIP Semarang Press.
- Heny. 2007. “Proses perengkahan minyak sawit menggunakan katalis jenis DHC-8”. *Prosiding Seminar Nasional Fundamental dan aplikasi Teknik Kimia 2007*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh November.
- Junaidi, Haliq. 2011. “Uji Aktivitas Dan Selektivitas Katalis Ni/H₅NZA Dalam Proses Hidrorengkah Metil Ester Minyak Kelapa Sawit (Mepo) Menjadi Senyawa Hidrokarbon cair fraksi Pendek”. Tidak Dipublikasikan. *Skripsi*. Jember: Universitas Jember.
- Kasmui, Zaenal, M., dan Sumarni, W. 2008. “Kajian Pengaruh Variasi Rasio Si/Al dan Variasi Kation terhadap Perubahan Ukuran Pori Zeolit Y dengan Menggunakan Metode Mekanika Molekuler”. *Jurnal Of Chemical Science Indonesian*, 2 (1): 2013.
- Ketaren, S. 1986. *Pengantar Teknologi Minyak dan Lemak Pangan*. Cetakan Pertama. Jakarta: UI-Press.
- Las, Tamzil. 2004. “Penggunaan Zeolit Bidang Industri dan Lingkungan”. *Prosding Seminar Nasional Zeolit V Bandar Lampung. 2006*. Universitas Gadjah Mada. 5:20-28.
- Lungstein, A., Jentys, A., dan Vinek, H. 1999. “Hydroisomerization and cracking of n-octane and C₈ isomers on Ni-containing zeolits”. *Jurnal Application Catalyst*. 176 (1):119-128.

- Nino, Victor. 2013. "Application of faujasite synthesized from illite to the removal of Cr_3^+ and Ni_2^+ from electroplating wastewater". *Journal rev.ion*. 26(2):7-15.
- Nugroho dan Antoni, Paul. 2007. *Teknologi Beton*. Yogyakarta : Andi.
- Pahan, I. 2008. *Panduan Lengkap Kelapa Sawit*. Jakarta: Penebar Swadaya.
- Paiton, PJB. 2002. *Material Safety Data Sheet*. Probolinggo : PT. Pembangunan Jawa Bali Unit Pembangunan Paiton.
- Pasaribu, 2004. .Minyak Buah Kelapa Sawit. *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi-II 2008*. III: 341-356.
- Rodhie, Saputra. 2006. Pemanfaatan Zeolit Sintetis Sebagai Alternatif Pengolahan Limbah Industri. Tidak dipublikasikan. *Paper*. Yogyakarta: UGM.
- Satterfield, C.N. 1980. *Heterogenous Catalysis in Practices*. New York: McGraw.
- Setiawan, Musabbikhah, Nalarsih, dan Rosyida. 2009. "Rekayasa Unit Pengolah Limbah Batu bara Dan Pemanfaatannya Sebagai Pengganti Semen Pada Pembuatan Bahan Bangunan Guna Mengendalikan Pencemaran Lingkungan". Tidak Dipublikasikan. *Artikel Ilmiah*. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.
- Siswodihardjo, 2006. "Reaksi Hidrorengkah Katalis Ni/Zeolit, Mo/Zeolit, NiMo/Zeolit Terhadap Parafin". Tidak Dipublikasikan. *Skripsi*. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.
- Skoog, D.A. 1993. *Analytical Chemistry An Introduction International Edition*. Sixth Edition. Adelaide : Sounders College Publishing.
- Smith, J. M. 1970. *Chemical Engineering Kinetics*. Second Edition. New York: Mc. Graw-Hill Book Co.
- Somerset, V. 2004. "Alkaline Hydrothermal Zeolits Synthesized From *Fly ash* SiO_2 And Al_2O_3 ". *Journal Department of Chemistry*, 84(2005): 2324–2329.
- Suryanarayana C. dan Norton M.G. 1998. *X-ray Diffraction*. Plenum Press: New York.
- Sutarno, 2004. "Sintesis Faujasite Dari Abu Layang Batu bara : Pengaruh Refluks Dan Penggerusan Abu Layang Batu bara Terhadap Kristalinitas Faujasite". *Journal Matematika dan Sains*, 9 (3): 285-290.

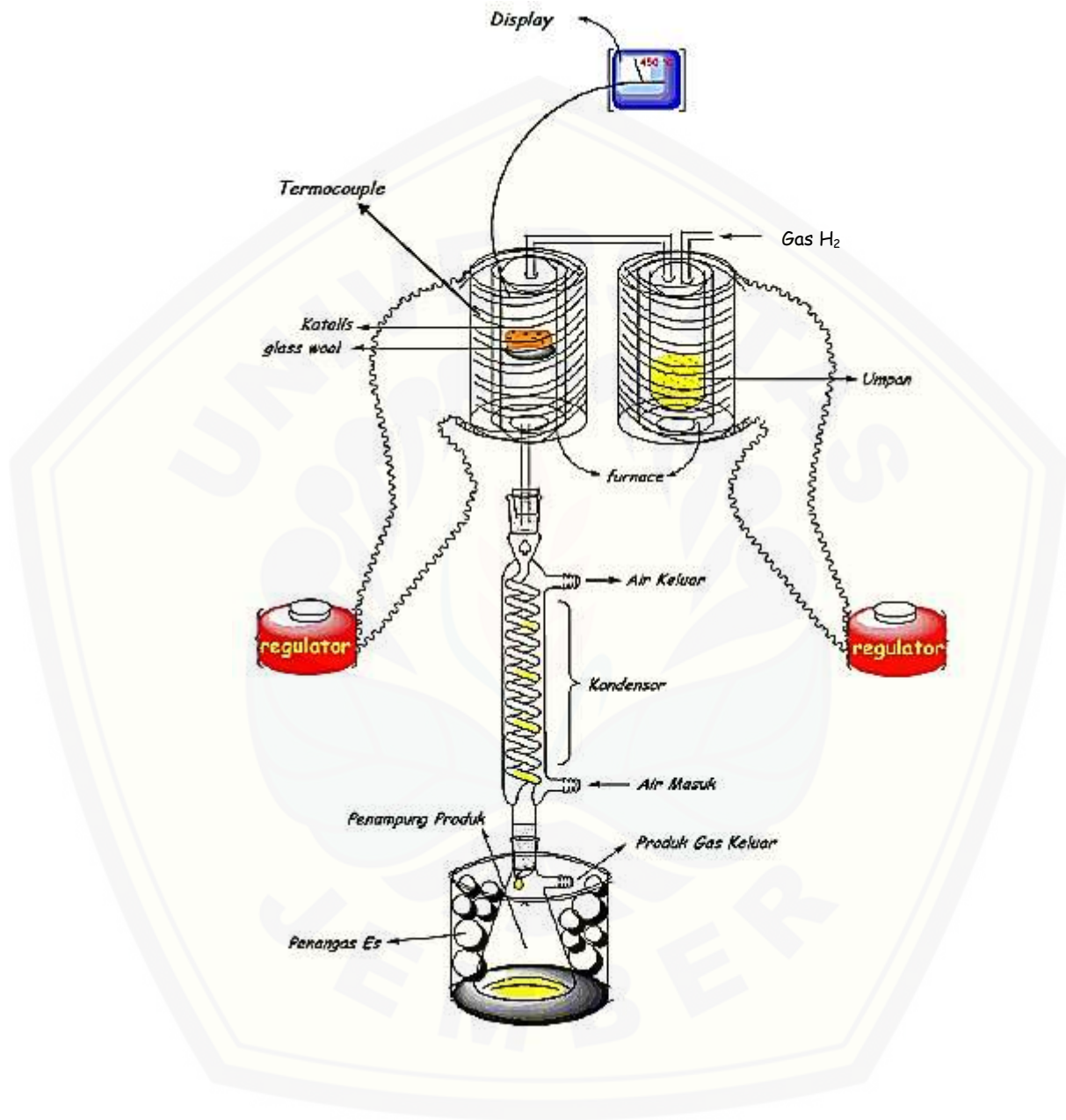
- Sutarno, 2007. "Synthesis Of Faujasite From *Fly ash* And Its Applications For Hydrocracking of Petroleum Distillates". *Journal Bulletin of Chemical Reaction Engineering & Catalysis*, 2(2-3): 45-51.
- Sutarti, M dan Rachmawati, M. 1994. *Zeolit Tinjauan Literatur*. Jakarta: PDIII LIPI.
- Tovina, Hany. 2009. "Sintesis Nanozeolit Tipe Faujasite dengan Teknik Seeding yang ditumbuhkan pada Permukaan Glassy Carbon". Tidak dipublikasikan. *Skripsi*. Depok: Universitas Indonesia.
- Twaiq, F.A.A., Asmawati Noor M. Zabidi, Abdul Rahman Mohamed and Subhash Bhatia, 2003. "Catalytic Conversion of Palm Oil Over Meso Porous Aluminosilicate MCM 41 for The Production of Liquid Hydrocarbon Fuel". *Jurnal Fuel Process Technol*, 84, (1-3): 105 – 120.
- Ulfah, Eli Maria. 2006. "Optimasi Pembuatan Katalis Zeolit X dari Tawas, NaOH dan Water Glass Dengan Response Surface Methodology". *Journal Bulletin of Chemical Reaction Engineering & Catalysis*, 1(3): 26-32.
- Wulansari, D. 2004. "Studi Aktivitas Katalis Ni/ZAAH5 pada Konversi Minyak Goreng Jelantah menjadi Fraksi Bahan Bakar Cair". Tidak Dipublikasikan. *Skripsi*. Jember: Universitas Jember.
- Yusman, Ika. 2012. "Aktivitas Dan Selektivitas Katalis Ni/H5-Nza Dalam Perengkahan Minyak Kelapa Sawit Menjadi Senyawa Hidrokarbon cair fraksi Pendek. Tidak Dipublikasikan. *Skripsi*. Jember: Universitas Jember.
- Yusro, Fatimah. 2012. "Aktivitas Dan Selektivitas Katalis Ni/H5NZA Pada Reaksi Hidrorengkah Asam Palmitat Menjadi Senyawa Hidrokarbon Fraksi Pendek". Tidak Dipublikasikan. *Skripsi*. Jember: Universitas Jember.
- Zainuddin. 1988. *Kursus Instrumental Atomic Absorption Spectrofotometer*. Surabaya: Universitas Airlangga.
- Zakaria, 2003. "Analisis Kandungan Mineral Magnetik pada Batuan Beku dari Daerah Istimewa Yogyakarta dengan Metode XRay Difrraction". Tidak Dipublikasikan. *Skripsi*. Kendari: Universitas Haluoleo.

LAMPIRAN

Lampiran A. Gambar Susunan Alat Reduksi dan Oksidasi



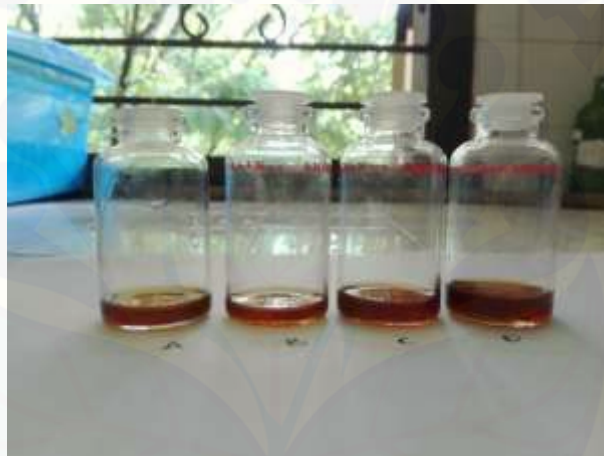
Lampiran B. Reaktor *Fluid Fixed Bed*



C. Rangkaian Alat Metode Gravimetri

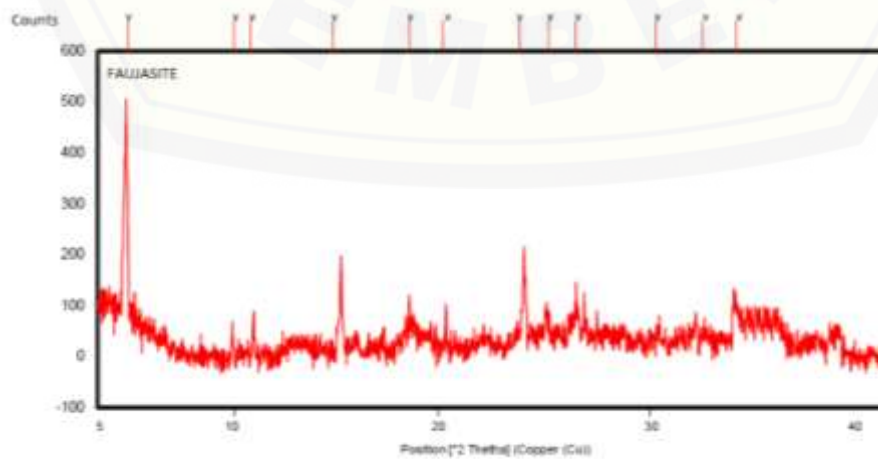


D. Hasil Hidrorengkah



E. Lampiran XRD Faujasite

E.1 Kromatogram XRD



E.2 Sudut Karakteristik

Pos. [$^{\circ}$ 2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [$^{\circ}$ 2Th.]	d-spacing [\AA]	Rel. Int. [%]
6.27841	505	0.1004	14.14715	100.00
10.97428	69	0.0836	8.66149	13.66
11.92682	89	0.5353	7.38739	17.62
15.80384	197	0.4015	5.62531	39.01
18.82858	120	0.0669	4.71030	23.76
20.44957	103	0.1673	4.33733	20.40
23.9088	215	0.3346	3.73100	42.57
25.86667	66	0.1673	3.57213	12.67
27.13408	94	0.4015	3.27435	17.82
30.19224	55	0.2342	2.88838	10.89
32.61537	50	0.1673	2.73990	9.90
33.2504	133	0.3346	2.61636	26.34

E.3 Kristalinitas

No	Sudut	Intensitas Sintesis	Sudut	Intensitas Standart
1	6,27	505	6,19	755
2	10,97	69	10,11	105,7
3	11,92	89	11,86	151
4	15,8	197	15,61	339,75
5	18,82	120	18,64	203,85
6	20,44	103	20,3	173,65
7	23,9	215	23,58	422,8
8	25,86	66		0
9	27,13	94	26,97	181,2
10	30,19	55	30,66	83,05
11	32,61	50	32,37	83,05
12	33,25	133	33,99	98,15
		1630	2597,2	

$$\begin{aligned} \% \text{ Kristalinitas Total Puncak} &= \frac{\text{Total Int. Sintesis}}{\text{Total Int. Standart}} \times 100\% \\ &= (1630/2597,2) \times 100\% \\ &= 63\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ Kristalinitas Puncak Utama} &= \frac{\text{Int. Puncak Utama Sintesis}}{\text{Int. Puncak Utama Standart}} \times 100\% \\ &= (505/755) \times 100\% \\ &= 67\% \end{aligned}$$

F. Lampiran Perhitungan Impregnasi Ni, Keasaman, Rasio Si/Al, Pembuatan Larutan HCl 5M, Dan Pembuatan Larutan Garam Nikel Sulfat.

F.1 Kadar Nikel

Kandungan nikel diukur menggunakan AAS

No	Nama	Ulangan (%)			Rata-rata (%)
1	<i>Fly ash</i> Leaching	0,09	0,092	0,0888	0,09
2	Faujasite	0,0882	0,077	0,0852	0,08346
3	Ni 2%	2,0371	2,067	2,04	2,05
4	Ni 4%	3,7709	3,6585	3,7147	3,7147

F.2 Rasio Si/Al

Kandungan silika dalam katalis pengukuran dengan AAS

No	Nama	Ulangan (%)			Rata-rata (%)
1	<i>Fly ash</i> Leaching	19,888	19,6	18,99	19,5
2	Faujasite	22,56	22,144	22,714	22,47
3	Ni-Faujasite 2%	23,15	22,47	23,855	23,15
4	Ni-Faujasite 4%	25,877	25,877	24,18	25,31

Kandungan alumina dalam katalis pengukuran dengan AAS

No	Nama	Ulangan (%)			Rata-rata (%)
1	<i>Fly ash</i> Leaching	15,644	15,664	14,878	15,395
2	Faujasite	13,5	13,445	14,098	13,7
3	Ni 2%	11,128	11,14	11,128	11,13
4	Ni 4%	11,05	10,899	11,479	11,14

Rasio Si/Al dihitung dengan membagi kandungan silika (%) dengan kandungan alumina (%)

Contoh Perhitungan Rasio Si/Al (%/%)

$$\begin{aligned} \text{Fly ash leaching (\%/ \%)} &= 19,5 \% / 15,395 \% \\ &= 1,27 \end{aligned}$$

Nama	Si (%)	Al (%)	Ratio (%/%)
<i>Fly ash</i> Leaching	19,5	15,395	1,27
Faujasite	22,47	13,7	1,64
Ni-Faujasite 2%	23,16	11,13	2,080
Ni-Faujasite 4%	25,31	11,14	2,272

F.3 Keasaman Katalis

Contoh Perhitungan

$$\begin{aligned} \text{Keasaman Fly ash Hasil Leaching} &= \frac{0,002 \text{ g}}{17 \text{ g/mol} \times 1,000 \text{ g}} \\ &= 0,000117647 \text{ mol/gram} \end{aligned}$$

No	Nama	ΔW (g)	W (g)	BM NH ₃ (g/mol)	Keasaman (mol/g)
1	FA	0,002	1,000	17	0,000117647
2	Faujasite	0,006	0,999	17	0,000353294
3	Ni 2%	0,026	0,498	17	0,003071108
4	Ni 4%	0,030	0,505	17	0,003494467

F.4 Pembuatan larutan HCl 5M

$$M = \frac{10 \times \% \times \rho_{HCl}}{Mr_{HCl}}$$

$$M = \frac{10 \times 37 \times 1,19 \text{ g/mL}}{36,5 \text{ g/mol}}$$

$$M = 12,06 \text{ M}$$

maka volume yang dibutuhkan untuk membuat HCl 5 M sebanyak 1 L yaitu:

$$M_1 V_1 = M_2 V_2$$

$$12,06 \text{ M} \times V_1 = 5 \text{ M} \times 1 \text{ L}$$

$$V_1 = \frac{5 \text{ M} \times 1 \text{ L}}{12,06 \text{ M}} = 0,414 \text{ L}$$

F.5 Pembuatan Garam Nikel Sulfat

a. Pembuatan Garam Ni(SO₄).6H₂O dari Ni 2% b/b katalis

$$(2/100) \times 20 \text{ gram} = 0,4 \text{ gram}$$

$$\text{Massa Ni(SO}_4\text{).6H}_2\text{O} = \frac{0,4 \text{ gram Ni} \times 262,71 \text{ g/mol}}{58,69 \text{ g/mol}} = 1,79 \text{ gram}$$

b. Pembuatan Garam Ni(SO₄).6H₂O dari Ni 4% b/b katalis

$$(4/100) \times 20 \text{ gram} = 0,8 \text{ gram}$$

$$\text{Massa Ni(SO}_4\text{).6H}_2\text{O} = \frac{0,8 \text{ gram Ni} \times 262,71 \text{ g/mol}}{58,69 \text{ g/mol}} = 3,58 \text{ gram}$$

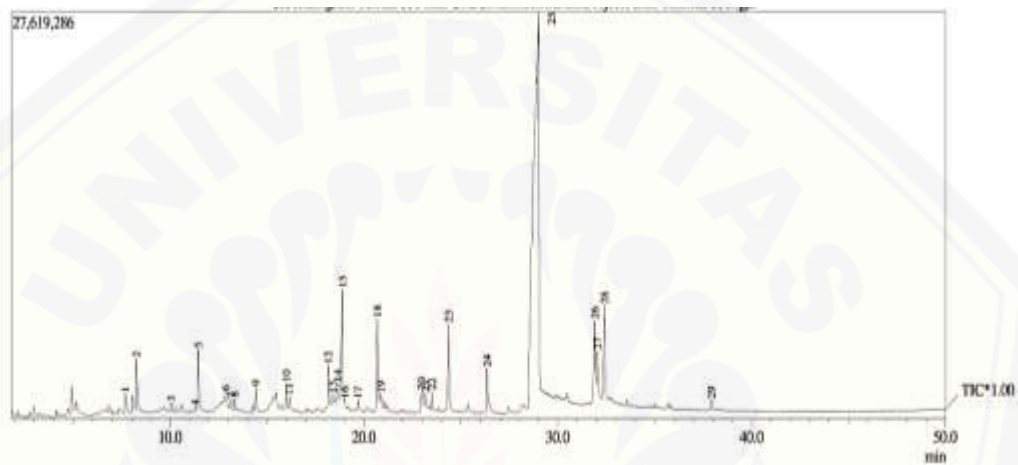
Lampiran G.1 Kromatogram GC-MS Hidrorengkah MEPO dengan *FlyAsh* Leaching

Contoh Perhitungan

$$\% \text{Aktivitas} = (60,55 + 5,84) / (91,59 + 5,50) = 34,6\%$$

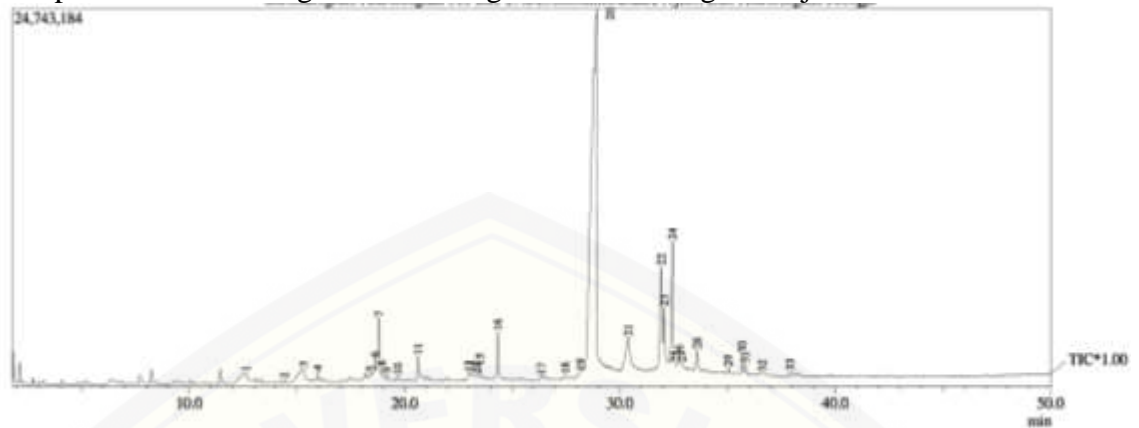
$$\% \text{Selektivitas (C}_6\text{-C}_{12}) = 0,27\%$$

$$\% \text{Selektivitas (C}_{13}\text{-C}_{18}) = 0,27 + 0,32 + 0,75 + 0,36 + 5,84 + 0,22 + 0,36 = 7,57$$



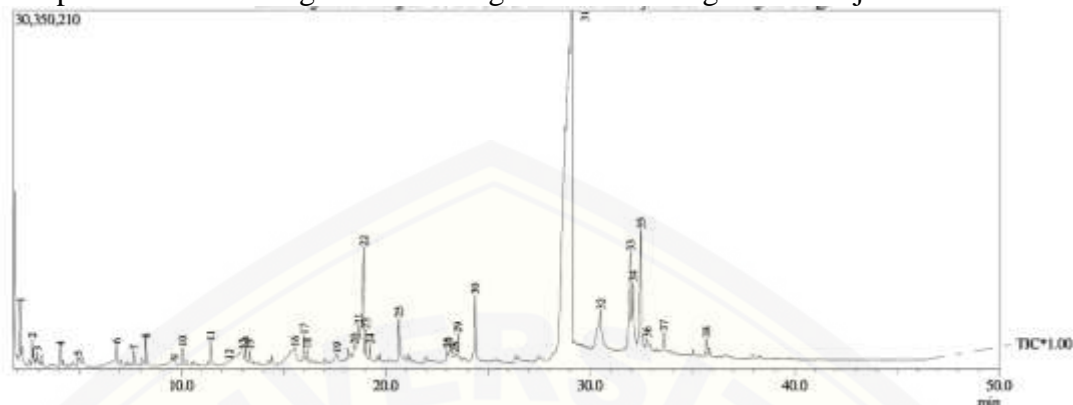
No	R-Time	% Area	Senyawa	Aktivitas dan Selektivitas
1	7.678	0.68	C ₉ H ₁₈ O	
2	8.257	1.60	C ₉ H ₁₉ O ₂	Aktivitas 34.6 %
3	10.057	0.27	C ₁₁ H ₂₂	
4	11.292	0.19	C ₁₀ H ₁₈ O ₂	
5	11.447	1.98	C ₁₀ H ₂₀ O ₂	
6	12.862	0.48	C ₁₂ H ₂₄ O	Selektivitas
7	13.136	0.27	C ₁₃ H ₂₆	C ₆ -C ₁₂ 0.27%
8	13.332	0.32	C ₁₃ H ₂₈	C ₁₃ -C ₁₈ 7.57%
9	14.402	0.72	C ₁₁ H ₂₂ O ₂	C ₁₉ -C ₂₄ 0%
10	15.990	0.75	C ₁₆ H ₃₂	
11	16.154	0.36	C ₁₃ H ₂₈	
12	18.157	1.79	C ₁₀ H ₁₈ O ₄	
13	18.408	0.73	C ₁₃ H ₂₆ O	
14	18.644	1.36	C ₁₃ H ₂₆	
15	18.896	5.84	C ₁₆ H ₃₄	
16	19.000	0.22	C ₁₆ H ₃₂	
17	19.685	0.30	C ₁₃ H ₂₆ O ₂	
18	20.690	4.32	C ₁₂ H ₂₀ O ₄	
19	20.864	0.70	C ₁₃ H ₂₆ O	
20	22.969	0.78	C ₁₂ H ₂₂ O ₄	
21	23.152	0.68	C ₁₆ H ₃₄ O	
22	23.510	0.56	C ₁₄ H ₃₀	
23	24.367	3.04	C ₁₅ H ₃₀ O ₂	
24	26.340	1.43	C ₁₄ H ₂₈ O	
25	29.028	60.55	C ₁₇ H ₃₄ O ₂	
26	31.913	2.41	C ₁₉ H ₃₆ O ₂	
27	32.040	1.49	C ₁₉ H ₃₆ O ₂	
28	32.415	5.84	C ₁₉ H ₃₈ O ₂	
29	37.925	0.34	C ₂₁ H ₃₂ O ₂	

Lampiran G.2 Kromatogram Hidrorengkah MEPO dengan Faujasite



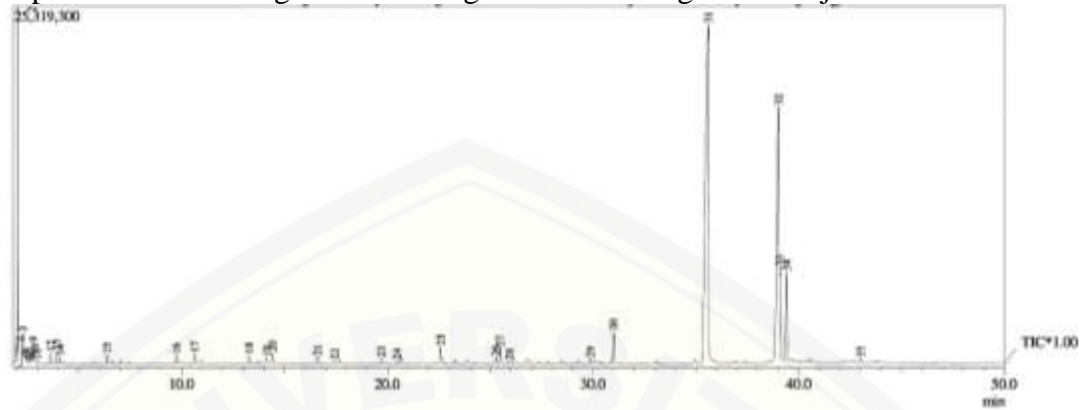
No	R-Time	Area	Senyawa	Aktivitas dan Selektivitas
1	12.635	1.74	C ₈ H ₁₆ O ₂	
2	14.415	0.14	C ₁₁ H ₂₂ O ₂	
3	15.314	2.15	C ₉ H ₁₈ O ₂	Aktivitas 35.01%
4	15.969	0.31	C ₁₆ H ₃₂	
5	18.418	0.23	C ₁₈ H ₃₆	
6	18.616	1.05	C ₁₃ H ₂₆	Selektivitas
7	18.809	2.77	C ₁₄ H ₃₀	C ₆ -C ₁₂ 1.23%
8	18.950	0.43	C ₁₆ H ₃₂	C ₁₃ -C ₁₈ 6.84%
9	19.182	0.18	C ₁₇ H ₃₄	C ₁₉ -C ₂₄ 1.7%
10	19.684	0.17	C ₁₃ H ₂₆ O ₂	
11	20.609	0.98	C ₁₁ H ₂₀ O ₄	
12	22.979	0.36	C ₁₇ H ₃₄	
13	23.126	0.51	C ₂₀ H ₄₀	
14	23.361	0.30	C ₂₀ H ₄₀	
15	23.494	0.62	C ₁₄ H ₃₀	
16	24.333	1.96	C ₁₅ H ₃₀ O ₂	
17	26.348	0.16	C ₁₄ H ₂₈ O	
18	27.458	0.16	C ₁₈ H ₃₆ O	
19	28.158	0.56	C ₁₉ H ₃₈ O	
20	28.895	59.98	C ₁₇ H ₃₄ O	
21	30.382	3.41	C ₁₆ H ₃₂ O ₂	
22	31.929	5.97	C ₁₉ H ₃₆ O ₂	
23	32.045	4.48	C ₁₉ H ₃₆ O ₂	
24	32.440	5.14	C ₁₉ H ₃₈ O ₂	
25	32.558	1.23	C ₁₂ H ₂₂	
26	32.746	0.89	C ₁₉ H ₃₄	
27	32.883	0.47	C ₁₈ H ₃₀ O	
28	33.578	0.91	C ₁₉ H ₃₄ O	
29	35.023	0.21	C ₁₉ H ₃₈ O	
30	35.662	0.82	C ₁₈ H ₃₄ O ₃	
31	35.827	0.40	C ₂₁ H ₄₂ O ₂	
32	36.609	0.15	C ₂₁ H ₄₀ O ₃	
33	37.911	0.19	C ₂₁ H ₃₂ O ₂	

Lampiran G.3 Kromatogram Hidrorengkah MEPO dengan Ni-Faujasite 2%



No	R-Time	Area	Senyawa	Aktivitas dan Selektivitas
1	2.119	1.57	C ₈ H ₁₆	
2	2.710	0.56	C ₉ H ₁₈	Aktivitas 44%
3	2.942	0.74	C ₆ H ₁₀	
4	4.087	0.43	C ₁₁ H ₂₂	
5	4.942	0.75	C ₇ H ₁₂ O	
6	6.835	0.47	C ₁₁ H ₂₄ O	Selektivitas
7	7.675	0.47	C ₉ H ₁₈ O	C ₆ -C ₁₂ 3.68%
8	8.258	0.68	C ₉ H ₁₈ O ₂	C ₁₃ -C ₁₈ 11.06%
9	9.672	0.49	C ₇ H ₁₄ O ₂	C ₁₉ -C ₂₄ 0.64%
10	10.067	0.38	C ₁₄ H ₂₈	
11	11.442	0.63	C ₁₀ H ₂₀ O ₂	
12	12.342	0.38	C ₁₂ H ₁₈	
13	12.976	2.02	C ₈ H ₁₆ O ₂	
14	13.141	0.43	C ₁₄ H ₂₈	
15	13.339	0.42	C ₁₃ H ₂₈	
16	15.567	2.72	C ₉ H ₁₈ O ₂	
17	16.002	0.87	C ₁₆ H ₃₂	
18	16.165	0.40	C ₁₇ H ₃₆	
19	17.613	0.47	C ₁₀ H ₂₀ O ₂	
20	18.458	0.74	C ₁₆ H ₃₂	
21	18.671	1.93	C ₁₃ H ₂₆	
22	18.917	4.41	C ₁₇ H ₃₆	
23	19.024	0.67	C ₁₆ H ₃₂	
24	19.232	0.40	C ₁₅ H ₃₀	
25	20.642	1.45	C ₁₁ H ₂₀ O ₄	
26	22.981	0.51	C ₁₆ H ₃₄ O	
27	23.151	0.64	C ₂₀ H ₄₀	
28	23.379	0.40	C ₁₆ H ₃₂	
29	23.526	0.81	C ₁₄ H ₃₀	
30	24.369	2.38	C ₁₅ H ₃₀ O ₂	
31	29.084	52.13	C ₁₇ H ₃₄ O ₂	
32	30.504	4.55	C ₁₆ H ₃₂ O ₂	
33	31.970	4.32	C ₁₉ H ₃₆ O ₂	
34	32.092	2.73	C ₁₉ H ₃₆ O ₂	
35	32.486	4.98	C ₁₉ H ₃₈ O ₂	
36	32.783	0.94	C ₁₉ H ₃₄ O ₂	
37	33.598	0.68	C ₁₉ H ₃₄ O ₂	
38	35.678	0.46	C ₁₉ H ₃₆ O ₃	

Lampiran G.4 Kromatogram Hidrorengkah MEPO dengan Ni-Faujasite 4%



No	R-Time	Area	Senyawa	Aktivitas dan Selektivitas
1	1.974	0.74	C ₇ H ₁₂	
2	2.065	5.18	C ₃ H ₆ O	Aktivitas 42.34%
3	2.301	1.81	C ₆ H ₁₂	
4	2.385	0.41	C ₄ H ₆ O ₂	
5	2.450	0.26	C ₆ H ₁₂	
6	2.573	0.20	C ₆ H ₁₀	Selektivitas
7	2.643	0.38	C ₆ H ₆	C ₆ -C ₁₂ 7.12%
8	2.704	0.26	C ₆ H ₁₄ O	C ₁₃ -C ₁₈ 2.25%
9	2.792	0.74	C ₇ H ₁₄	C ₁₉ -C ₂₄ 0%
10	2.858	0.25	C ₇ H ₁₆	
11	3.000	0.11	C ₅ H ₈ O ₂	
12	3.641	0.46	C ₇ H ₈	
13	3.937	0.48	C ₈ H ₁₆	
14	4.089	0.33	C ₈ H ₁₈	
15	6.376	0.39	C ₉ H ₁₈	
16	9.748	0.39	C ₁₀ H ₂₀	
17	10.637	0.56	C ₈ H ₁₄ O ₂	
18	13.277	0.38	C ₁₁ H ₂₂	
19	14.131	0.34	C ₉ H ₁₆ O ₂	
20	14.426	0.55	C ₉ H ₁₈ O ₂	
21	16.613	0.31	C ₁₂ H ₂₄	
22	17.425	0.14	C ₁₀ H ₁₈ O ₂	
23	19.709	0.24	C ₁₃ H ₂₆	
24	20.467	0.16	C ₁₁ H ₂₀ O ₂	
25	22.593	0.74	C ₁₅ H ₃₀	
26	25.284	0.29	C ₁₅ H ₃₀	
27	25.486	0.76	C ₁₅ H ₃₂	
28	25.950	0.06	C ₁₂ H ₂₂ O ₂	
29	29.877	0.22	C ₁₇ H ₃₄	
30	31.001	5.55	C ₁₅ H ₃₂ O ₂	
31	35.606	39.86	C ₁₇ H ₃₄ O ₂	
32	39.024	19.07	C ₁₉ H ₃₆ O ₂	
33	39.089	8.35	C ₁₉ H ₃₆ O ₂	
34	39.407	9.82	C ₁₉ H ₃₈ O ₂	
35	43.004	0.20	C ₂₁ H ₄₂ O ₂	

Lampiran H. Hubungan Karakteristik Katalis Dengan Aktivitas dan Selektivitas Katalis

H.1 Hubungan Antara Kadar Nikel Dengan Aktivitas Dan Selektivitas Katalis Menghasilkan Produk *Biogasoline*

Katalis	Kadar Nikel (%)	Aktivitas (%)	Selektivitas (%)
<i>Fly ash</i> Leaching	0,09	34,6	0,27
Faujasite	0,083	35,01	1,23
Ni-Faujasite 2%	2,05	44	3,68
Ni-Faujasite 4%	3,7147	42,34	7,12

H.2 Hubungan Antara Rasio Si/Al Dengan Aktivitas Dan Selektivitas Katalis Menghasilkan Produk *Biogasoline*

Katalis	Rasio Si/Al (%/%)	Aktivitas (%)	Selektivitas (%)
<i>Fly ash</i> Leaching	1,27	34,6	0,27
Faujasite	1,64	35,01	1,23
Ni-Faujasite 2%	2,080	44	3,68
Ni-Faujasite 4%	2,272	42,34	7,12

H.3 Hubungan Antara Keasaman Dengan Aktivitas Dan Selektivitas Katalis

Katalis	Keasaman (mol)	Aktivitas (%)	Selektivitas (%)
<i>Fly ash</i> Leaching	0,00011	34,6	0,27
Faujasite	0,00035	35,01	1,23
Ni-Faujasite 2%	0,0030	44	3,68
Ni-Faujasite 4%	0,0034	42,34	7,12

Lampiran I. Difraktogram Faujasite X dan Y

