



**MODIFIKASI KATALIS ZEOLIT DENGAN  $\text{SiO}_2$  DARI *FLY*  
*ASH* UNTUK PROSES HIDRORENGKAH MINYAK  
SAWIT MENJADI SENYAWA *BIOGASOLINE***

**SKRIPSI**

Oleh

**Karina Aprillia  
NIM 111810301019**

**JURUSAN KIMIA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS JEMBER  
2019**



**MODIFIKASI KATALIS ZEOLIT DENGAN  $\text{SiO}_2$  DARI *FLY*  
*ASH* UNTUK PROSES HIDRORENGKAH MINYAK  
SAWIT MENJADI SENYAWA *BIOGASOLINE***

**SKRIPSI**

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

Oleh

**Karina Aprillia**  
**NIM 111810301019**

**JURUSAN KIMIA**  
**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM**  
**UNIVERSITAS JEMBER**  
**2019**

## PERSEMBAHAN

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang maha pengasih lagi maha penyayang, yang telah meridhoi setiap tahap dalam menyelesaikan skripsi ini. Saya persembahkan skripsi ini dengan penuh ketulusan kepada:

1. Ayahanda Didik Rusjayanto dan Ibunda Sri Rejeki atas doa, cinta dan kasih sayang serta kesabara yang telah diberikan selama ini;
2. Segenap keluarga besar dan saudara-saudara, Kakek Sutiyoso, Nenek Rusmini (Almh), Pakde Subarkat (Alm), Besut, serta Dewi Agustin atas doa, dukungan, dan motivasi yang tiada henti;
3. Bapak/Ibu guru TK Bhayangkari, SD 4 patokan, SMPN 1 Situbondo, SMAN 1 Situbondo, bapak/ibu dosen kimia, teknisi jurusan Kimia, dan segenap karyawan FMIPA Universitas Jember yang telah membimbing dan memberikan ilmu, serta pengalamannya;
4. Rhizaldy Bachtiar yang selalu memberikan semangat, motivasi, dan perhatian dikala rasa lelah serta keinginan menyerah datang;
5. Kawan seperjuangan Kimia 2011 (SOLVENT), terima kasih atas semangat, bantuan, saran, perhatian dan kenangan yang telah diberikan;
6. Sahabat Nuri, Eka, Patrica, Dewinta, Ario, Ana, Ika, Ainun, Aranca, Gita, Nehemia, Irwan, Faizatur, terima kasih atas doa dan dukungan yang diberikan selama ini;

Semua pihak yang telah membantu yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

## MOTO

Keberhasilan adalah sebuah proses. Niatmu adalah awal keberhasilan. Peluh keringatmu adalah pendedapnya. Tetesan air matamu adalah pewarnanya. Doamu dan doa orang-orang disekitarmu adalah bara api yang mematangkannya. Kegagalan di setiap langkahmu adalah pengawetnya. Maka dari itu, bersabarlah! Allah selalu menyertai orang-orang yang penuh kesabaran dalam proses menuju keberhasilan. \*)

---

\*) Rais, H.S dan Almahendra, R. 2013. *99 Cahaya di Langit Eropa: Perjalanan Menapak Jejak Islam di Eropa*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka.

**PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Karina Aprillia

NIM : 111810301019

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “Modifikasi Katalis Zeolit dengan SiO<sub>2</sub> dari *Fly Ash* untuk Proses Hidrorengkah Minyak Sawit menjadi Senyawa *Biogasoline*” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi manapun, dan 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 ada tekanan dan paksaan dari pihak mana pun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 11 Januari 2019

Yang menyatakan,

(Karina Aprillia)

NIM 111810301019

**SKRIPSI**

**MODIFIKASI KATALIS ZEOLIT DENGAN  $\text{SiO}_2$  DARI *FLY ASH* UNTUK PROSES HIDRORENGKAH MINYAK SAWIT MENJADI SENYAWA *BIOGASOLINE***

Oleh

**Karina Aprillia**  
**NIM 111810301019**

**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 “Modifikasi Katalis Zeolit dengan SiO<sub>2</sub> dari *Fly Ash* untuk Proses Hidrorengkah Minyak Sawit menjadi Senyawa *Biogasoline*” karya Karina Aprillia telah diuji dan disahkan pada:

hari, tanggal :

tempat : Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas  
Jember

Tim Penguji;

Ketua,

Anggota I,

Novita Andarini, S.Si., M.Si.  
NIP 197211122000032001

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

Anggota II,

Anggota III,

Dwi Indarti, S.si, M.Si  
NIP 197409012000032004

Tanti Haryati, S.Si, M.Si  
NIP 198010292005012002

Mengesahkan  
Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Universitas Jember,

Drs. Sujito, Ph.D.  
NIP 196102041987111001



## RINGKASAN

**“Modifikasi Katalis Zeolit dengan SiO<sub>2</sub> dari Fly Ash untuk Proses Hidrorengkah Minyak Sawit menjadi Senyawa Biogasoline”** Karina Aprillia, 111810301019; 2019; 44 halaman; Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Indonesia merupakan salah satu penghasil minyak sawit terbesar di dunia. Minyak sawit dimanfaatkan sebagai minyak goreng, dan berpotensi sebagai sumber bahan bakar alternatif. Minyak kelapa sawit tersusun dari asam palmitat dan asam oleat serta asam lemak lain yang bersama dengan gliserol akan membentuk triasilgliserol (trigliserida). Komposisi asam lemak terbesar kedua penyusun minyak sawit adalah asam oleat dengan persentase 38% sampai 50%, sehingga minyak sawit berpotensi untuk dikonversi secara katalitik.

Salah satu cara untuk mengubah minyak sawit menjadi bahan bakar alternatif yakni dengan proses hidrorengkah katalitik. Proses hidrorengkah menghasilkan *biogasoline* (C<sub>5</sub>-C<sub>11</sub>) dimana dalam penelitian ini menggunakan zeolit sebagai katalis. Katalis zeolit yang digunakan dimodifikasi dengan menyisipkan Si untuk meningkatkan aktivitas dan selektivitas katalis.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik katalis zeolit yang dimodifikasi dengan menyisipkan Si dan mengetahui pengaruh variasi penyisipan Si. Penelitian ini diawali dengan preparasi zeolit alam, aktivasi zeolit dengan menambahkan larutan HF, HCl, dan NH<sub>4</sub>Cl, kemudian dilanjutkan dengan proses hidrotermal hingga diperoleh katalis H<sub>5</sub>NZA. Katalis H<sub>5</sub>NZA tersebut disisipi dengan Si sebanyak 1%, 2%, 3%, dan 4%. Karakteristik katalis meliputi kandungan rasio Si/Al dan keasaman. Proses hidrorengkah dilakukan dalam kolom reaktor sistem *flow fixe bed* dengan temperatur 450°C dan laju alir gas hidrogen 20mL/menit. Katalis yang digunakan dalam hidrorengkah sebanyak 3 gram. Hasil hidrorengkah dianalisis menggunakan GC-MS sehingga dapat diketahui aktivitas dan selektivitas katalis H<sub>5</sub>NZASi.

Hasil penelitian menunjukkan bahawa zeolit yang telah dimodifikasi mengalami peningkatan rasio Si/Al dan keasamannya. Katalis H<sub>5</sub>NZASi dengan



variasi 2% memiliki rasio paling tinggi yakni sebesar 5,5499. Sedangkan untuk keasaman katalis yang paling tinggi pada katalis  $H_5NZASi$  variasi 3% yakni sebesar 1,2337 mmol/gram. Hubungan antara karakter katalis seperti rasio Si/Al dan keasaman meningkat seiring bertambahnya Si yang disisipkan. Penyisipan Si meningkatkan kemampuan katalis pada hidrorengkah MEPO untuk menghasilkan *liquid product* dengan aktivitas sebesar 73,4 % dan selektivitas terhadap fraksi-fraksi *biogasoline* sebesar 45,37 menggunakan katalis  $H_5NZASi$  3%.



## PRAKATA

Puji syukur atas segala rahmat dan karunia yang dilimpahkan Allah SWT, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Modifikasi Katalis Zeolit dengan SiO<sub>2</sub> dari *Fly Ash* untuk Proses Hidrorengkah Minyak Sawit menjadi Senyawa *Biogasoline*”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) di Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Drs. Sujito, Ph.D., selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember;
2. Dr. Bambang Piluharto, S.Si., M.Si., selaku ketua Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember;
3. Novita Andarini, S.Si., M.Si., selaku Dosen Pembimbing Utama dan Dr. Donatus Setyawan P.H., S.Si., M.Si., selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu, tenaga, pikiran dan perhatian dalam penulisan skripsi ini;
4. Dwi Indarti, S.Si, M.Si., selaku Dosen Penguji I, dan Tanti Haryati, S.Si, M.Si., selaku Dosen Penguji II yang telah meluangkan waktunya guna menguji, serta memberikan kritik dan saran demi kesempurnaan skripsi ini;
5. Tri Mulyonno, S.Si., M.Si., selaku Dosen Pembimbing Akademik yang memberi masukan dan pengalaman dalam dunia perkuliahan;
6. Segenap dosen Fakultas MIPA, terutama dosen-dosen Jurusan Kimia Universitas Jember yang telah memberikan banyak ilmu dan pengetahuan;

Penulis juga menerima segala kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Penulis berharap, semoga skripsi ini dapat bermanfaat.

Jember, Januari 2019

Penulis

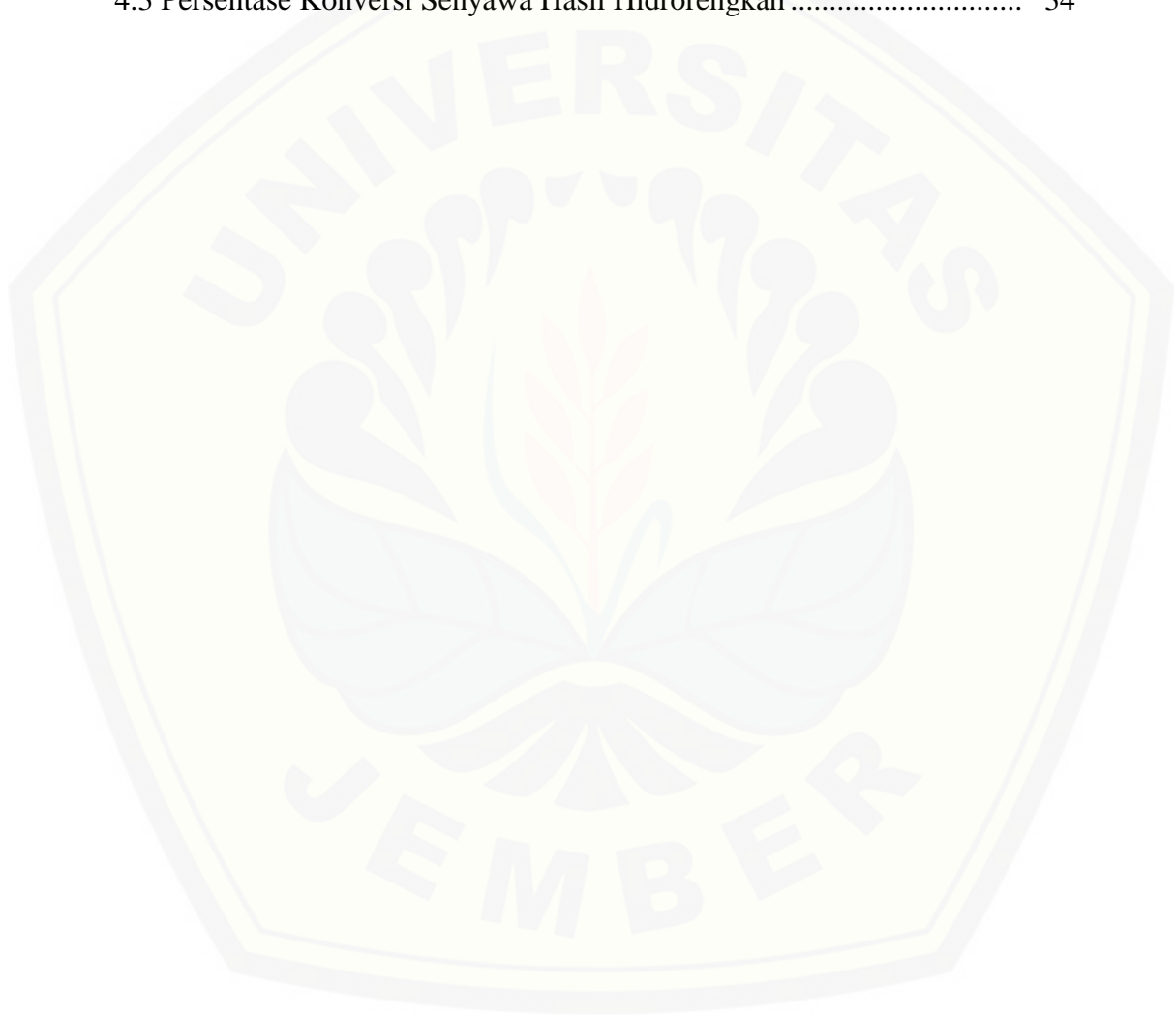
DAFTAR ISI

	Halaman
<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	i
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN .....</b>	ii
<b>HALAMAN MOTTO .....</b>	iii
<b>HALAMAN PERNYATAAN.....</b>	iv
<b>HALAMAN PEMBIMBING .....</b>	v
<b>HALAMAN PENGESAHAN .....</b>	vi
<b>RINGKASAN .....</b>	vii
<b>PRAKATA .....</b>	ix
<b>DAFTAR ISI.....</b>	x
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	xii
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	xiii
<b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>	xiv
<b>BAB 1. PENDAHULUAN .....</b>	1
<b>1.1 Latar Belakang .....</b>	1
<b>1.2 Rumusan Masalah.....</b>	3
<b>1.3 Tujuan Penelitian .....</b>	3
<b>1.4 Batasan Masalah .....</b>	4
<b>1.5 Manfaat Penelitian .....</b>	4
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	5
<b>2.1 Minyak Sawit.....</b>	5
<b>2.2 Biogasoline .....</b>	6
<b>2.3 Transesterifikasi .....</b>	7
<b>2.4 Katalis.....</b>	8
<b>2.5 Zeolit.....</b>	11
2.5.1 Kalsinasi .....	12
2.5.2 Dealuminasi dan Desilikasi.....	12
2.5.3 Pertukaran Ion .....	13
2.5.4 Pengembanan Logam .....	13
<b>2.6 Fly Ash .....</b>	13
<b>2.7 Silika .....</b>	14
<b>2.8 Reaksi Hidrorengkah.....</b>	15
2.8.1 Hidrorengkah Termal .....	16
2.8.2 Hidrorengkah Katalitik.....	16
<b>2.9 Spektroskopi Serapan Atom .....</b>	16
<b>2.10 GC-MS.....</b>	17
<b>BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	18

<b>3.1 Waktu Penelitian</b> .....	18
<b>3.2 Alat dan Bahan</b> .....	18
3.2.1 Alat .....	18
3.2.2 Bahan .....	18
<b>3.3 Diagram Alir Penelitian</b> .....	19
<b>3.4 Prosedur Penelitian</b> .....	20
3.4.1 Preparasi larutan .....	20
3.4.2 Ekstraksi SiO <sub>2</sub> dari <i>Fly Ash</i> .....	21
3.4.3 Preparasi Zeolit Alam .....	21
3.4.4 Aktivasi Zeolit dengan Perlakuan Asam .....	22
3.4.5 Pembuatan Katalis NZASi .....	22
3.4.6 Proses Kalsinasi, Oksidasi, dan Reduksi .....	23
3.4.7 Penentuan Rasio Si/Al .....	23
3.4.8 Penentuan Keasamaan Katalis .....	23
3.4.9 Hidrorengkah MEPO .....	24
3.4.10 Perhitungan Aktivitas dan Selektivitas .....	24
<b>BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	25
<b>4.1 Hasil Preparasi Katalis H<sub>5</sub>NZASi</b> .....	25
<b>4.2 Karakteristik Katalis</b> .....	27
4.2.1 Rasio Si/Al .....	27
4.2.2 Keasamaan Katalis .....	28
<b>4.3 Karakteristik Metil Ester Minyak Sawit</b> .....	29
<b>4.4 Hasil Hidrorengkah MEPO</b> .....	31
4.4.1 Hidrorengkah Termal .....	31
4.4.2 Hidrorengkah Katalitik .....	33
<b>4.5 Aktivitas dan Selektivitas Katalis</b> .....	35
4.5.1 Aktivitas Katalis .....	35
4.5.2 Selektivitas Katalis .....	36
<b>4.6 Hubungan Antara Rasio Si/Al dengan Aktivitas dan selektivitas katalis</b> .....	38
<b>4.7 Hubungan Antara Keasamaan dengan Aktivitas dan selektivitas katalis</b> .....	39
<b>BAB 5. PENUTUP</b> .....	43
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	44
<b>LAMPRAN</b> .....	48

**DAFTAR TABEL**

	Halaman
2.1 Komposisi Asam Lemak dalam Minyak Sawit.....	5
2.2 Kandungan Minor minyak Sawit .....	6
2.3 Komposisi Kimia <i>Fly Ash</i> dari PLTU Paiton.....	14
4.1 Produk Hasil Hidrorengkah Termal .....	32
4.2 Produk Hasil Hdrorengkah katalis H <sub>5</sub> NZASi 1% .....	33
4.3 Persentase Konversi Senyawa Hasil Hidrorengkah .....	34



**DAFTAR GAMBAR**

	Halaman
2.1 Reaksi Transesterifikasi Antara Trigliserida dan Metanol.....	7
2.2 Struktur Kerangka Zeolit.....	11
4.1 Zeolit Alam .....	25
4.2 Zeolit Hasil Aktivasi .....	26
4.3 Zeolit Hasil Modifikasi .....	27
4.4 Rasio Si/Al dari Berbagai Katalis .....	28
4.5 Keasaman Tiap Katalis .....	29
4.6 Reaksi Pembentukan Metoksi.....	30
4.7 Reaksi Transesterifikasi Minyak Kelapa Sawit .....	31
4.8 Kromatogram Senyawa Hasil Transesterifikasi.....	31
4.9 Kromatogram Hasil Hidrorengkah Termal .....	32
4.10 Kromatogram Hasil Hidrorengkah dengan Katalis H <sub>5</sub> NZASi 1%.....	33
4.11 Aktivitas Tiap Katalis .....	36
4.12 Selektivitas Katalis.....	38
4.13 Hubungan Rasio Si/Al dengan Aktivitas Katalis.....	39
4.14 Hubungan Rasio Si/Al dengan selektivitas Katalis.....	40
4.15 Hubungan Keasaman dengan Aktivitas Katalis.....	41
4.16 Hubungan Keasaman dengan Selektivitas Katalis.....	42



DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
A. Gambar Susunan Alat.....	48
A.1 Alat Kalsinasi dan Oksidasi.....	48
A.2 Alat Hidrotermal.....	49
A.3 Alat Hidrorengkah.....	50
A.4 Alat Analisis Keasaman.....	51
B. Gambar MEPO dan Produk Hasil Perengkahan.....	51
B.1 Gambar MEPO.....	51
B.2 Produk Hidrorengkah Termal.....	51
B.3 Produk Hidrorengkah Menggunakan Katalis H <sub>5</sub> NZA.....	52
B.3 Produk Hidrorengkah Menggunakan Katalis H <sub>5</sub> NZASi 1%.....	52
B.3 Produk Hidrorengkah Menggunakan Katalis H <sub>5</sub> NZASi 2%.....	52
B.3 Produk Hidrorengkah Menggunakan Katalis H <sub>5</sub> NZASi 3%.....	52
B.3 Produk Hidrorengkah Menggunakan Katalis H <sub>5</sub> NZASi 4%.....	53
C. Perhitungan Preparasi Bahan.....	53
C.1 Pembuatan Larutan NaOH 3M.....	53
C.2 Pembuatan Larutan HCl 5M, 2M, dan 1M.....	53
C.3 Pembuatan Larutan HF 2%.....	54
C.4 Pembuatan Larutan NH <sub>4</sub> Cl 2M.....	55
D. Perhitungan Rasio Si/Al dan Keasaman Katalis.....	56
D.1 Rasio Si/Al.....	56
D.2 Keasaman Katalis.....	57
E. Perbandingan Kromatogram GC Hasil Hidrorengkah.....	58
F. Daftar Senyawa-senyawa yang Teridentifikasi dari Hasil Hidrorengkah Berbagai Katalis Sesuai dengan Hasil MS.....	59
G. Konversi Sebaran Senyawa Hasil Hidrorengkah.....	62
H. Aktivitas Katalis.....	64
I. Selektivitas Katalis Terhadap Fraksi Biogasoline.....	64
J. Kromatogram GC-MS.....	65
J.1 Kromatogram GC-MS Hasil Hidrorengkah Termal.....	65
J.1 Kromatogram GC-MS Hasil Hidrorengkah H <sub>5</sub> NZA.....	66
J.1 Kromatogram GC-MS Hasil Hidrorengkah H <sub>5</sub> NZASi 1%.....	68
J.1 Kromatogram GC-MS Hasil Hidrorengkah H <sub>5</sub> NZASi 2%.....	70
J.1 Kromatogram GC-MS Hasil Hidrorengkah H <sub>5</sub> NZASi 3%.....	71
J.1 Kromatogram GC-MS Hasil Hidrorengkah H <sub>5</sub> NZASi 2%.....	72
K. Struktur dan Nama Senyawa Hasil Hidrorengkah MEPO.....	74





## BAB 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu penghasil minyak sawit terbesar di dunia. Minyak sawit di Indonesia umumnya hanya digunakan sebagai minyak goreng dan sebagian diekspor ke luar negeri. Minyak sawit selain dimanfaatkan sebagai minyak goreng, juga berpotensi sebagai sumber bahan bakar alternatif. Minyak kelapa sawit tersusun dari asam palmitat dan asam oleat serta asam lemak lain yang bersama dengan gliserol akan membentuk triasilgliserol (trigliserida). Salah satu cara untuk mengubah minyak sawit menjadi bahan bakar alternatif yakni dengan proses hidrorengkah katalitik. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Nurjannah, *et al.* (2010) hidrorengkah katalitik asam oleat dapat menghasilkan gasoline, kerosine, dan diesel oil. Komposisi asam lemak terbesar kedua penyusun minyak sawit adalah asam oleat dengan persentase 38% sampai 50%, sehingga minyak sawit berpotensi untuk dikonversi secara katalitik untuk menghasilkan *biogasoline*.

Penelitian tentang hidrorengkah minyak sawit menjadi *biogasoline* telah banyak dilakukan diantaranya Wijanarko, *et al.* (2012) memproduksi *biogasoline* dari minyak sawit dengan katalis  $\gamma$ -alumina diperoleh *yield* 11,8%. Reaksi hidrorengkah optimum terjadi pada perbandingan berat minyak/katalis 100:1 dalam waktu 1,5 jam pada suhu 340°C. Nasikin *et al* (2009) memproduksi *biogasoline* dari minyak sawit dengan katalis Ni-Mo/zeolit dengan perbandingan katalis:reaktan sebesar 1:75. Reaksi hidrorengkah berlangsung pada 300°C dan 320 °C selama 2 jam dengan tekanan atmosferik diperoleh *yield* 11,93%. Setiadi dan Benny (2006) juga melakukan hidrorengkah minyak sawit menjadi hidrokarbon fraksi *gasoline* dengan menggunakan katalis zeolit sintetik ZSM-5- $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Pada penelitian tersebut dilakukan variasi pada komposisi katalis yakni 5-20%, temperatur yakni 300-500°C, dan laju air gas 10mL/menit. Hasil yang penelitian tersebut menunjukkan bahwa komposisi katalis 5% pada temperatur reaksi 400°C dengan menggunakan umpan MEPO menghasilkan *gasoline* paling tinggi sebesar 63,1%.

Zeolit adalah kristal alumina-silika yang mempunyai struktur berongga atau pori dengan sisi aktif yang bermuatan negatif yang mengikat secara lemah kation penyeimbang muatan. Zeolit mempunyai dua jenis situs asam di dalam kerangka, yaitu situs asam Bronstead berupa proton yang melekat pada kerangka oksigen berikatan dengan atom silikon berada di sekitar atom aluminium dan asam Lewis yang terbentuk dari dehidroksilasi dua gugus asam Bronstead yang berdekatan (Oudejans, 1984), situs asam inilah yang berperan dalam perengkahan katalitik. Farouq (2003), menjelaskan bahwa katalis padat seperti zeolit dengan pori pada daerah mesopori, rasio Si/Al yang tinggi, luas permukaan yang tinggi akan sangat efektif dalam reaksi pemutusan rantai karbon yang panjang dalam minyak sawit untuk menghasilkan senyawa fraksi bahan bakar sebagai produknya. Penelitian Trisunaryati, *et al.* (1996) terhadap zeolit alam dari Wonosari telah diketahui bahwa zeolit ini merupakan mineral alam dengan komposisi utama mordenit sekitar 70 %. Zeolit alam banyak bercampur dengan materi pengotor selain zeolit, baik kristalin maupun amorphus. Oleh karena itu, zeolit alam perlu diaktivasi dan dimodifikasi guna meningkatkan karakternya yang meliputi rasio Si/Al dan aktivitas katalitiknya. Peningkatan rasio Si/Al akan menyebabkan zeolit semakin non polar dan zeolit yang bersifat non polar akan semakin mudah berinteraksi dengan senyawa non polar. Peningkatan rasio Si/Al dapat dilakukan dengan menyisipkan logam Si ke dalam katalis zeolit. Menurut Handoko (2013), penyisipan logam Si dari natrium silikat pada katalis zeolit mengakibatkan terjadinya peningkatan rasio Si/Al sebesar 40,17%.

Berdasarkan latar belakang diatas, maka dilakukan penelitian untuk hidorengkah minyak sawit menjadi *biogasoline* dengan menggunakan katalis zeolit yang dimodifikasi dengan SiO<sub>2</sub> dari *fly ash*. Proses ekstraksi SiO<sub>2</sub> dilakukan menggunakan NaOH 3M, kemudian diendapkan menggunakan HCl 1M (Retnosari, 2013). Langkah selanjutnya, dibuat natrium silikat dengan mereaksikan silika yang diperoleh dan larutan NaOH dengan perbandingan 2:3 berat (‘Adziimaa *et al.*, 2013). Minyak sawit ditransesterifikasi terlebih dahulu menjadi metil ester minyak sawit dan dikonversi menjadi *biogasoline* melalui proses hidorengkah. Proses hidorengkah dilakukan dalam kolom reaktor sistem

*flow fixe bed* dengan temperatur 400°C dan laju alir gas hidrogen 20mL/menit. Katalis yang digunakan pada penelitian ini adalah katalis H<sub>5</sub>NZASi yang dibuat dengan melarutkan katalis H<sub>5</sub>NZA ke dalam natirum silikat, dengan variasi logam Si sebesar 0%, 1%, 2%, 3%, dan 4% berat katalis. Produk yang diperoleh dari hasil hidrorengkah ini akan dianalisis dengan menggunakan GC-MS.

## 1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang akan dikaji dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana karakteristik katalis H<sub>5</sub>NZASi dengan variasi komposisi Si sebesar 0%, 1%, 2%, 3%, dan 4% berat katalis pada hasil preparasi?
2. Bagaimana aktivitas katalis H<sub>5</sub>NZASi dari beberapa variasi komposisi Si 0%, 1%, 2%, 3%, dan 4% berat katalis pada hasil hidrorengkah minyak sawit menjadi *biogasoline*?
3. Bagaimana selektivitas katalis H<sub>5</sub>NZASi dari beberapa variasi komposisi Si 0%, 1%, 2%, 3%, dan 4% berat katalis pada hasil hidrorengkah minyak sawit menjadi *biogasoline*?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui karakteristik katalis H<sub>5</sub>NZASi dengan variasi komposisi Si sebesar 0%, 1%, 2%, 3%, dan 4% berat katalis yang meliputi keasaman dan rasio Si/Al.
2. Mengetahui aktivitas katalis H<sub>5</sub>NZASi dengan beberapa variasi komposisi Si 0%, 1%, 2%, 3%, dan 4% berat katalis pada hasil hidrorengkah minyak sawit menjadi *biogasoline*.
3. Mengetahui selektivitas katalis H<sub>5</sub>NZASi dengan beberapa variasi komposisi Si 0%, 1%, 2%, 3%, dan 4% berat katalis pada hasil hidrorengkah minyak sawit menjadi *biogasoline*.

#### 1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. *Fly ash* batubara yang digunakan berasal dari PLTU Paiton-Probolinggo.
2. Zeolit alam diambil dari daerah Wonosari, Yogyakarta.
3. Zeolit yang digunakan sebagai katalis berukuran 100 mesh.
4. Suhu dalam proses hidorengkah sebesar 450°C.

#### 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menginformasikan pengolahan minyak sawit menjadi *biogasoline*
2. Solusi untuk mengurangi pencemaran lingkungan akibat limbah *fly ash* dengan memanfaatkannya sebagai bahan dalam pembuatan katalis H<sub>5</sub>NZASi.



## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Minyak Sawit

Kelapa sawit sebagai tanaman penghasil minyak sawit dan inti sawit merupakan salah satu primadona tanaman perkebunan yang menjadi sumber penghasil devisa non migas bagi Indonesia. Cerahnya prospek komoditi minyak kelapa sawit dalam perdagangan minyak nabati dunia telah mendorong pemerintah Indonesia untuk memacu pengembangan areal perkebunan kelapa sawit. Pemilihan minyak kelapa sawit sebagai sumber energi alternatif sangat tepat dilakukan di Indonesia karena Indonesia merupakan negara penghasil minyak kelapa sawit terbesar kedua di dunia setelah negeri jiran Malaysia. Tahun 2010 diproyeksikan produksi minyak sawit Indonesia mencapai 12 juta ton/tahun. Ketersediaan minyak sawit yang cukup banyak, maka minyak sawit merupakan salah satu bahan baku alternatif yang sangat potensial untuk membuat bahan bakar pengganti gasoline, kerosene dan solar yang dapat diperbaharui, selain itu pembuatan bahan bakar yang dihasilkan dari minyak sawit telah diteliti lebih ramah lingkungan karena bebas dari nitrogen dan sulfur (Yusman, 2012).

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. Komposisi asam lemak minyak sawit seperti pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 Komposisi Asam Lemak dalam Minyak Sawit

Nama Asam Lemak	Rumus Asam Lemak	Komposisi
Laurat	C12:0	0,2%
Myeustat	C14:0	1,1%
Palmitat	C16:0	44,0%
Stearate	C18:0	4,5%
Oleat	C18:1	39,2%
Linoleat	C18:2	10,1%
Lainnya	-	0,9%

Sumber: Pahan,2008

Selain dari asam lemak, minyak sawit masih memiliki komponen minor. Kandungan minor minyak kelapa sawit dapat dilihat pada table 2.2 berikut ini:

Tabel 2.2 Kandungan Minor Minyak Sawit

No	Komponen	Konsentrasi (ppm)
1	Karoten	500 – 700
2	Tokofenol	400 – 600
3	Sterol	~ 300
4	Phospatida	500
5	Besi	10
6	Tembaga	0,5
7	Air	0,07 - 0,18
8	Kotoran-kotoran	0,01

Sumber: Pahan,2008

Minyak sawit banyak digunakan sebagai minyak goreng dan berfungsi sebagai penghantar panas, penambah rasa gurih, dan penambah nilai kalori bahan pangenyang dapat berasal dari hewan maupun tumbuhan. Molekul-molekul lemak yang mengandung radikal asam lemak tidak jenuh mengalami oksidasi dan menjadi tengik. Bau tengik disebabkan pembentukan senyawa-senyawa hasil penguraian hidroperoksida menjadi aldehid dan keton (Winarno, 1992).

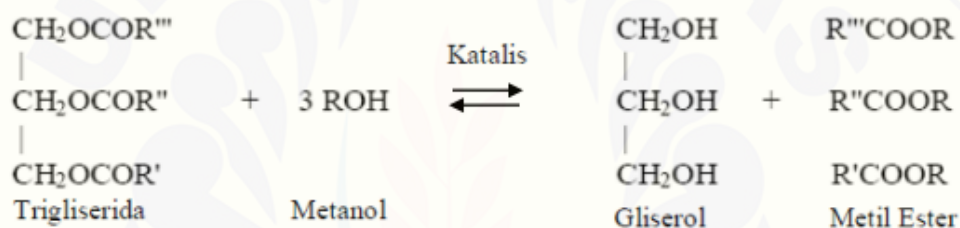
## 2.2 Biogasoline

*Gasoline* atau yang sering kita sebut bensin sangat penting, terutama di zaman modern dengan mobilitas manusia yang sangat tinggi. *Biogasoline* merupakan jenis *gasoline* (bensin) yang terbuat dari sumber daya alam yang dapat diperbaharui. Salah satu sumber daya alam yang dimaksud disini adalah minyak sawit. Fraksi *gasoline* tersusun atas hidrokarbon rantai lurus dengan rumus kimia  $C_nH_{2n+2}$ , mulai dari  $C_5$  sampai dengan  $C_{11}$ . Di Indonesia terdapat beberapa bahan bakar jenis bensin yang mempunyai nilai mutu pembakaran berbeda. Nilai mutu jenis BBM bensin ditentukan berdasarkan nilai RON (*research octane number*) (Prihandana *et al.*, 2007). Jenis *biogasoline* yang dimaksud di sini adalah jenis premium dengan proses konversi, yaitu proses untuk mengubah ukuran dan struktur senyawa hidrokarbon. Salah satu caranya adalah dengan cara perengkahan termal dan terkatalisis (*thermal and catalytic cracking*).



### 2.3 Transesterifikasi

Reaksi transesterifikasi merupakan reaksi dari minyak atau lemak dengan alkohol untuk membentuk ester dan gliserol. Transesterifikasi terdiri dari tiga reaksi reversibel yaitu konversi trigliserida menjadi digliserida, digliserida menjadi monogliserida, dan monogliserida menjadi metil ester dan gliserol (Chouhan, 2011). Reaksi ini dibagi atas tiga jenis yaitu interesterifikasi yang merupakan pembentukan alkil ester dari ester dengan ester, alkoholisis pembentukan alkil ester dari suatu ester dengan alkohol, dan asidolisis yaitu reaksi antara suatu ester dengan asam karboksilat (Frank G, 2004). Reaksi transesterifikasi meliputi pengubahan lemak/minyak menjadi senyawa metil ester. Reaksi transesterifikasi diperlukan adanya katalis berdasarkan reaksi di bawah ini:



Gambar 2.1 Reaksi transesterifikasi antara trigliserida dan metanol

Proses transesterifikasi dipengaruhi oleh beberapa faktor penting antara lain:

a. Suhu Reaksi

Pengaruh suhu terhadap reaksi transesterifikasi menghasilkan metil ester dengan bahan baku trigliserida dapat dilakukan dalam berbagai suhu reaksi. Konwar, (2013) telah melakukan reaksi transesterifikasi minyak jarak dengan variasi suhu reaksi 50-100<sup>0</sup>C. Peningkatan suhu menghasilkan peningkatan laju transesterifikasi, namun suhu yang paling tepat untuk transesterifikasi adalah 80<sup>0</sup>C dengan tidak adanya kandungan asam lemak bebas di dalam bahan baku.

b. Perbandingan Molar Alkohol dengan Minyak

Perbandingan molar antara metanol dengan minyak merupakan salah satu faktor yang sangat penting dengan adanya asam lemak bebas yang terkandung di dalam bahan baku minyak maupun lemak. Transesterifikasi merupakan reaksi yang setimbang, maka dibutuhkan alkohol berlebih agar kesetimbangan mengarah pada pembentukan ester asam lemak. Yao (2010) telah melakukan reaksi

transesterifikasi minyak biji kapas dengan variasi mol alkohol dengan minyak yaitu 3:1; 9:1; 12:1 (mol/mol) dengan metil ester maksimal yang diperoleh pada perbandingan 12:1 (mol/mol)

c. Konsentrasi Katalis

Konsentrasi katalis yang digunakan bergantung pada bahan baku yang digunakan. Dalam katalis asam heterogen, konsentrasi katalis mengacu pada banyaknya gugus sulfonat yang terikat pada katalis tersebut yang bersifat polar sehingga mampu mengkonversi asam lemak bebas dalam bahan baku yang digunakan. Penelitian sebelumnya menggunakan konsentrasi katalis sebesar 2-6,5% (berat) untuk transesterifikasi minyak jarak dengan asam lemak bebas 8,17% (Konwar, 2013).

d. Waktu Reaksi

Semakin lama waktu reaksi transesterifikasi maka semakin besar yield yang diperoleh dari reaksi tersebut. Yao (2010) telah melakukan reaksi transesterifikasi minyak biji kapas dengan variasi waktu 1-5 jam. Diperoleh hasil bahwa metil ester meningkat pada waktu reaksi 1 dan 2 jam sedangkan pada 3-5 jam peningkatan kadar metil ester yang terjadi tidak terlalu signifikan.

## 2.4 Katalis

Katalis merupakan zat yang mampu meningkatkan laju suatu reaksi kimia agar reaksi tersebut dapat berjalan lebih cepat. Katalis ikut terlibat dalam suatu reaksi, tetapi pada akhir reaksi terbentuk kembali seperti bentuknya semula. Katalis tidak memberikan tambahan energi pada sistem dan secara termodinamika tidak dapat mempengaruhi keseimbangan. Katalis mempercepat reaksi dengan cara menurunkan energi aktivasi reaksi. Penurunan energi aktivasi tersebut terjadi sebagai akibat dari interaksi antara katalis dan reaktan (Campbell, 1998). Berdasarkan fase penyusunnya, interaksi katalis dengan reaktan dibedakan menjadi dua macam, 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 reaksinya.

Kinerja katalis ditentukan oleh tiga hal yaitu aktivitas, selektivitas, dan stabilitas operasi yang dapat mempengaruhi waktu pakai katalis. Waktu pakai inilah yang menentukan efektifitas penggunaan katalis.

a. Aktivitas.

Aktivitas katalis biasanya dinyatakan dalam persentase konversi atau jumlah produk yang dihasilkan dari (jumlah) reaktan yang digunakan dalam waktu reaksi tertentu. Aktivitas katalis sangat bergantung pada sifat kimia katalis, di samping luas permukaan dan distribusi pori katalis. Unjuk kerja reaktor dalam industri seringkali dikuantitaskan dalam 'space-time yield' (STY), artinya kuantitas produk yang terbentuk per unit waktu dan volume reaktor.

b. Selektivitas.

Selektivitas dapat diartikan sebagai 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 serta macam reaksi.

Penggunaan katalis mungkin hanya diperlukan aktivitasnya saja atau mungkin selektivitasnya saja atau keduanya. Aktivitas katalis biasanya akan menurun dengan meningkatnya temperatur, dan peningkatan temperatur juga akan berakibat memperpendek waktu pakai (*life time*) katalis. Jika secara termodinamika produk sangat bervariasi maka peningkatan temperatur sistem dapat menyebabkan meningkat atau menurunnya selektivitas katalis, bergantung pada keseluruhan kinetik dan produk yang diinginkan. Berdasarkan hal tersebut, selektivitas dapat dikontrol melalui kondisi temperatur sistem (Satterfield, 1980).

c. Waktu Pakai Katalis.

Aktivitas suatu katalis berkaitan erat dengan kondisi waktu pakai katalis yang meliputi suhu, tekanan, macam reaktan yang digunakan dan frekuensi penggunaan katalis. Beberapa penyebab penurunan kemampuan waktu pakai katalis adalah:

1. Terjadinya keracunan katalis (*poisoning*), hal ini disebabkan adanya unsur tertentu dalam senyawa yang diumpankan ke dalam reaktor dan teradsorpsi dengan mudah ke permukaan katalis sehingga situs aktif katalis tertutup,
2. Terjadinya pengotoran (*fouling*) pada permukaan katalis, pengotoran terjadi karena adanya pengotor yang mengendap dan teradsorpsi secara fisik maupun kimia pada permukaan katalis sehingga akan mengurangi luas permukaan katalis,
3. Terjadinya penggumpalan (*sintering*), penggumpalan pada sistem katalis logam pengemban diakibatkan karena terjadi kerusakan struktur pengemban yang disebabkan suhu operasi yang terlalu tinggi. Penggumpalan tersebut akan mengurangi luas permukaan kontak sehingga aktivitas katalis menurun.

(Fatimah, 2013).

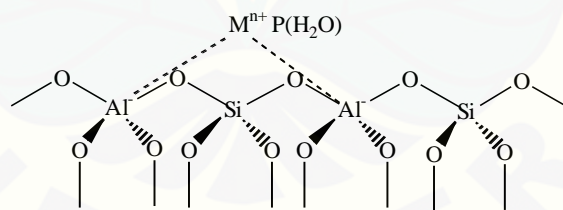
Kemampuan suatu padatan sebagai katalis sangat berkaitan erat dengan pori dan luas permukaan. Penentuan pori suatu permukaan katalis merupakan bagian yang cukup penting pada karakterisasi padatan, karena sangat berhubungan dengan aktivitas katalis. Semakin luas permukaan katalis maka akan semakin banyak molekul pereaksi yang dapat teradsorpsi pada permukaan dan akan bereaksi sehingga dapat menghasilkan produk dengan waktu yang cepat. Smith (1970) menjelaskan bahwa proses difusi dalam pori-pori akan selalu besar dari laju proses permukaan. Pori katalis akan ekuivalen sama banyaknya dengan permukaan yang tersebar pada lapisan datayang berarti jika proses permukaan cepat karena katalis aktif dan memiliki diameter pori kecil, maka proses laju difusi belum tentu besar juga. Chambell (1988) menggolongkan pori-pori katalis berdasarkan ukuran diameternya menjadi tiga, yaitu:

- a. Mikropori, pori-pori yang berukuran paling kecil dengan diameter kurang dari 2 nm,
- b. Mesopori, pori-pori yang memiliki ukuran diameter 2 nm sampai dengan 50 nm,
- c. Makropori, pori-pori dengan diameter lebih dari 50 nm.

## 2.5 Zeolit

Zeolit merupakan suatu mineral aluminosilikat dengan struktur berongga yang didalamnya ditempati ion-ion dan molekul air yang dapat bergerak bebas. Ion-ion yang ada dalam zeolit dapat dipertukarkan, sedangkan molekul-molekul airnya dapat didehidrasi. Rongga atau ruang dalam mineral zeolit saling berhubungan membentuk kanal-kanal intrakristal berukuran molekuler. Tetrahedral dalam struktur tersebut ditempati oleh kation  $\text{Al}^{3+}$  ataupun  $\text{Si}^{4+}$  dengan ion-ion  $\text{O}^{2-}$  berada pada sudut-sudutnya (Smith, 1992). Struktur tetrahedral dalam zeolit yaitu  $\text{AlO}_4^-$  dan  $\text{SiO}_4$  yang masing-masing mempunyai bilangan koordinasi 4.

Struktur tetrahedral yang dimiliki zeolit sangat memungkinkan untuk digunakan sebagai pengemban dan katalis. Menurut Smith (1992), zeolit digunakan secara luas sebagai katalis dalam proses Hidrorengkah (*cracking*) didasarkan pada produksi situs asam Bronsted dan situs asam Lewis yang terdapat dalam pori zeolit. Rasio Si/Al di dalam kerangka zeolit tersebut sangat menentukan keasaman zeolit. Keasaman zeolit terdiri dari asam Bronstead dan asam Lewis dimana jumlah total asam Bronstead dan asam Lewis adalah konstan. Keasaman zeolit meningkat dengan bertambahnya rasio Si/Al.



Gambar 2.2 Struktur kerangka zeolit (Sumber : Oudejans, 1984)

Zeolit memerlukan modifikasi untuk memperbaiki karakter zeolit sebagai katalis ataupun sebagai zat pengemban. Modifikasi zeolit dapat dilakukan dengan berbagai cara antara lain dengan mengubah spesies kation, mengubah ukuran pori, mengubah perbandingan Si/Al dan mengubah derajat dehidrasinya. Modifikasi zeolit dapat dilakukan secara fisik maupun secara kimia meliputi proses kalsinasi, dealuminasi dan desilikasi, pertukaran ion, serta pengembanan logam (Hamdan, 1992).



### 2.5.1 Kalsinasi

Kalsinasi merupakan suatu proses perlakuan termal dan dialiri dengan gas nitrogen yang berfungsi untuk menghilangkan senyawa organik dan menghilangkan uap air yang terperangkap dalam pori-pori kristal zeolit. Perlakuan kalsinasi ini dapat mengubah stuktur padatan yang terdapat dalam zeolit, dan akibatnya adalah meningkatkan luas permukaan dan meningkatkan jumlah pori (Nurhadi, 1999). Proses kalsinasi tidak terjadi reaksi karena pada proses kalsinasi hanya mengubah struktur padatan yang terdapat dalam zeolit (Sutarti dan Rachmawati, 1994).

### 2.5.2 Dealuminasi dan Desilikasi

Perubahan rasio Si/Al akan pada suatu material akan mempengaruhi sifat dari material tersebut. Perubahan rasio Si/Al dapat dilakukan dengan 2 teknik yakni dealuminasi dan desilikasi. Dealuminasi zeolit merupakan suatu peristiwa penurunan kandungan Al dalam zeolit. Menurut Suyartono (1991), dealuminasi dapat dilakukan dengan perendaman zeolit dalam larutan asam yang bertujuan untuk meningkatkan rasio Si/Al. Karena zeolit dengan kandungan aluminium yang tinggi kurang stabil pada suhu tinggi. Menurut Sherington (2001), dealuminasi dapat dilakukan dengan penyisipan Si. Al dihilangkan dari kerangka zeolit dalam bentuk garam yang larut dalam air. Selanjutnya, Si akan menempati kerangka yang ditinggalkan Al. Contoh larutan yang sering digunakan pada proses ini adalah  $\text{NH}_4\text{SiF}_6$ ,  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ , dan uap  $\text{SiCl}_4$ . Yuanita (2010) melakukan modifikasi terhadap zeolit alam menggunakan metode dealuminasi dengan penyisipan Si dari natrium silikat pada kerangka zeolit. Berdasarkan hasil penelitian, zeolit alam awal memiliki rasio Si/Al 6,05 setelah dilakukan penyisipan Si, rasio Si/Al meningkat menjadi 9,71.

Desilikasi merupakan suatu perlakuan pada zeolit dengan prinsip ekstraksi yang selektif terhadap atom Si dari kerangka zeolit. Desilikasi biasanya menggunakan larutan alkali, dimana larutan yang paling cocok adalah NaOH. Metode ini sering disebut *alkali treatment*. Zeolit yang dihasilkan dari metode desilikasi memiliki rasio Si/Al yang lebih rendah dan perubahan sifat asamnya sangat kecil (Ogura *et al*, 2001).

### 2.5.3 Pertukaran Ion

Pertukaran ion dalam zeolit untuk mengaktifkan pori zeolit. Besarnya pori zeolit dapat diaktifkan dengan menurunkan sejumlah kation dengan penukaran kation logam yang bervalensi tinggi (Sutarti, 1994). Tujuan dari pertukaran ion dalam zeolit adalah memodifikasi pori zeolit, mereduksi kation membentuk partikel kation yang lebih kecil, dan meningkatkan kestabilan zeolit.

### 2.5.4 Pengembangan Logam

Pengembangan logam adalah memberikan komponen logam aktif ke dalam suatu bahan pengemban yang berpori. Perlakuan ini dilakukan untuk memperluas permukaan aktif zeolit dan diharapkan situs aktif logam tersebar merata diseluruh permukaan katalis. Menurut Augustine (1996), pengembangan logam dapat dilakukan dengan cara impregnasi kering, yaitu bahan pengemban dibasahi dengan larutan yang sesuai dengan volume pori kemudian dikeringkan atau impregnasi basah, yaitu merendam bahan pengemban dengan larutan garam yang volume larutan garamnya melebihi volume pori dari pengemban.

## 2.6 *Fly Ash*

*Fly ash* merupakan material yang memiliki ukuran butiran yang halus, berwarna keabu-abuan dan diperoleh dari hasil pembakaran batubara. *Fly ash* terdiri dari bahan anorganik yang terdapat di dalam batu bara yang telah mengalami fusi selama pembakarannya. Kandungan utama dari *fly ash* antara lain silika ( $\text{SiO}_2$ ), alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), dan besi oksida ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), sisanya adalah karbon, kalsium, magnesium, dan belerang (Retnosari, 2013). Karakteristik *fly ash*:

- a. Dari segi gradasinya, jumlah prosentase yang lolos dari saringan No. 200 (0,074 mm) berkisar antara 60% sampai 90%.
- b. Warna dari *fly ash* dapat bervariasi dari abu-abu sampai hitam tergantung dari jumlah kandungan karbonnya, semakin terang semakin rendah kandungan karbonnya.
- c. *Fly ash* bersifat tahan air (*hydrophobic*) (Setiawan Ary dkk,2009).



Komposisi kimia abu terbang dari PLTU Paiton dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel 2. Komposisi kimia *fly ash* dari PLTU Paiton

No.	Komposisi Penyusun	Kandungan (%W)
1.	SiO <sub>2</sub>	30,25 – 36,83
2.	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,52 – 23,78
3.	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13,46 – 19,94
4.	CaO	11,40 – 16,57
5.	MgO	5,360 – 8,110
6.	Mn <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	0,140 – 0,480
7.	Na <sub>2</sub> O	0,250 – 0,740
8.	K <sub>2</sub> O	0,630 – 1,320
9.	TiO <sub>2</sub>	0,830 – 1,050
10.	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,630 – 3,750
11.	SO <sub>3</sub>	3,010 – 7,280

Sumber : PJB Paiton (2002)

*Fly ash* batubara umumnya digunakan dalam pabrik semen sebagai salah satu bahan campuran pembuat beton. Selain itu, sebenarnya *fly ash* batubara memiliki berbagai kegunaan yang amat beragam :

1. Penyusun beton untuk jalan dan bendungan
2. Penimbun lahan bekas pertambangan
3. *Recovery* magnetit, cenosphere, dan karbon
4. Bahan baku keramik, gelas, batu bata, dan refraktori
5. Bahan penggosok (polisher)
6. Filler aspal, plastik, dan kertas
7. Pengganti dan bahan baku semen
8. Konversi menjadi zeolit dan adsorben

Konversi abu terbang batubara menjadi zeolit dan adsorben merupakan contoh pemanfaatan efektif dari abu terbang batubara (Marinda, 2008).

## 2.7 Silika

Silika atau silikon dioksida merupakan bentuk senyawa kimia yang paling umum untuk persenyawaan silikon. Silika murni terdapat dalam dua bentuk yaitu kuarsa dan kristobalit. Struktur silika tersusun atas silikon yang berikatan secara tetrahedral terhadap empat atom oksigen, namun ikatannya memiliki sifat ionik.

Kristobalit susunan atom silikon ditempatkan seperti halnya atom karbon dalam intan dengan keberadaan atom oksigen berada di tengah setiap pasangan atom. Silika dalam keadaan kuarsa terdapat bentuk heliks sehingga kristal berbentuk enansiomorf (Cotton, 1989).

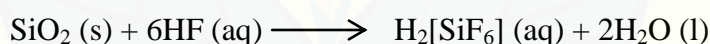
Kelimpahan silika di alam memiliki banyak manfaat hal ini dikarenakan struktur dari silika merupakan unit yang umumnya mendasari kebanyakan mineral. Kristal silika memiliki dua ciri utama yakni:

1. Setiap atom silikon berada pada pusat tetrahedral yang terdiri dari empat atom oksigen.
2. Setiap atom oksigen berada ditengah antara dua atom silikon (Keenan, 1992).

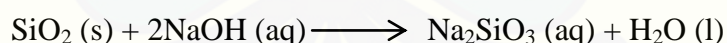
Silika berupa bubuk padat berwarna putih yang memiliki massa molar  $60,08 \text{ g mol}^{-1}$ , kepadatan sebesar  $2,648 \text{ g cm}^{-3}$ , titik lebur  $1600\text{-}1725^\circ\text{C}$ , dan titik didih sebesar  $2230^\circ\text{C}$  (Masramdhani, 2011). Silika relatif tidak reaktif terhadap asam kecuali asam hidrof luorida dan asam fosfat. Berikut merupakan reaksi silika dengan asam hidrof luorida:



Dalam asam berlebih reaksinya adalah:



Silika dapat bereaksi dengan basa terutama basa kuat seperti hidrok sida alkali.



(Vogel, 1985).

## 2.8 Reaksi Hidrorengkah

Reaksi Hidrorengkah merupakan reaksi pemutusan ikatan C-C suatu rantai hidrokarbon yang bermolekul besar menjadi rantai hidrokarbon yang bermolekul lebih kecil. Proses pemutusan ini menggunakan suhu dan tekanan yang tinggi tanpa adanya katalis, atau suhu dan tekanan rendah dengan menggunakan katalis. Reaksi hidrorengkah dibagi menjadi 2 yakni hidrorengkah termal dan katalitik.

### 2.8.1 Hidrorengkah Termal

Hidrorengkah termal didefinisikan sebagai proses konversi satu substansi menjadi substansi lain melalui pemanasan tanpa adanya oksigen (pirolisis) dan pemecahan ikatan kimia yang menghasilkan molekul-molekul lebih kecil. Bahan yang dapat dipirolisis adalah minyak nabati, lemak hewan, asam lemak bebas, dan metal ester asam lemak (Ma, 1999). Hidrorengkah metil ester melalui mekanisme radikal bebas terjadi pemutusan ikatan rantai hidrokarbon yang menghasilkan molekul-molekul hidrokarbon lebih rendah.

### 2.8.2 Hidrorengkah Katalitik

Hidrorengkah katalitik merupakan proses Hidrorengkah yang menggunakan suatu katalis ke dalam reaksinya. Proses Hidrorengkah katalitik menghasilkan suatu ion karbonium. Ion karbonium akan mudah terbentuk apabila reaksi berlangsung pada temperatur tinggi. Terbentuknya karbonium akan menyesuaikan diri untuk keadaan stabilnya. Jika gugus  $R_2$  cukup panjang, maka kestabilan karbonium akan mengikuti aturan:



Hidrorengkah terjadi pada ikatan dengan lokasi  $\beta$  dari atom karbon yang bermuatan positif. Hidrorengkah dari hidrokarbon rantai lurus menghasilkan pembentukan ion karbonium primer (Yusman, 2012).

## 2.9 Atomic Absorption Spectroscopy (AAS)

Proses analisa menggunakan metode spektroskopi serapan atom (AAS, *Atomic Absorption Spectroscopy*), terjadi tahapan atomisasi dalam pembentukan atom netral wujud gas (Skoog, 1993). Tahap atomisasi melalui proses penyemprotan larutan membentuk kabut pada nyala api. 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, 1994). Proses ini diakibatkan oleh pengaruh langsung dari panas oleh substansi-substansi dalam nyala (Zainuddin, 1998).

### 2.10 Gas Chromatography-Mass Spectroscopy (GC-MS)

Kromatografi gas merupakan metode pemisahan campuran senyawa menjadi komponen-komponennya diantara fase gerak dan fase diam. Fase gerak berupa gas yang stabil, sedangkan fase diam bisa zat padat (GSC, *Gas Solid Chromatography*) atau zat cair (GLC, *Gas Liquid Chromatography*) yang sukar menguap. Cuplikan yang dapat dipisahkan dengan metode ini harus mudah menguap (Hendayana, 2006). Sedangkan pada spektroskopi massa, molekul-molekul organik ditembak dengan berkas elektron dan diubah menjadi ion-ion bermuatan bertenaga tinggi, yang dapat pecah menjadi ion-ion yang lebih kecil, lepasnya elektron dari molekul menghasilkan radikal kation. Ion-ion molekuler, ion-ion pecahan dan ion-ion radikal pecahan dipisahkan oleh pembelokan dalam medan magnet yang dapat berubah sesuai dengan massa dan muatannya sehingga menimbulkan arus pada kolektor yang sebanding dengan limpahan relatifnya.

Penentuan suatu senyawa dengan kromatografi gas didasarkan pada waktu retensi yang dimiliki oleh senyawa tersebut (Arthur *et al.*, 1991). Waktu retensi merupakan ciri khas cuplikan, sehingga waktu retensi ini dapat digunakan untuk mengidentifikasi cuplikan. Setiap puncak yang dihasilkan akan memiliki luas tertentu yang sebanding dengan konsentrasi. Luas puncak digunakan untuk menentukan konsentrasi setiap komponen dari cuplikan (McNair dan Bonelli, 1988).

Kombinasi antara metode spektroskopi massa dengan kromatografi gas bertujuan untuk menghasilkan data yang lebih akurat. Kolom kromatografi gas berfungsi untuk memisahkan senyawa-senyawa yang terdapat dalam sampel yang diinjeksikan berdasarkan interaksinya dengan kolom GC. Selanjutnya senyawa-senyawa yang telah terpisah oleh kolom GC dilewatkan dalam spektrometer massa sehingga diperoleh data spectrum massa dari masing-masing senyawa yang berhasil dipisahkan oleh kolom GC (Siswoyo dan Asnawati, 2007).

### BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Kimia Fisik, Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Jember pada bulan Januari 2016 sampai dengan Desember 2018.

#### 3.2 Alat dan Bahan

##### 3.2.1 Alat Penelitian

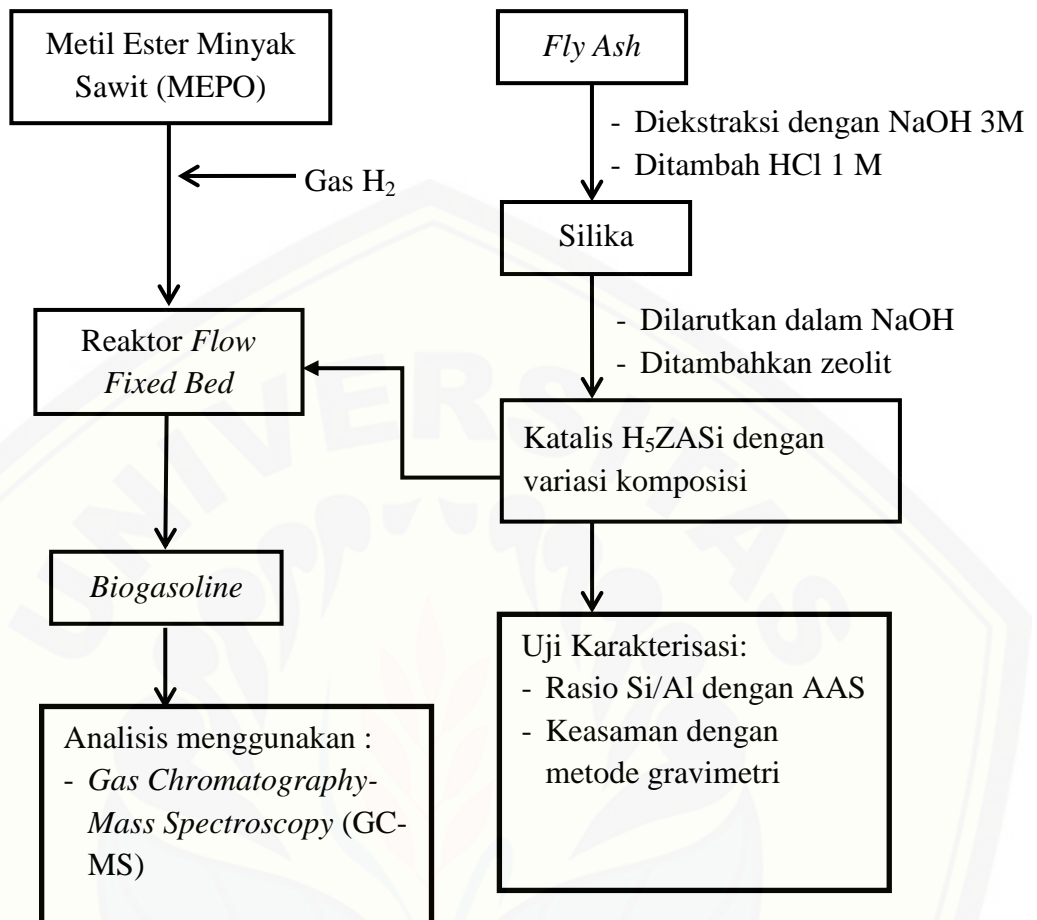
Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah *beaker glass* 50, 100, dan 250 ml, gelas ukur 50 ml, labu ukur 100 dan 250 ml, labu leher tiga 100 ml, erlenmeyer, pipet tetes, pipet volume 10 dan 25 ml, *stirrer magnetic*, *furnace*, saringan 100 mesh, oven, neraca analitik, termometer, spektrofotometer serapan atom (AAS), *Gas Chromatography-Mass Spectroscopy* (GC-MS), satu set reaktor jenis *flow fixe bed*, desikator, cawan porselin, corong pisah, dan pH meter.

##### 3.2.2 Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah zeolit alam, *fly ash* dari PLTU Paiton-Probolinggo, Metil ester palm oil (lemigas),  $\text{NH}_4\text{Cl}$  99,8% (merck), HF 49% (merck), HCl 37% (merck), KOH p.a, NaOH (merck), kertas saring Whatman 41, methanol p.a,  $\text{NH}_3$  25% p.a, akuades (teknis), gas hidrogen (samator), gas oksigen (samator), dan gas nitrogen (samator).



**3.3 Diagram Alir Penelitian**



### 3.4 Prosedur Penelitian

#### 3.4.1 Preparasi Larutan

##### a. Pembuatan Larutan NaOH 3 M

Larutan NaOH 3 M dibuat dengan cara menimbang terlebih dahulu NaOH sebanyak 30 gram, kemudian dimasukkan ke dalam gelas kimia 250 mL yang berisi sedikit akuades. NaOH yang telah dilarutkan kemudian dimasukkan ke dalam labu ukur 250 mL dan ditambah akuades hingga tanda batas. Labu ukur dikocok perlahan supaya larutan menjadi homogen.

##### b. Pembuatan Larutan HCl 5 M

Larutan HCl 5 M dibuat dengan mengambil 207,3 mL HCl 37% (12 M), kemudian dimasukkan ke dalam labu ukur 500 mL yang telah berisi sedikit akuades, kemudian ditambah akuades hingga tanda batas. Labu ukur dikocok perlahan supaya larutan menjadi homogen.

##### c. Pembuatan Larutan HCl 2 M

Larutan HCl 2 M dibuat dengan mengambil 82,9 mL HCl 37% (12 M), kemudian dimasukkan ke dalam labu ukur 500 mL yang telah berisi sedikit akuades, kemudian ditambah akuades hingga tanda batas. Labu ukur dikocok perlahan supaya larutan menjadi homogen.

##### d. Pembuatan Larutan HCl 1M

Larutan HCl 1M dibuat dengan mengambil 41,5 mL HCl 37% (12 M), kemudian dimasukkan ke dalam labu ukur 500 mL yang telah berisi sedikit akuades, kemudian ditambah akuades hingga tanda batas. Labu ukur dikocok perlahan supaya larutan menjadi homogen.

##### e. Pembuatan Larutan HF 2%

Larutan HF 2% dibuat dengan mengambil 20,25 mL HF 49%, kemudian dimasukkan ke dalam labu ukur 500 mL, dan ditambah akuades hingga tanda batas. Labu ukur dikocok perlahan supaya larutan menjadi homogen.

##### f. Pembuatan Larutan NH<sub>4</sub>Cl 2M

Larutan NH<sub>4</sub>Cl 2M dibuat dengan cara menimbang terlebih dahulu NaOH sebanyak 53,49 gram, kemudian dimasukkan ke dalam gelas kimia 250 mL yang berisi sedikit akuades. NH<sub>4</sub>Cl yang telah dilarutkan kemudian dimasukkan ke



dalam labu ukur 500 mL dan ditambah akuades hingga tanda batas. Labu ukur dikocok perlahan supaya larutan menjadi.

#### 3.4.2 Ekstraksi SiO<sub>2</sub> dari *Fly Ash*

Sebanyak 50 gram sampel (*fly ash*) yang diambil dari PLTU Paiton- Probolinggo direndam dalam air panas selama 2 jam untuk mengekstrak bahan organik larut air. Didekantasi lalu dikeringkan pada suhu 100°C selama 24 jam yang bertujuan untuk menguapkan air. Sampel yang telah dipreparasi direfluks dengan larutan HCl 5 M selama 5 jam, disaring dan dikeringkan dalam oven temperatur 100°C. Sebanyak 25 gram sampel direndam dalam larutan 150 ml NaOH dengan konsentrasi 3 M. Selanjutnya dipanaskan pada suhu 65-70°C yang disertai pengadukan dengan kecepatan 150 rpm dan dibiarkan selama 3 jam. Sampel disaring dan filtrat ditampung. Filtrat ditambahkan larutan HCl 1 M secara bertahap hingga pembentukan endapan berhenti (pH ± 7). Setelah itu endapan dipisahkan dan dicuci dengan akuades panas untuk menghilangkan kelebihan asam. Endapan yang diperoleh dari perlakuan ini selanjutnya dikeringkan dalam oven pada suhu 80°C selama 6 jam untuk menghilangkan air (Retnosari, 2013). Silika yang diperoleh dilarutkan dalam larutan NaOH dengan perbandingan berat antara NaOH:silika adalah 4:3 (Adziimaa, 2013). NaOH sebanyak 57,14 gram dilarutkan dalam 100 ml akuades. Setelah larut, ditambahkan silika hasil ekstraksi sebanyak 42,86 gram dan dipanaskan hingga silika larut dalam larutan.

#### 3.4.3 Preparasi Zeolit Alam

Zeolit alam direndam dalam akuades sambil diaduk dengan *stirrer magnetic* selama 24 jam, kemudian campuran tersebut disaring dan endapan dikeringkan dalam oven pada temperatur 120°C selama 12 jam. Zeolit yang telah kering digerus dan diayak hingga lolos 100 mesh. Zeolit yang telah di preparasi diberi nama katalis NZ.

#### 3.4.4 Aktivasi Zeolit dengan Perlakuan Asam

Zeolit dengan ukuran 100 mesh direndam dengan HF 2 % selama 30 menit dan dicuci kembali dengan akuades sebanyak 3 kali. Selanjutnya zeolit dioven pada temperatur 120 °C selama 3 jam dan didinginkan. Selanjutnya dilakukan pengasaman dengan dicuci menggunakan HCl 2 M dengan perbandingan antara zeolit:HCl = 1:2 (v/v) sambil diaduk selama 20 hingga 30 menit (Zhang, 1999), kemudian dicuci dengan akuades sampai pH=6 dan dikeringkan menggunakan oven dengan temperatur 120°C selama 3 jam. Kemudian zeolit didinginkan kembali dan ditambahkan dengan larutan NH<sub>4</sub>Cl 2 M dengan pebandingan 1:2 (v/v) dalam wadah gelas beker dan dipanaskan dalam temperatur 90°C selama 4 jam dengan pengaduk magnet (Zhang, 1999). Zeolit yang diperoleh digunakan sebagai katalis dan diberi nama katalis NZA (zeolit aktif).

#### 3.4.5 Pembuatan Katalis NZASi

Katalis NZA direfluks menggunakan natrium silikat yang telah dilarutkan dalam akuades dan proses ini dilakukan pada suhu 75<sup>0</sup>C selama 2 jam. Kemudian campuran tersebut dikeringkan pada temperatur 120°C selama 2 jam sehingga diperoleh katalis NZASi (Yuanita, 2009). Kadar Si yang terkandung dalam natrium silikat sebesar 0%, 1%, 2%, 3%, dan 4%. Perbandingan berat natrium silikat dan zeolit dapat dilihat pada tabel 3.1.

Tabel 3.1 Perbandingan berat natrium silikat dan zeolit

Berat Si (% b/b)	Berat total zeolit+Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> (g)	Berat Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> (g)	Berat zeolit (g)
0	50	0	50
1	50	2,17	47,83
2	50	4,34	45,66
3	50	6,52	43,48
4	50	8,69	41,31

Catatan: BM Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> = 122,08 gram/mol

BM Si = 28,08 gram/mol

#### 3.4.6 Proses Kalsinasi, Oksidasi, dan Reduksi Katalis

Katalis yang telah diaktivasi, dimasukkan dalam reaktor untuk dikalsinasi menggunakan gas nitrogen dengan laju alir gas 20 ml/menit selama 3 jam pada temperatur 500°C dan dilanjutkan oksidasi dengan gas oksigen pada laju, waktu dan temperatur yang sama kemudian didinginkan. Proses selanjutnya adalah reduksi dengan mengalirkan gas hidrogen selama 3 jam (Handoko, 2013). Zeolit yang telah daliri gas diberi nama H<sub>5</sub>NZASi. Zeolit hasil preparasi, katalis NZA, dan katalis H<sub>5</sub>NZASi yang diperoleh dianalisis untuk mengetahui karakteristiknya meliputi rasio Si/Al dengan menggunakan AAS dan keasaman total secara gravimetri.

#### 3.4.7 Penentuan Rasio Si/Al

Rasio Si/Al dari zeolit sebelum dan sesudah perlakuan hingga diperoleh katalis H<sub>5</sub>NZASi dianalisis menggunakan AAS. Rasio Si/Al ditentukan dari jumlah kandungan logam Si dan Al yang diidentifikasi menggunakan AAS. Rasio Si/Al dihitung melalui persamaan berikut:

$$\text{Rasio Si/Al} = \frac{\% \text{ Si dalam sampel}}{\% \text{ Al dalam sampel}}$$

#### 3.4.8 Penentuan Keasaman Total

Keasaman total katalis ditentukan secara gravimetri atas dasar adsorpsi kimia gas amonia oleh situs asam pada permukaan zeolit. Cawan porselin dipanaskan dalam oven pada temperatur 120°C selama 2 jam, setelah itu didinginkan dan ditimbang massanya. Kemudian 1 gram zeolit dimasukkan ke dalam cawan porselin (W). Cawan porselin dan Zeolit dimasukkan ke dalam desikator dan divakumkan sambil dialiri gas amoniak p.a 25% selama 24 jam kemudian ditimbang kembali (W<sub>1</sub>). Berat amoniak yang teradsorpsi dalam sampel adalah sebagai berikut:

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

Keasaman katalis didefinisikan sebagai jumlah mol  $\text{NH}_3$  yang terserap ke katalis per gram berat. Persamaan untuk menghitung keasaman katalis sebagai berikut:

$$\text{Keasaman} = \frac{\text{Berat } \text{NH}_3 (\Delta W)}{\text{BM } \text{NH}_3 \times \text{Berat zeolit (W)}}$$

(Majid dkk, 2012).

#### 3.4.9 Hidrorengkah MEPO menjadi Biogasolin dengan Katalis $\text{H}_5\text{NZASi}$

Metil ester minyak sawit (MEPO) sebanyak 10 gram ditempatkan dalam tangki umpan yang dilengkapi pemanas dan sebanyak 10 gram katalis  $\text{H}_5\text{NZASi}$  ditempatkan dalam kolom reaktor jenis *flow fixe bed*. Panas sistem reaktor diatur dengan memanaskan kolom reaktor hingga mencapai temperatur  $450^\circ\text{C}$  untuk kondisi reaksi katalitik. Tangki umpan dipanaskan untuk menguapkan metil ester minyak sawit setelah kondisi temperatur di reaktor tercapai. Gas hidrogen sebagai gas pembawa umpan dialirkan dengan laju alir gas sebesar  $20\text{mL}/\text{menit}$  dan membawa umpan menuju kolom reaktor katalitik. Produk reaksi yang berupa gas dilewatkan ke dalam sebuah kondensator (pendingin) hingga berubah menjadi cair dan ditampung dalam sebuah wadah. Proses hidrorengkah metil ester minyak sawit (MEPO) dengan katalis  $\text{H}_5\text{NZASi}$  dilakukan selama 30-60 menit. Hasil produk reaksi dari masing-masing variasi katalis dianalisis menggunakan GC-MS.

#### 3.4.10 Perhitungan Aktivitas dan Selektivitas Katalis

Aktivitas katalis terhadap produk didefinisikan sebagai jumlah produk hasil hidrorengkah dibandingkan dengan jumlah MEPO sebelum hidrorengkah.

$$\text{Aktivitas (\%)} = \frac{\text{Jumlah produk hasil perengkahan}}{\text{jumlah MEPO sebelum perengkahan}} \times 100\%$$

Selektivitas katalis adalah kemampuan suatu katalis untuk menyokong satu atau beberapa macam produk yang dikehendaki yaitu fraksi pendek (gasoline)  $\text{C}_5\text{-C}_{11}$  dan fraksi sedang (kerosene)  $\text{C}_{12}\text{-C}_{18}$  dari keseluruhan macam produk yang mungkin dapat terjadi dibandingkan dengan konsentrasi awal reaktan.

$$\text{Selektivitas (\%)} = \text{Jumlah produk senyawa hidrokarbon}$$

## BAB 5. PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diperoleh dari dan pembahasan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Karakterisasi katalis H<sub>5</sub>NZASi dengan variasi konsentrasi 1%, 2%, 3%, dan 4% dapat meningkatkan rasio Si/Al maupun tingkat keasaman. Rasio Si/Al paling tinggi pada katalis H<sub>5</sub>NZASi 2% sebesar 5,5499% dan keasaman paling tinggi terdapat pada katalis H<sub>5</sub>NZASi 3% yakni sebesar 1,2337 mmol/gram.
2. Penyisipan Si meningkatkan kemampuan katalis pada proses hidrorengkah MEPO dengan hasil aktivitas sebesar 73,40% pada katalis H<sub>5</sub>NZASi 3%.
3. Penyisipan Si meningkatkan kemampuan katalis pada proses hidrorengkah MEPO untuk menghasilkan fraksi biogasoline dengan hasil selektivitas sebesar 45,37% pada katalis H<sub>5</sub>NZASi 2%.

### 5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan dari penelitian ini adalah perlu dilakukan variasi konsentrasi Si yang lebih tinggi untuk meningkatkan rasio Si/Al, keasaman, aktivitas, dan selektivitas katalis dalam proses hidrorengkah katalitik MEPO.



**DAFTAR PUSTAKA**

- ‘Adziima, Fauzan, Risanti, dan Mawarni. 2013. Sintesis Natrium Silikat dari Lumpur Lapindo sebagai Inhibitor Korosi. *Jurnal Teknik POMITS*. **2(2)**: 384-389.
- Arthur, Gritter, dan James. 1991. *Pengantar Kromatografi*. Edisi kedua. Bandung: Penerbit ITB.
- Augustine, R.L. 1996. *Heterogeneous Catalysis for the Synthetic Chemistry*. New York: Marcell Dekker Inc.
- Campbell, I.M. 1988. *Catalysis at Surface*. New York: Chapman and Hall Ltd.
- Christian, D. dan Gary, H. 1994. *Analytical Chemistry*. New York: John Wiley and Sons Inc.
- Cotton & Wilkinson. 1989. *Kimia Anorganik Dasar*. Terjemahan Sahati Sunarto dari *Basic Inorganic Chemistry* (1976). Jakarta: Penerbit Universitas Indonesia Press.
- Farouq, Asnawati, Abdul, dan Subhash. 2003. Catalytic Conversion of Palm Oil Over Meso Porous Aluminosilicate MCM 41 for The Production of Liquid Hydrocarbon Fuel". *Fuel Processing Technology*. **84** (1-3): 105-120.
- Hamdan, H. 1992. *Introduction to Zeolites: Synthesis, Characterization, and Modification*. Malaysia: Universiti Teknologi Malaysia.
- Handoko, D.S.P. 2001. *Modifikasi Zeolit Alam dan Karakterisasinya sebagai Katalis Perengkahan Asap Cair Kayu Bengkirai*. Tesis. Tidak Dipublikasikan. Yogyakarta: Universtas Gajah Mada.
- Handoko, D.S.P. 2013. *Preparasi, Modifikasi dan Karakterisasi Katalis Ni/ZSiA*. Prosiding Seminar Nasional Kimia, ISBN 978-602-0951-00-3.
- Hendayana, S. 2006. *Kimia Analitik Instrumen Edisi Kesatu*. Semarang: IKIP Semarang Press.
- Keenan, C.W., Kleinfelter, D.C., dan Wood, J.H. 1992. *Ilmu Kimia Untuk Universitas Edisi Keenam Jilid 2*. Jakarta: Penerbit Erlangga
- Ma, F. dan Hanna, M.A. 1999. Biodiesel production: a review. In *Bioresource Technology* 70.

- McNair, H. dan Bonelli, E.J. 1988. *Dasar Kromatografi Gas*. Bandung: Penerbit ITB.
- Nasikin, Bambang, Adam., dan Wijarnako. 2009. Biogasoline from Palm Oil by Simultaneous Cracking and Hydrogenation Reaction over NiMo/zeolite Catalyst. *World Applied Sciences Journal*: 74-79.
- Nurhadi, M. 1999. Pembuatan dan Karakterisasi Katalis Kromium-Zeolit Alam untuk Perengkahan Fraksi Minyak Bumi. Skripsi. Tidak Dipublikasikan. Yogyakarta: Universitas Gajah Mada.
- Nurjannah, Irmawati, Roesyadi, dan Danawati. 2009. Perengkahan Katalitik Asam Oleat Untuk Menghasilkan Biofuel Menggunakan HZSM-5 Sintesis. ISBN 978-979-98300-1-2. **15**(3): 1-9.
- Oudejans, J.C. 1984. *Zeolite Catalyst in Some Organic Reaction*. Holland: The Netherland Foundations for Chemical Research.
- 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.
- Retnosari, Agustin. 2013. Ekstraksi dan Penentuan Kadar Silika (SiO<sub>2</sub>) Hasil Ekstraksi dari Abu Terbang (*Fly Ash*) Batubara. Skripsi. Tidak Dipublikasikan. Jember: Universitas Jember.
- Satterfield, C.N. 1980. *Heterogenous Catalysis in Practices*. New York: McGrawHill Book Co.
- Setiadi & Benny A. W. 2006. Kinerja Katalitik Zeolit Sintetik ZSM-5-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dalam Reaksi Perengkahan Minyak Sawit Menjadi Hidrokarbon Fraksi Gasoline. *Jurnal Zeolit Indonesia*. **5**(2): 89-95.
- Setyawan, Musabbikhah., Nalarsih, dan Rosyida. 2009. Rekayasa Unit Pengolah Limbah Batubara dan Pemanfaatannya sebagai Pengganti Semen pada Pembuatan Bahan Bangunan Guna Mengendalikan Pencemaran Lingkungan. *Jurnal Sains*.
- Sherrington, D. C dan A. P. Keybett. 2001. *Supported Catalyst and Their Application*. London: Royal Society of Chemistry
- Siswoyo dan Asnawati. 2007. *Analisis Spektrometri*. Tidak dipublikasikan. Diklat. Jember : Universitas Jember.

- Smith, J.M. 1970. *Chemical Engineering Kinetics. Second edition*. New York: Mc. Graw-Hill Book Co.
- Smith, K. 1992. *Solid Support and Catalyst in Organic Synthesis*. London: Ellis Horwood PTR.
- Sutarti, M. & Rachmawati, M. 1994. *Zeolit: Tinjauan Literatur*. Jakarta: Pusat Dokumentasi dan Informasi LIPI.
- Suyartono, H. 1991. Tinjauan terhadap Kegiatan Penelitian Karakteristik dan Pemanfaatan Zeolit Indonesia yang Dilakukan PPTM periode 1980-1991. *Buletin PPTM*. **13**(4): 1–13.
- Svehla G. 1985. *Vogel Bagian II Buku Teks Analisis Anorganik Kualitatif Makro dan Semimikro Edisi kelima*. Jakarta : PT. Kalman MediaPustaka.
- Trisunaryanti,. 1996. "Characterization and Modification of Indonesian Natural Zeolites and Their Properties for Hydrocracking of Paraffin". Dalam *Journal of The Japan Petroleum Institute*. **39**: 20-25.
- Wijanarko, Anondho., Dani Ahmad Mawardi., dan Mohammad Nasikin. 2006. Produksi Biogasoline dari Minyak Sawit melalui Reaksi Perengkahan Katalitik dengan Katalis  $\gamma$ -Alumina. *MAKARA, TEKNOLOGI*, **10**(2): 51-60.
- Winarno, F.G. 1992. *Kimia Pangan dan Gizi*. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama.
- Yuanita, D. 2009. Hidrogenasi Katalitik Metil Oleat Menjadi Stearil Alkohol Menggunakan Katalis Ni/Zeolit Alam. Yogyakarta: Prosiding Seminar nasional Kimia UNY.
- Yusman, I.Y. 2012. Aktivitas dan Selektivitas Katalis Ni/H5-NZA dalam Perengkahan Minyak Kelapa Sawit Menjadi Senyawa Hidrokarbon Fraksi Pendek. Skripsi. Tidak Dipublikasikan. Jember: Universitas Jember.
- Yusro, Fatimah. 2012. Aktivitas dan Selektivitas Katalis Ni/H5NZA Pada Reaksi Hidrorengkah Asam Palmitat Menjadi Senyawa Hidrokarbon Fraksi Pendek. Skripsi. Tidak Dipublikasikan. Jember: Universitas Jember.
- Zainuddin. 1988. *Kursus Instrumental Atomic Absorption Spectrofotometer (paket A)*. Surabaya: Universitas Airlangga.

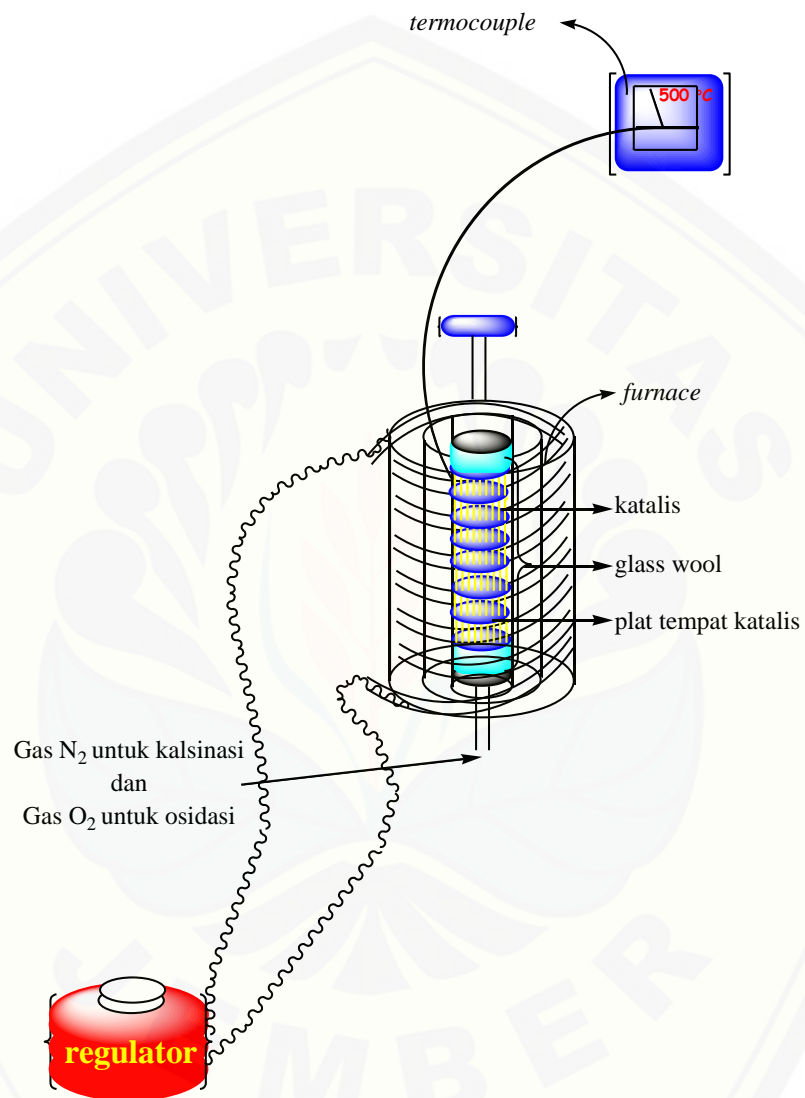
Zhang, W. & Smirniotis, P.G. 1999. Effect of Zeolite Structure and Acidity on the Product Selectivity and Reaction Mechanism for n-Octane Hydroisomerization and Hydrocracking. *J. Catal.* 182. 400-416.



LAMPIRAN

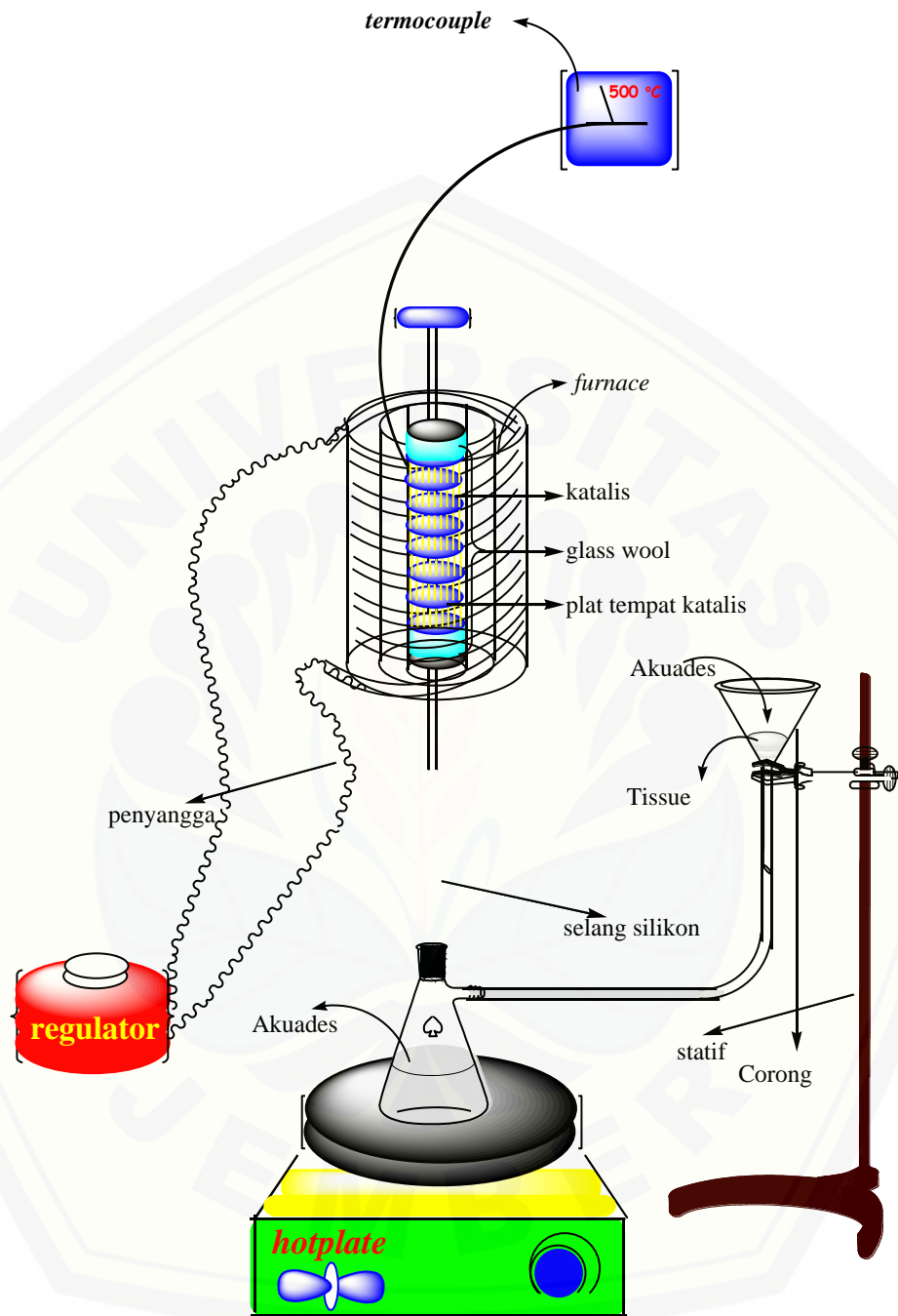
Lampiran A. Gambar Susunan Alat

A.1 Alat Kalsinasi dan Oksidasi

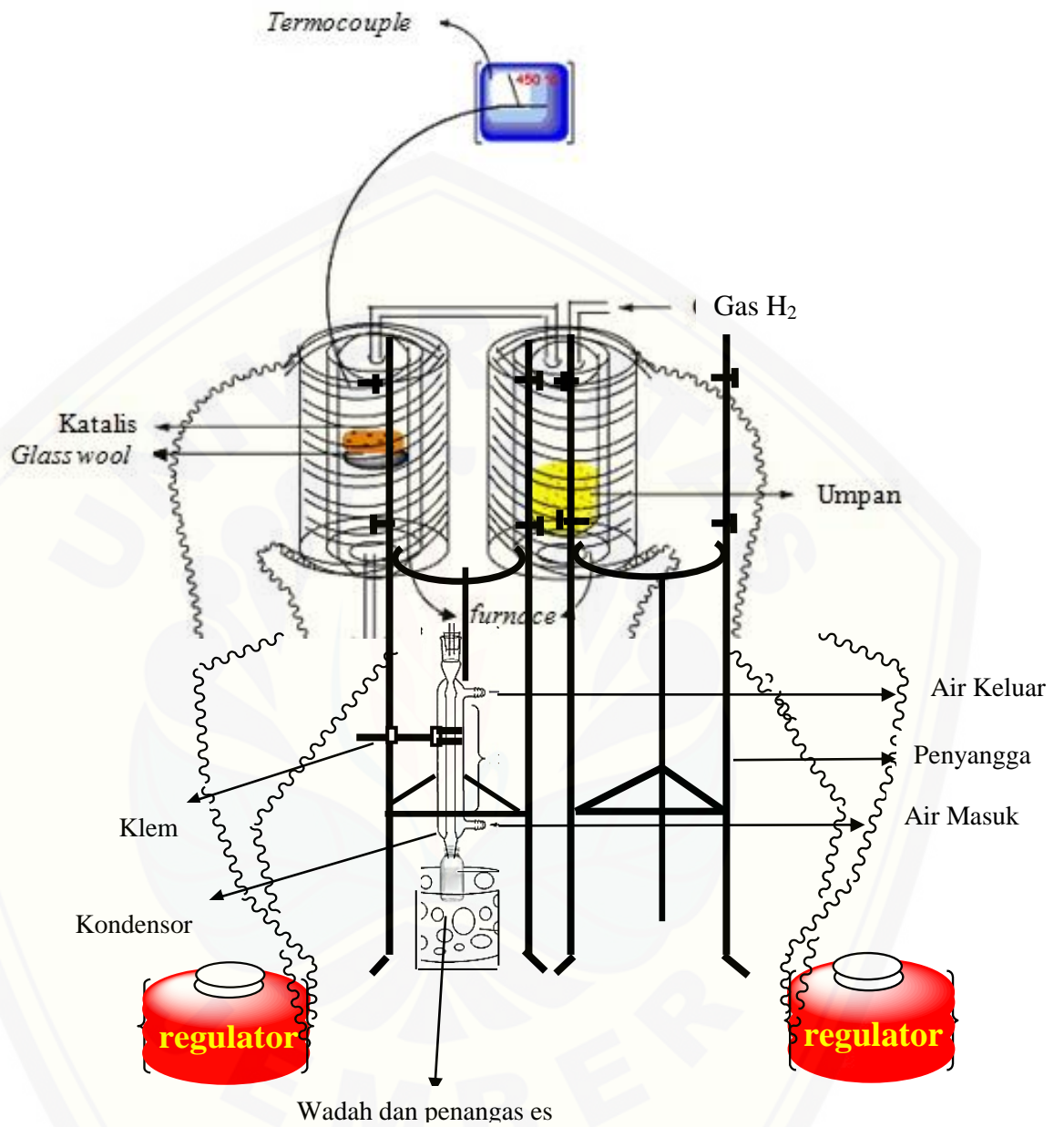




A.2 Alat Hidrotermal



A.3 Alat Hidrorengkah (*Hydrocracking*)



## A.4 Alat Analisis Keasaman

**Lampiran B. Gambar MEPO dan Produk Hasil Perengkahan**

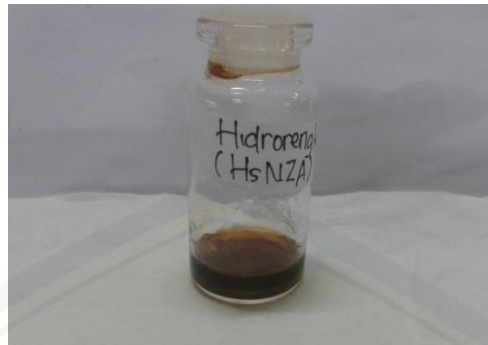
## B.1 Gambar MEPO



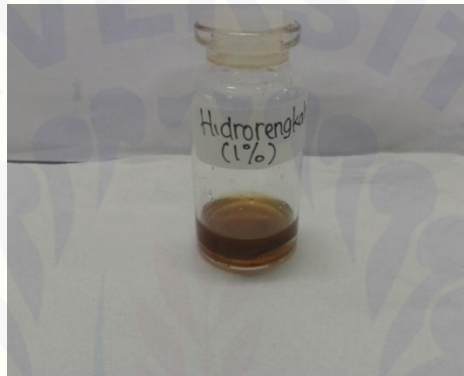
## B.2 Gambar Produk Hasil Hidrorengkah Termal Terhadap MEPO



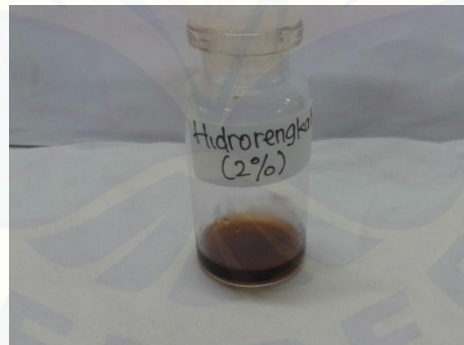
B.3 Gambar Produk Hasil Hidrorengkah Menggunakan Katalis  $H_5NZ_A$



B.4 Gambar Produk Hasil Hidrorengkah Menggunakan Katalis  $H_5NZASi$  1%



B.5 Gambar Produk Hasil Hidrorengkah Menggunakan Katalis  $H_5NZASi$  2%



B.6 Gambar Produk Hasil Hidrorengkah Menggunakan Katalis  $H_5NZASi$  3%



B.7 Gambar Produk Hasil Hidrorengkah Menggunakan Katalis H<sub>5</sub>NZASi 4%**Lampiran C. Perhitungan Preparasi Bahan**

## C.1 Pembuatan Larutan NaOH 3M

$$\begin{aligned}
 M \text{ NaOH} &= \frac{n \text{ NaOH}}{V \text{ NaOH}} \\
 &= \frac{m}{M_r \times V \text{ NaOH}} \\
 3M &= \frac{m}{40\text{g/mol} \times 250\text{mL}} \\
 m &= 30 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

## C.2 Pembuatan Larutan HCl 5M, 2M, dan 1M dari larutan HCl 37%

- Konsentrasi HCl 37%

Dalam 100 ml larutan HCl 37% terdapat 37ml HCl

$$\begin{aligned}
 \rho \text{ HCl} &= \frac{m \text{ HCl}}{V} \\
 1,19 \text{ gram/ml} &= \frac{m \text{ HCl}}{37\text{ml}} \\
 m \text{ HCl} &= 1,19 \text{ gram/ml} \times 37 \text{ ml} \\
 &= 44,03 \text{ gram} \\
 n \text{ HCl} &= \frac{m \text{ HCl}}{M_r \text{ HCl}} \\
 &= \frac{44,03 \text{ gram}}{36,46 \text{ gram/mol}} \\
 &= 1,208 \text{ mol} \\
 M \text{ HCl} &= \frac{n \text{ HCl}}{V \text{ HCl}} = \frac{1,208 \text{ mol}}{0,1 \text{ L}} \\
 &= 12,08 \text{ M}
 \end{aligned}$$



- Larutan HCl 5M

$$V_1 \times M_1 = V_2 \times M_2$$

$$V_1 \times 12,08 \text{ M} = 500\text{ml} \times 5\text{M}$$

$$V_1 = \frac{500\text{ml} \times 5\text{M}}{12,08\text{M}}$$

$$= 206,95\text{ml} \approx 207 \text{ ml}$$

- Larutan HCl 2M

$$V_1 \times M_1 = V_2 \times M_2$$

$$V_1 \times 12,08\text{M} = 500\text{ml} \times 2\text{M}$$

$$V_1 = \frac{500\text{ml} \times 2\text{M}}{12,08\text{M}}$$

$$= 82,78 \text{ ml} \approx 82,8 \text{ ml}$$

- Larutan HCl 1M

$$V_1 \times M_1 = V_2 \times M_2$$

$$V_1 \times 12,08 \text{ M} = 500\text{ml} \times 1\text{M}$$

$$V_1 = \frac{500\text{ml} \times 1\text{M}}{12,08\text{M}}$$

$$= 41,39\text{ml} \approx 41,4 \text{ ml}$$

### C.3 Pembuatan Larutan HF 2%

- Konsentrasi HF 49%

Dalam 100 ml larutan HF 49% terdapat 49ml HF

$$\rho \text{ HF} = \frac{m \text{ HF}}{V}$$

$$1,15 \text{ gram/ml} = \frac{m \text{ HF}}{49 \text{ ml}}$$

$$m \text{ HF} = 1,15 \text{ gram/ml} \times 49 \text{ ml}$$

$$= 56,35 \text{ gram}$$

$$n \text{ HF} = \frac{m \text{ HF}}{M_r \text{ HF}}$$

$$= \frac{56,35 \text{ gram}}{20,01 \text{ gram/mol}}$$

$$= 2,816 \text{ mol}$$

$$M \text{ HF} = \frac{n \text{ HF}}{V \text{ HF}} = \frac{2,81 \text{ mol}}{0,1 \text{ L}}$$

$$= 28,16 \text{ M}$$

- Larutan HF 2%

$$\rho_{\text{HF}} = \frac{m_{\text{HF}}}{V}$$

$$1,15 \text{ gram/ml} = \frac{m_{\text{HF}}}{2 \text{ ml}}$$

$$m_{\text{HF}} = 1,15 \text{ gram/ml} \times 2 \text{ ml} \\ = 2,3 \text{ gram}$$

$$n_{\text{HF}} = \frac{m_{\text{HF}}}{M_{\text{r HF}}} \\ = \frac{2,3 \text{ gram}}{20,01 \text{ gram/mol}} \\ = 0,11 \text{ mol}$$

$$M_{\text{HF}} = \frac{n_{\text{HF}}}{V_{\text{HF}}} = \frac{0,11 \text{ mol}}{0,1 \text{ L}} \\ = 1,1 \text{ M}$$

$$V_1 \times M_1 = V_2 \times M_2$$

$$V_1 \times 28,16 \text{ M} = 500 \text{ mL} \times 1,1 \text{ M}$$

$$V_1 = \frac{500 \text{ mL} \times 1,1 \text{ M}}{28,16 \text{ M}}$$

$$= 19,53 \text{ mL} \approx 19,5 \text{ mL}$$

#### C.4 Pembuatan Larutan $\text{NH}_4\text{Cl}$ 2M

$$M_{\text{NH}_4\text{Cl}} = \frac{n_{\text{NH}_4\text{Cl}}}{V_{\text{NH}_4\text{Cl}}} \\ = \frac{m}{M_{\text{r}} \times V_{\text{NH}_4\text{Cl}}}$$

$$2 \text{ M} = \frac{m}{53,49 \text{ g/mol} \times 0,5 \text{ L}}$$

$$m = 53,49 \text{ gram}$$

**Lampiran D. Perhitungan Rasio Si/Al dan Keasaman Katalis****D.1 Rasio Si/Al**

Rasio Si/Al dihitung dengan persamaan:

$$\text{Rasio Si/Al} = \frac{\% \text{ Si}}{\% \text{ Al}}$$

Contoh perhitungan:

$$\begin{aligned} \text{Rasio Si/Al} &= \frac{30,2193\%}{7,6274\%} \\ &= 3,9619 \end{aligned}$$

Data didapatkan dari hasil analisa menggunakan alat Spektroskopi Serapan

Atom yang terdapat dalam lampiran:

Sampel	Parameter	Hasil Pengukuran (%)			Rata-rata	Rasio Si/Al
		I	II	III		
NZ	Si	30.6129	29.4322	30.6129	30.2193	3.9619
	Al	7.6274	7.5223	7.7326	7.6274	
H <sub>5</sub> NZA	Si	33.5183	32.4	32.9907	32.9697	5.4462
	Al	5.9485	6.1589	6.0537	6.0537	
H <sub>5</sub> NZASi 1%	Si	34.1719	33.5813	34.1719	33.9750	5.2918
	Al	7.2106	7.3157	7.4209	6.4203	
H <sub>5</sub> NZASi 2%	Si	34.7452	34.7452	35.3355	34.9419	5.5499
	Al	6.2609	6.366	6.2609	6.2959	
H <sub>5</sub> NZASi 3%	Si	35.9258	35.9258	35.9258	35.9258	5.4779
	Al	6.4172	6.5763	6.6814	6.5583	
H <sub>5</sub> NZASi 4%	Si	33.5813	34.1719	32.9907	33.5813	4.8952
	Al	6.7899	6.8951	6.8951	6.8600	

## D.2 Keasaman Katalis

Keasaman katalis dihitung dengan persamaan:

$$\text{keasaman ( mmol/gram)} = \frac{\text{Berat NH}_3(\Delta W)}{\text{BM NH}_3 \times \text{Berat Katalis (W)}}$$

Dengan BM NH<sub>3</sub> = 17 g/mol = 0,017 g/mmol

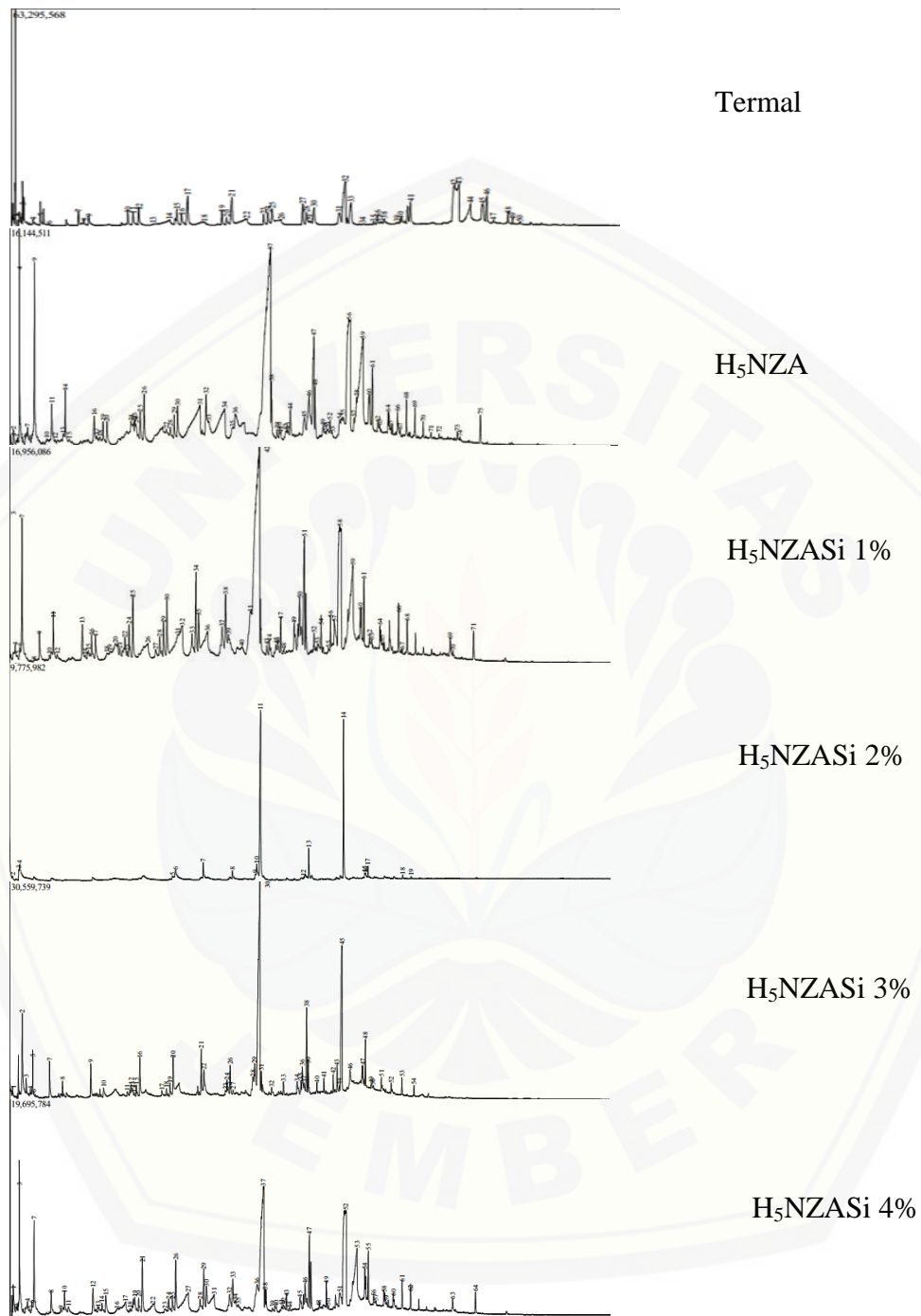
Contoh perhitungan:

$$\begin{aligned} \text{keasaman ( mmol/gram)} &= \frac{0,012 \text{ gram}}{0,017 \text{ g/mmol} \times 0,999 \text{ gram}} \\ &= 0,7066 \text{ mmol/gram} \end{aligned}$$

Maka keasaman katalis masing-masing sebagai berikut:

Jenis Katalis	Berat Katalis (W) gram	Berat Katalis + NH <sub>3</sub> (W <sup>1</sup> ) gram	Berat NH <sub>3</sub> (ΔW) gram	Keasaman Katalis (mmol/gram)
NZ	0,999	1,011	0,012	0,7066
H <sub>5</sub> NZA	0,985	0,999	0,014	0,8361
H <sub>5</sub> NZASi	1,038	1,057	0,019	1,0767
1% H <sub>5</sub> NZASi	1,048	1,069	0,021	1,1787
2% H <sub>5</sub> NZASi	1,049	1,071	0,022	1,2337
3% H <sub>5</sub> NZASi	1,048	1,067	0,019	1,0664
4% H <sub>5</sub> NZASi				

## Lampiran E. Perbandingan Kromatogram GC Hasil Berbagai Hidrorengkah





**Lampiran F. Daftar Senyawa-senyawa yang Teridentifikasi dari Hasil Hidrorengkah Berbagai Katalis Sesuai dengan Hasil MS**

Nama Senyawa	Termal		H <sub>5</sub> NZA		H <sub>5</sub> NZASi 1%		H <sub>5</sub> NZASi 2%		H <sub>5</sub> NZASi 3%		H <sub>5</sub> NZASi 4%	
	No. Puncak pada GC	% konsen-trasi	No. Puncak pada GC	% konsen-trasi	No. Puncak pada GC	% konsen-trasi	No. Puncak pada GC	% konsen-trasi	No. Puncak pada GC	% konsen-trasi	No. Puncak pada GC	% konsen-trasi
Heksana (C <sub>6</sub> H <sub>14</sub> )	0	0	2	0,42	0	0	0	0	0	0	0	0
1-Heksana (C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> )	0	0	0	0	1, 6	1,56	0	0	1	0,39	1	1,59
1-Heptana (C <sub>7</sub> H <sub>16</sub> )	0	0	4	2,83	0	0	0	0	0	0	0	0
Heptena (C <sub>7</sub> H <sub>14</sub> )	3	3,38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Oktana (C <sub>8</sub> H <sub>18</sub> )	0	0	9	3,57	7	2,68	0	0	5	1,39	7	3,40
1-Oktana (C <sub>8</sub> H <sub>16</sub> )	0	0	15	0,12	0	0	0	0	4	0,25	6	0,
Nonana (C <sub>9</sub> H <sub>20</sub> )	8	0,76	14, 19, 25, 37, 47	32,41	10, 14, 29, 33, 37	3,07	5, 7	2,97	8	0,49	11, 16, 34, 38, 42	4,04
1-Nonena (C <sub>9</sub> H <sub>18</sub> )	7	0,83	0	0	9	0,50	0	0	0	0	10	1,12
Dekana (C <sub>10</sub> H <sub>22</sub> )	0	0	29, 32, 36	3,05	20, 25	2,52	0	0	0	0	24,29	2,08
1-Dekana (C <sub>10</sub> H <sub>20</sub> )	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	28	0,80
Undekana (C <sub>11</sub> H <sub>24</sub> )	32	8,12	44	0,68	0	0	8, 11	42,40	15, 19, 21, 26	4,95	51	1,09
1-Undekena (C <sub>11</sub> H <sub>22</sub> )	10, 15, 19, 23, 27	6,56	24, 38	1,36	24, 38	2,42	0	0	13, 25	0,92	15, 22, 37, 41, 46	20,3
Dodekana (C <sub>12</sub> H <sub>26</sub> )	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	49	1,05
1-Dodekena (C <sub>12</sub> H <sub>24</sub> )	0	0	28, 42	0,39	28	0,56	9	0,89	18, 29	4,35	33	1,60
Tridekana (C <sub>13</sub> H <sub>28</sub> )	0	0	0	0	43	0,41	0	0	30, 38	32,97	47	3,60
Tetradekana (C <sub>14</sub> H <sub>30</sub> )	0	0	0	0	0	0	13	3,78	33	0,67	0	0
1-Tetradekena (C <sub>14</sub> H <sub>28</sub> )	31	2,05	46	2,81	36, 42	24,51	10	3,50	23, 24, 28, 35, 37	4,69	45	0,69

1-Pentadekena (C15H30)	0	0	0	0	0	0	12	0,15	0	0	0	0
Heksadekana (C16H34)	0	0	0	0	0	0	0	0	44	0,24	0	0
1-Heksadekena (C16H32)	40	1,31	0	0	0	0	0	0	36	2,06	0	0
Oktadekanal (C18H36O)	0	0	0	0	49	0,85	0	0	41	0,59	54	2,47
2-Dodekanon (C12H24O)	0	0	0	0	0	0	0	0	43	1,48	0	0
7-Tridekanon (C13H26O)	0	0	0	0	60	1,84	0	0	0	0	0	0
8-Pentadekanon (C15H30O)	0	0	0	0	61	1,17	18	0,41	40, 53	1,1	52	11,46
9-Heptadekanon (C17H34O)	0	0	0	0	62	0,27	19	0,24	42, 54	1,12	56	0,42
3-Oktadekanon (C18H36O)	0	0	58	1,28	0	0	0	0	0	0	0	0
7-Oktadekanon (C18H36O)	0	0	0	0	0	0	0	0	52	0,31	0	0
9-Oktadekanon (C18H36O)	0	0	49, 54	0,95	0	0	0	0	0	0	0	0
Metil Miristat (C15H30O2)	41	3,39	48	0,92	0	0	0	0	39	1,50	0	0
<b>Jumlah konsentrasi produk hidrorengkah (senyawa hidrokarbon dan non hidrokarbon)</b>		<b>26,4</b>		<b>50,79</b>		<b>42,36</b>		<b>54,34</b>		<b>59,47</b>		<b>56,23</b>

Metil Palmitat (C17H34O2)	43	6,33	56	10,49	52	0,32	14	21,48	45	13,88	58	0,66
Asam Palmitat (C16H32O2)	44	6,08	59	9,81	0	0	0	0	46	1,36	59	0,13
Asam Oleat (C18H34O2)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	53	8,63
<b>Jumlah reaktan sisa</b>		<b>12,41</b>		<b>20,30</b>		<b>0,32</b>		<b>21,48</b>		<b>15,24</b>		<b>9,42</b>
<i>Unknown</i>		61,19		28,91		57,32		24,18		25,29		34,35

## Lampiran G. Konversi Sebaran Senyawa Hasil Hidrorengkah

Golongan Senyawa	Nama Senyawa	% Konsentrasi dari Tiap Perengkahan						
		Termal	H <sub>5</sub> NZA	H <sub>5</sub> NZASi	H <sub>5</sub> NZASi	H <sub>5</sub> NZASi	H <sub>5</sub> NZASi	
C <sub>5</sub> hingga C <sub>11</sub>			1%	2%	3%	4%		
Parafin	Heksana (C <sub>6</sub> H <sub>14</sub> )	0	0,42	0	0	0	0	
	Heptana (C <sub>7</sub> H <sub>16</sub> )	0	2,83	0	0	0	0	
	Oktana (C <sub>8</sub> H <sub>18</sub> )	0	3,57	2,68	0	1,39	3,40	
	Nonana (C <sub>9</sub> H <sub>20</sub> )		0,76	0,96	1,06	0,68	0,49	1,12
			0	0,47	0,69	0	0	0,66
			0	0,59	0,66	0	0	0,75
			0	1,51	1,83	0	0	1,56
	Dekana (C <sub>10</sub> H <sub>22</sub> )		0	1,06	22,40	0	0	15,46
			0	26,81	0	0	0	0
			0	3,58	0	0	0	0
			0	0,48	0,66	0	0	0,46
			0	0	1,76	0	0	1,60
		Undekana (C <sub>11</sub> H <sub>24</sub> )		8,12	0,68	0,85	2,29	0,57
			0	0	3,83	1,30	0,57	0
	0		0	0	41,10	2,23	0	
	0		0	0	0	1,58	0	
<b>Jumlah</b>		<b>8,88</b>	<b>42,96</b>	<b>36,42</b>	<b>45,37</b>	<b>6,83</b>	<b>25,01</b>	
Olefin	1-Heksena (C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> )		0	1,19	0	0,39	1,59	
	1-Heptena (C <sub>7</sub> H <sub>14</sub> )	3,38	0	0	0	0	0	
	1-Oktena (C <sub>8</sub> H <sub>16</sub> )		2,36	0,12	0,37	0	0,25	0,52
			0	0,81	0	0	0	1,08
	1-Nonena (C <sub>9</sub> H <sub>18</sub> )	0,83	0	0,14	0	0	0,23	
	1-Undekena (C <sub>11</sub> H <sub>22</sub> )		1,04	0,27	0,15	0	0,58	0,80
			1,68	0,15	0,33	0	0,16	1,25
			1,20	1,09	0,89	0	0,70	1,14
			0,73	0	0,56	0	0,34	0
			1,73	0	0,80	0	0	0
		2,05	0	1,32	0	0	0	
	0	0	0,31	0	0	0		
<b>Jumlah</b>		<b>15</b>	<b>2,44</b>	<b>6,06</b>	<b>0</b>	<b>2,42</b>	<b>6,61</b>	
Metil Ester	-	0	0	0	0	0	0	
<b>Jumlah</b>		<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	
Aldehid	Nonanal (C <sub>9</sub> H <sub>18</sub> O)	0	0,30	0	0	0,95	0	
<b>Jumlah</b>		<b>0</b>	<b>0,30</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0,95</b>	<b>0</b>	
Keton	2-Oktanon (C <sub>8</sub> H <sub>16</sub> O)	0	0	0,30	0	0,41	0	
						0,36		
<b>Jumlah</b>		<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0,30</b>	<b>0</b>	<b>0,77</b>	<b>0</b>	

Golongan Senyawa C <sub>12</sub> hingga C <sub>18</sub>	Nama Senyawa	% Konsentrasi dari Tiap Perengkahan					
		Termal	H <sub>5</sub> NZA	H <sub>5</sub> NZASi	H <sub>5</sub> NZASi	5NZASi	H <sub>5</sub> NZASi
			1%	2%	3%	4%	
Parafin	Dodekana (C <sub>12</sub> H <sub>26</sub> )	0	0	0	0	1,21	0,49
	Tridekana (C <sub>13</sub> H <sub>28</sub> )	0	0	0,59	0	28,91	0
		0	0	0	0	4,06	0
	Tetradekana (C <sub>14</sub> H <sub>30</sub> )	0	0	0	0	0,67	3,60
	Heksadekana (C <sub>16</sub> H <sub>34</sub> )	0	0	0	0	0,24	0
<b>Jumlah</b>		<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0,59</b>	<b>0</b>	<b>35,09</b>	<b>4,09</b>
Olefin	1-Dodekena (C <sub>12</sub> H <sub>24</sub> )	0,23	0,24	0	0	0,41	0,52
		0	0	0	0	3,94	0,33
	1-Tridekena (C <sub>13</sub> H <sub>26</sub> )	0	0	3,10	0	1,81	0
	1-Tetradekena (C <sub>14</sub> H <sub>28</sub> )	0	0	2,92	0,89	0,32	0,26
		0	0	0	3,50	2,09	0
	0	0	0	0	0,77	0	
	0	0	0	0	0,81	0	
	1-Pentadekena (C <sub>15</sub> H <sub>30</sub> )	0	0	0	0,15	0	0
	1-Heksadekena (C <sub>16</sub> H <sub>32</sub> )	1,31	0	0	0	0	0
	<b>Jumlah</b>		<b>1,54</b>	<b>0,24</b>	<b>6,02</b>	<b>4,54</b>	<b>10,15</b>
Metil Ester	Metil Miristat (C <sub>15</sub> H <sub>30</sub> O <sub>2</sub> )	3,39	0,92	0	0	1,50	0,14
<b>Jumlah</b>		<b>3,39</b>	<b>0,92</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1,50</b>	<b>0,14</b>
Aldehid	Oktadekanal (C <sub>18</sub> H <sub>36</sub> O)	0	0,50	0,57	0	0,59	0
<b>Jumlah</b>		<b>0</b>	<b>0,50</b>	<b>0,98</b>	<b>0</b>	<b>0,59</b>	<b>0</b>
Keton	6-Dodekanon (C <sub>12</sub> H <sub>24</sub> O)	0	0	0,54	0	0	0
	7-Tridekanon (C <sub>13</sub> H <sub>26</sub> O)	0,19	0,55	0	0	0	0
	8-Pentadekanon (C <sub>15</sub> H <sub>30</sub> O)	0	0	0,59	0	0	0,59
	9-Heptadekanon (C <sub>17</sub> H <sub>34</sub> O)	0	0	0,63	0,24	0,66	0,47
		0	0	0,47	0	0,46	0
	3-Oktadekanon (C <sub>18</sub> H <sub>36</sub> O)	0	1,28	0	0	0	0
	7-Oktadekanon (C <sub>18</sub> H <sub>36</sub> O)	0	0,41	0	0	0,68	0,62
		0	0,07	0	0	0,31	0
	8-Oktadekanon (C <sub>18</sub> H <sub>36</sub> O)	0	0	0	0,41	0,67	0
		0	0,39	0,32	0	0,43	0
	9-Oktadekanon (C <sub>18</sub> H <sub>36</sub> O)	0	0,56	0	0	0	0
		0	0,11	0	0	0	0
	10-Nonadekanon (C <sub>19</sub> H <sub>38</sub> O)	0	0,19	0	0	0	0
<b>Jumlah</b>		<b>0,19</b>	<b>3,56</b>	<b>2,55</b>	<b>0,65</b>	<b>3,21</b>	<b>1,68</b>



**Lampiran H. Persentase Aktivitas Katalis pada Tiap Proses Hidrorengkah**

Aktivitas katalis dihitung dengan persamaan:

$$\text{Aktivitas} = \frac{\text{Konsentrasi Produk Hidrorengkah}}{\text{Konsentrasi Reaktan}} \times 100\%$$

Jenis Hidrorengkah	Konsentrasi Reaktan Sisa	Konsentrasi Pro-duk Hidrorengkah	Nilai Aktivitas
Mula-mula	83,80	0	0
Termal	12,41	29	34,61
H <sub>5</sub> NZA	20,30	50,73	60,54
H <sub>5</sub> NZASi 1%	15,69	52,51	62,66
H <sub>5</sub> NZASi 2%	21,48	50,56	60,33
H <sub>5</sub> NZASi 3%	15,24	61,51	73,40
H <sub>5</sub> NZASi 4%	20,9	41,91	50,01

Contoh perhitungan aktivitas katalis

$$\begin{aligned} \text{Aktivitas} &= \frac{29\%}{83,80\%} \times 100\% \\ &= 34,61\% \end{aligned}$$

**Lampiran I. Selektivitas Katalis Terhadap Fraksi Biogasoline**

Selektivitas katalis dihitung dengan persamaan:

Selektivitas = Jumlah konsentrasi produk biogasoline

Contoh perhitungan:

Selektivitas katalis H<sub>5</sub>NZA (C<sub>5</sub>-C<sub>11</sub>) = 8,88% + 15% = 23,88 %

Selektivitas katalis H<sub>5</sub>NZA (C<sub>12</sub>-C<sub>18</sub>) = 0% + 1,54% = 1,54 %

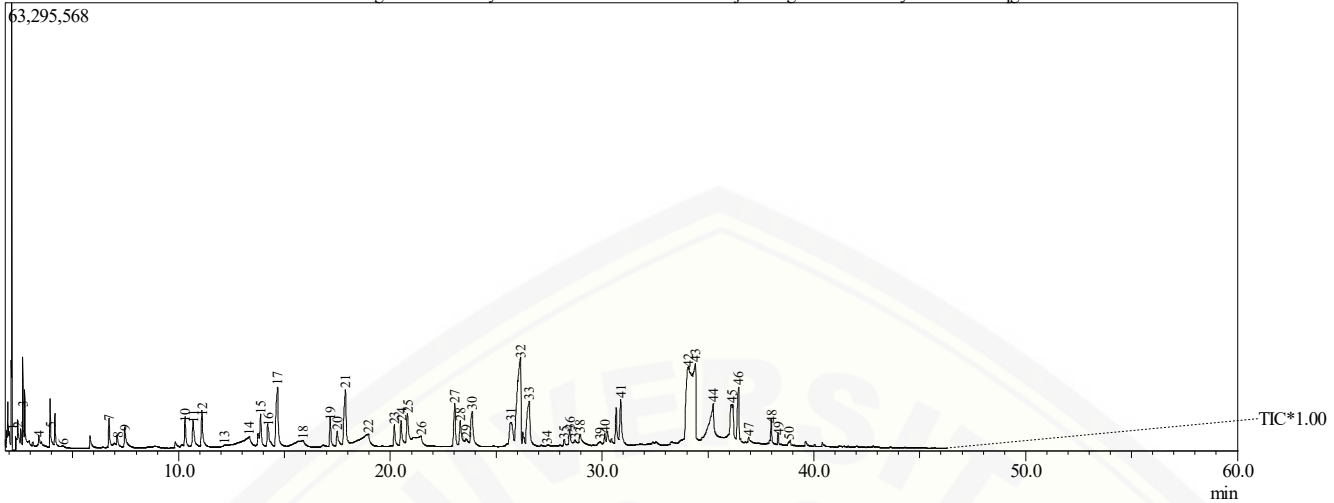
Jenis Katalis	Selektivitas (%)	
	C5-C11	C12-C18
Termal	23,88	1,54
H <sub>5</sub> NZA	45,4	0,24
H <sub>5</sub> NZASi 1%	42,48	6,61
H <sub>5</sub> NZASi 2%	45,37	4,54
H <sub>5</sub> NZASi 3%	9,25	45,24
H <sub>5</sub> NZASi 4%	31,62	5,2



## Sample Information

Analyzed by : Admin  
 Sample Name : Termal Setyawan  
 Sample ID :  
 Data File : C:\GCMSsolution\Data\Project1\Agustus 2014\Setyawan Termal.qgd  
 Method File : C:\GCMSsolution\Data\Project1\Agustus 2014\Pyrolysis HP1 baru xx2.qgm  
 Tuning File : C:\GCMSsolution\System\Tune\OKTOBER 18 2016.qgt

Chromatogram Termal Setyawan C:\GCMSsolution\Data\Project1\Agustus 2014\Setyawan Termal.qgd



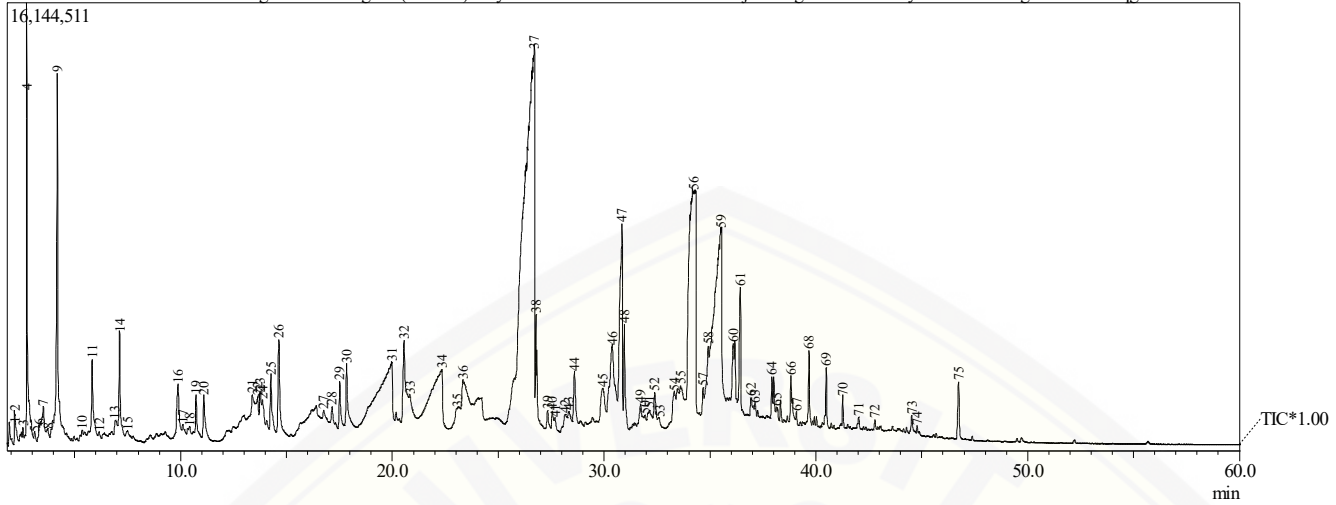
Peak#	R.Time	I.Time	F.Time	Area	Area%	Height	Name
1	2.010	1.858	2.158	81306142	3.95	1999702	
2	2.424	2.292	2.625	35833937	1.74	3743986	
3	2.660	2.625	3.225	69658968	3.38	9460887	
4	3.420	3.225	3.858	27296720	1.33	1729773	
5	3.958	3.858	4.425	48527278	2.36	4872481	
6	4.558	4.425	5.058	6920584	0.34	384089	
7	6.728	6.558	6.858	17102222	0.83	3799764	
8	7.125	6.858	7.358	15651481	0.76	1471161	
9	7.480	7.358	8.058	19121504	0.93	2345895	
10	10.322	10.058	10.525	21407554	1.04	3907606	
11	10.700	10.525	10.992	24244456	1.18	3446911	
12	11.114	10.992	11.558	28907991	1.40	4434820	
13	12.158	11.925	12.858	19243619	0.93	269130	
14	13.328	12.858	13.625	39395853	1.91	1457262	
15	13.886	13.625	14.092	34635173	1.68	4348493	
16	14.229	14.092	14.492	25009385	1.21	3210696	
17	14.679	14.492	15.125	69060034	3.35	8169830	
18	15.875	15.125	16.458	34274310	1.66	958323	
19	17.172	16.458	17.392	24631794	1.20	3435759	
20	17.492	17.392	17.692	15517931	0.75	2034227	
21	17.882	17.692	18.092	64125422	3.11	7810323	
22	18.953	18.092	19.492	65166904	3.17	1734987	
23	20.199	19.958	20.392	15075805	0.73	2769472	
24	20.520	20.392	20.692	21792254	1.06	3363187	
25	20.820	20.692	20.992	35307516	1.71	4469025	
26	21.458	20.992	21.825	38119419	1.85	1346394	
27	23.051	22.692	23.192	35634292	1.73	5800148	
28	23.317	23.192	23.492	28004277	1.36	3441317	
29	23.592	23.492	23.725	11533567	0.56	1064325	
30	23.867	23.725	24.358	44715726	2.17	4804969	
31	25.703	25.292	25.858	42301953	2.05	3371467	
32	26.143	25.858	26.392	167219182	8.12	12367182	
33	26.558	26.392	27.025	68680541	3.34	6236884	
34	27.392	27.325	28.125	3847027	0.19	150671	
35	28.222	28.125	28.325	4668466	0.23	870242	
36	28.482	28.325	28.625	15475912	0.75	2129958	
37	28.725	28.625	28.858	8150222	0.40	815086	
38	28.958	28.858	29.492	18230423	0.89	1572406	
39	29.892	29.492	30.025	7022493	0.34	513241	
40	30.134	30.025	30.558	26902574	1.31	1504964	
41	30.886	30.558	31.325	69861110	3.39	6128708	
42	34.080	33.525	34.225	185265745	9.00	10755018	
43	34.401	34.225	34.592	130371542	6.33	10996344	
44	35.247	34.592	35.725	125141485	6.08	5501619	
45	36.116	35.725	36.325	81295138	3.95	5446796	
46	36.447	36.325	36.692	50471748	2.45	7762518	
47	36.925	36.692	37.358	11252018	0.55	865802	
48	37.996	37.358	38.158	15390936	0.75	3090759	
49	38.324	38.158	38.625	4656667	0.23	1426980	
50	38.835	38.625	39.258	5325381	0.26	536156	
				2058752681	100.00	184127743	



## Sample Information

Analyzed by : Admin  
 Sample Name : Hidrorengkah (H5NZA) Setyawan  
 Sample ID :  
 Data File : C:\GCMSsolution\Data\Project1\Agustus 2014\Setyawan Hidrorengkah H5NZA.qgd  
 Method File : C:\GCMSsolution\Data\Project1\Agustus 2014\Pyrolysis HP1 baru xx2.qgm  
 Tuning File : C:\GCMSsolution\System\Tune\OKTOBER 18 2016.qgt

Chromatogram Hidrorengkah (H5NZA) Setyawan C:\GCMSsolution\Data\Project1\Agustus 2014\Setyawan Hidrorengkah H5NZA.qgd



Peak#	R.Time	I.Time	F.Time	Area	Area%	Height	Name
1	1.913	1.858	2.108	4293990	0.24	854260	
2	2.158	2.108	2.375	7741527	0.42	1207856	
3	2.559	2.375	2.608	4476987	0.25	558054	
4	2.741	2.608	3.825	51662348	2.83	14236475	
5	3.125	3.058	3.192	939990	0.05	255864	
6	3.325	3.208	3.358	2521989	0.14	515673	
7	3.522	3.358	3.608	10042486	0.55	1112939	
8	3.742	3.608	3.775	1656488	0.09	193125	
9	4.181	3.825	4.558	65078098	3.57	11818112	
10	5.342	5.175	5.742	7734907	0.42	344241	
11	5.826	5.742	6.075	17782234	0.97	2849955	
12	6.158	6.075	6.258	1383840	0.08	227473	
13	6.908	6.825	7.042	4664281	0.26	504326	
14	7.122	7.042	7.375	17429167	0.96	3741356	
15	7.508	7.375	7.708	2097869	0.12	226159	
16	9.882	9.692	10.042	14741050	0.81	1839231	
17	10.108	10.042	10.275	3382832	0.19	425923	
18	10.442	10.275	10.525	3505924	0.19	338694	
19	10.733	10.525	10.975	8539254	0.47	1424642	
20	11.099	10.975	11.458	9879219	0.54	1484423	
21	13.395	13.242	13.525	7963824	0.44	827172	
22	13.642	13.525	13.708	6394615	0.35	852446	
23	13.763	13.708	13.825	5520751	0.30	1099775	
24	13.875	13.825	14.025	4936063	0.27	816811	
25	14.271	14.175	14.525	10730732	0.59	1979304	
26	14.644	14.525	15.125	21089849	1.16	3311128	
27	16.763	16.658	16.992	2331386	0.13	330270	
28	17.157	17.058	17.275	2802637	0.15	579835	
29	17.520	17.425	17.708	8812949	0.48	1640136	
30	17.842	17.708	18.258	15155014	0.83	2297292	
31	19.978	18.658	20.108	84716744	4.64	2099730	
32	20.557	20.425	20.775	27600186	1.51	2915263	
33	20.842	20.775	21.158	8725523	0.48	907760	
34	22.351	21.525	22.575	55030203	3.02	1958522	
35	23.058	22.842	23.225	6623981	0.36	429647	
36	23.338	23.225	23.758	19328356	1.06	1223618	
37	26.703	25.358	26.742	489043973	26.81	13675206	
38	26.782	26.742	27.175	19963099	1.09	3659731	
39	27.333	27.208	27.475	3669690	0.20	626959	
40	27.556	27.475	27.625	3729332	0.20	675978	
41	27.692	27.625	27.875	2760346	0.15	437336	
42	28.142	27.992	28.275	4288399	0.24	428918	
43	28.337	28.275	28.492	4471644	0.25	514402	
44	28.605	28.492	28.792	12313876	0.68	1896731	
45	29.939	29.725	30.108	16648222	0.91	1247405	
46	30.388	30.108	30.642	51262316	2.81	2883046	
47	30.846	30.642	30.908	65281122	3.58	7156874	
48	30.961	30.908	31.175	16826906	0.92	3590714	
49	31.724	31.542	31.875	7067946	0.39	775338	
50	31.925	31.875	31.992	2291179	0.13	410470	
51	32.151	31.992	32.308	8150483	0.45	582788	
52	32.395	32.308	32.525	9076044	0.50	1252379	
53	32.608	32.525	32.775	2423655	0.13	320783	
54	33.321	33.108	33.392	10280367	0.56	1115729	
55	33.611	33.392	33.792	25632238	1.41	1298867	
56	34.224	33.792	34.458	191275141	10.49	8276014	
57	34.677	34.458	34.725	7868512	0.43	1178871	
58	34.908	34.725	34.958	23353726	1.28	2579659	
59	35.512	34.958	35.758	178946300	9.81	6858413	

Peak#	R.Time	I.Time	F.Time	Area	Area%	Height	Name
60	36.102	35.758	36.308	40168571	2.20	2647592	
61	36.434	36.308	36.642	25387275	1.39	4527346	
62	36.944	36.642	37.092	6243714	0.34	666382	
63	37.142	37.092	37.208	1909499	0.10	447446	
64	37.925	37.842	38.092	11373004	0.62	1486868	
65	38.142	38.092	38.275	2945020	0.16	448791	
66	38.825	38.742	39.025	10079198	0.55	1683452	
67	39.092	39.025	39.158	1695918	0.09	480758	
68	39.679	39.525	39.808	9635958	0.53	2544314	
69	40.492	40.358	40.642	7425271	0.41	2115701	
70	41.273	41.158	41.358	3441640	0.19	1123563	
71	42.025	41.875	42.108	1982481	0.11	423071	
72	42.794	42.692	42.875	1356717	0.07	347706	
73	44.530	44.408	44.742	4370428	0.24	650410	
74	44.792	44.742	45.008	1743822	0.10	317753	
75	46.740	46.575	46.925	10184639	0.56	2055045	
				1823884964	100.00	150836299	

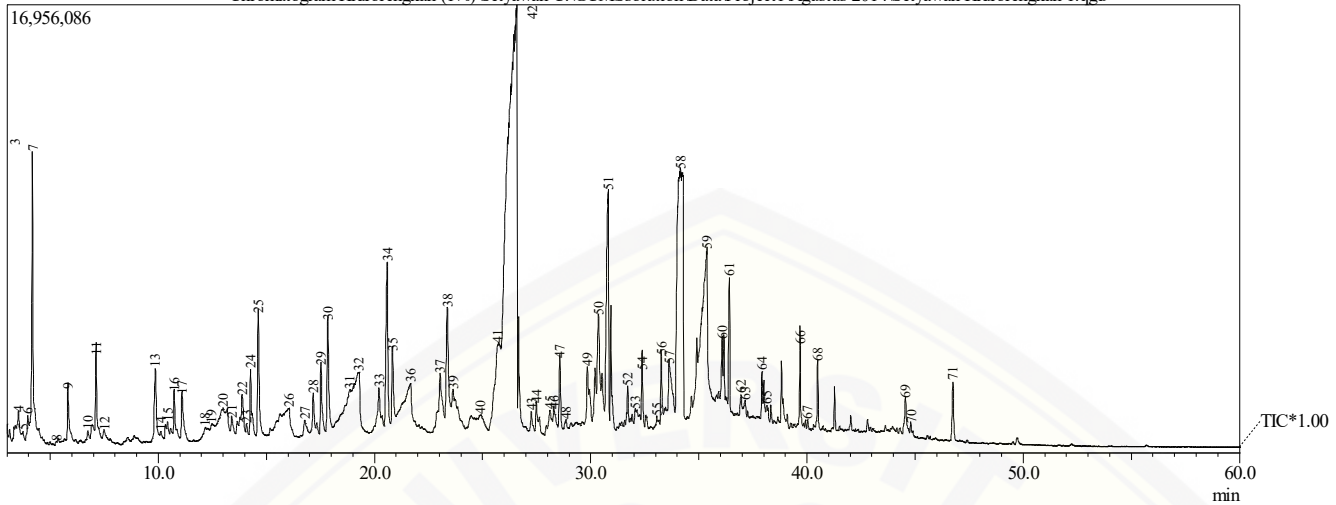




## Sample Information

Analyzed by : Admin  
 Sample Name : Hidrorengkah (1%) Setyawan  
 Sample ID :  
 Data File : C:\GCMSsolution\Data\Project1\Agustus 2014\Setyawan Hidrorengkah 1.qgd  
 Method File : C:\GCMSsolution\Data\Project1\Agustus 2014\Pyrolysis HP1 baru xx2.qgm  
 Tuning File : C:\GCMSsolution\System\Tune\OKTOBER 18 2016.qgt

Chromatogram Hidrorengkah (1%) Setyawan C:\GCMSsolution\Data\Project1\Agustus 2014\Setyawan Hidrorengkah 1.qgd



## Peak Report TIC

Peak#	R.Time	I.Time	F.Time	Area	Area%	Height	Name
1	2.173	2.042	2.367	27236670	1.19	3698932	
2	2.417	2.367	2.542	8775936	0.38	959085	
3	2.758	2.542	3.217	80632785	3.51	11664125	
4	3.541	3.217	3.667	20284749	0.88	1372336	
5	3.742	3.667	3.842	4724912	0.21	588453	
6	3.967	3.842	4.042	8536350	0.37	1132033	
7	4.187	4.042	4.817	61635619	2.68	10194014	
8	5.292	5.192	5.767	3593049	0.16	110390	
9	5.833	5.767	6.117	11485399	0.50	1924251	
10	6.742	6.517	6.867	3165676	0.14	396813	
11	7.129	6.867	7.392	24375802	1.06	3130574	
12	7.517	7.392	7.717	3553259	0.15	383081	
13	9.870	9.617	10.042	19566651	0.85	2676665	
14	10.117	10.042	10.267	3347585	0.15	400201	
15	10.436	10.267	10.517	7608781	0.33	731367	
16	10.742	10.517	11.017	15754256	0.69	1923686	
17	11.110	11.017	11.492	13690657	0.60	1748894	
18	12.167	11.917	12.392	8073427	0.35	438980	
19	12.467	12.392	12.742	11171500	0.49	569834	
20	13.003	12.742	13.317	30468987	1.33	1128716	
21	13.417	13.317	13.567	6876819	0.30	794104	
22	13.891	13.567	14.042	20383689	0.89	1629636	
23	14.092	14.042	14.192	2975385	0.13	535977	
24	14.267	14.192	14.517	15124152	0.66	2374864	
25	14.630	14.517	14.992	27418793	1.19	4458697	
26	16.036	14.992	16.317	42973392	1.87	1070936	
27	16.776	16.517	17.017	6785076	0.30	604741	
28	17.175	17.017	17.442	12884589	0.56	1529529	
29	17.534	17.442	17.717	15176852	0.66	2541690	
30	17.847	17.717	18.067	26839340	1.17	4284475	
31	18.867	18.067	18.967	48627165	2.12	1625796	
32	19.281	18.967	19.592	45273797	1.97	2257900	
33	20.212	19.842	20.442	18458925	0.80	1604145	
34	20.590	20.442	20.742	42115586	1.83	6258514	
35	20.840	20.742	20.992	19343658	0.84	3065870	
36	21.659	20.992	21.967	48472599	2.11	1640215	
37	23.042	22.592	23.242	30259489	1.32	2251051	
38	23.375	23.242	23.542	40364431	1.76	4652455	
39	23.639	23.542	24.192	32475925	1.41	1638182	
40	24.901	24.192	25.292	30807851	1.34	708443	
41	25.692	25.292	25.867	71269134	3.10	3350275	
42	26.569	25.867	26.917	514288656	22.40	15896839	
43	27.262	26.917	27.417	9331207	0.41	847798	
44	27.491	27.417	27.867	10745975	0.47	1227147	
45	28.123	27.917	28.217	6400763	0.28	716287	
46	28.317	28.217	28.467	7107898	0.31	826072	
47	28.580	28.467	28.742	13513524	0.59	2570304	
48	28.867	28.742	29.017	2137685	0.09	326836	
49	29.852	29.717	30.067	19565915	0.85	2060966	
50	30.365	30.067	30.642	60726992	2.64	4239063	
51	30.807	30.642	31.167	88013705	3.83	8969345	
52	31.719	31.517	31.792	7357666	0.32	1478872	
53	32.071	31.792	32.217	9875757	0.43	662062	
54	32.392	32.217	32.492	13124869	0.57	2543104	
55	33.068	32.892	33.117	2750815	0.12	448987	
56	33.267	33.117	33.367	14514557	0.63	2841037	
57	33.642	33.367	33.892	37266250	1.62	2432763	
58	34.162	33.892	34.417	185445823	8.08	9640031	
59	35.372	34.417	35.767	174772564	7.61	6315031	



Peak#	R.Time	I.Time	F.Time	Area	Area%	Height	Name
60	36.084	35.767	36.267	42179393	1.84	2921557	
61	36.417	36.267	36.642	26856176	1.17	5131638	
62	36.961	36.642	37.017	6272068	0.27	814385	
63	37.142	37.017	37.217	4379574	0.19	598206	
64	37.928	37.842	38.092	12469117	0.54	1541973	
65	38.142	38.092	38.292	3724732	0.16	557611	
66	39.689	39.492	39.817	13523003	0.59	3572906	
67	40.042	39.817	40.117	2709928	0.12	357278	
68	40.500	40.192	40.642	10749571	0.47	2268747	
69	44.563	44.417	44.767	10016681	0.44	1394823	
70	44.817	44.767	45.067	2617025	0.11	493650	
71	46.760	46.567	47.017	11378244	0.50	2148600	
				2296404830	100.00	179893843	

Digital Repository Universitas Jember

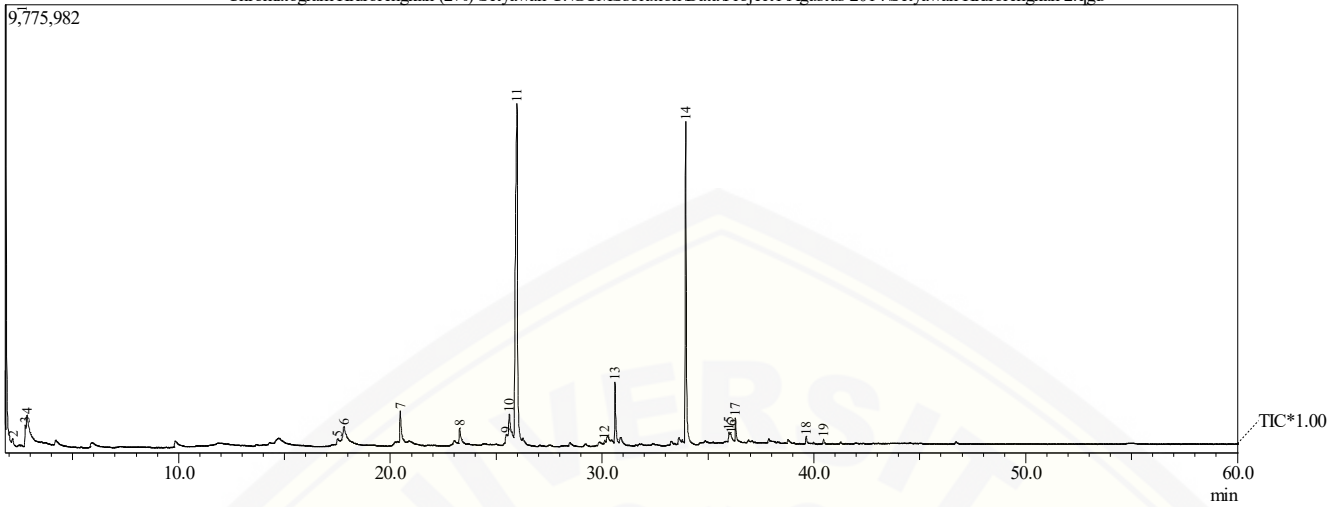




Sample Information

Analyzed by : Admin  
 Sample Name : Hidrorenkah (2%) Setyawan  
 Sample ID :  
 Data File : C:\GCMSSolution\Data\Project1\Agustus 2014\Setyawan Hidrorenkah 2.qgd  
 Method File : C:\GCMSSolution\Data\Project1\Agustus 2014\Pyrolysis HP1 baru xx2.qgm  
 Tuning File : C:\GCMSSolution\System\Tune1\OKTOBER 18 2016.qgt

Chromatogram Hidrorenkah (2%) Setyawan C:\GCMSSolution\Data\Project1\Agustus 2014\Setyawan Hidrorenkah 2.qgd



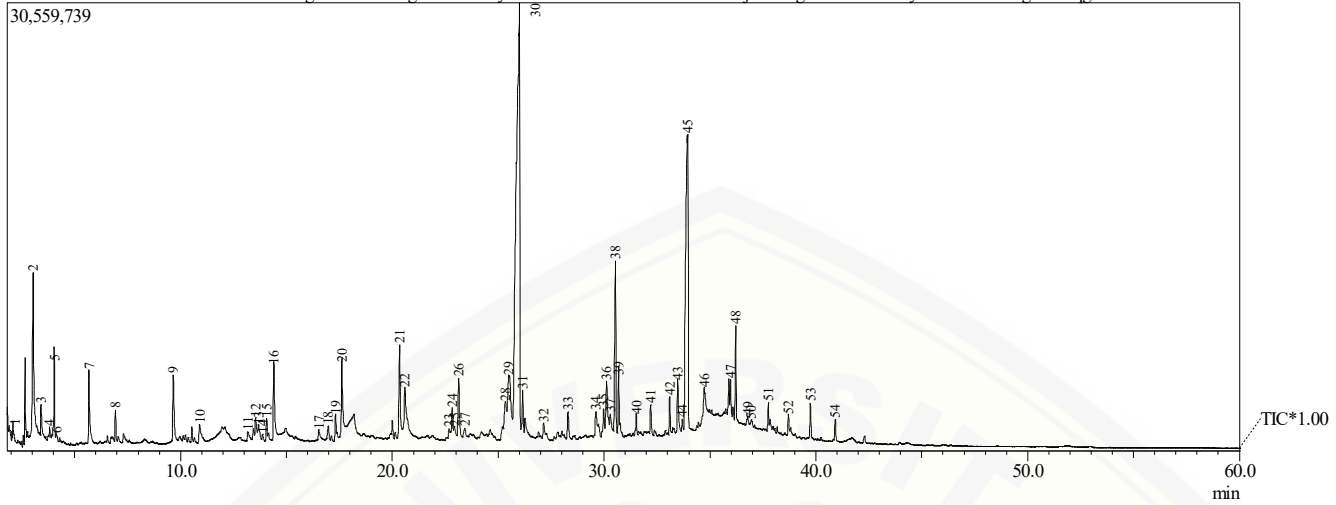
Peak#	R.Time	I.Time	F.Time	Area	Area%	Height	Name
1	1.849	1.833	2.075	17551339	14.02	9277638	
2	2.168	2.108	2.242	467794	0.37	120874	
3	2.760	2.708	2.792	1350891	1.08	447678	
4	2.841	2.792	3.092	5207811	4.16	611327	
5	17.492	17.450	17.733	847370	0.68	91032	
6	17.805	17.733	17.983	2276365	1.82	294510	
7	20.468	20.417	20.608	2866074	2.29	680029	
8	23.270	23.217	23.417	1622229	1.30	326737	
9	25.467	25.417	25.558	1114002	0.89	168427	
10	25.618	25.558	25.817	4384668	3.50	602955	
11	25.983	25.817	26.183	51461892	41.10	7359180	
12	30.108	30.075	30.192	191234	0.15	54933	
13	30.610	30.558	30.758	4735255	3.78	1327426	
14	33.950	33.883	34.175	26898882	21.48	7000688	
15	35.993	35.933	36.025	719778	0.57	205821	
16	36.092	36.025	36.158	975472	0.78	146139	
17	36.294	36.158	36.408	1720979	1.37	509431	
18	39.638	39.592	39.733	514825	0.41	155510	
19	40.457	40.408	40.525	302321	0.24	98066	
				125209181	100.00	29478401	



## Sample Information

Analyzed by : Admin  
 Sample Name : Hidrorengkah 3% Setyawan  
 Sample ID :  
 Data File : C:\GCMSsolution\Data\Project1\Agustus 2014\Setyawan Hidrorengkah 3.qgd  
 Method File : C:\GCMSsolution\Data\Project1\Agustus 2014\Pyrolysis HP1 baru xx2.qgm  
 Tuning File : C:\GCMSsolution\System\Tune\OKTOBER 18 2016.qgt

Chromatogram Hidrorengkah 3% Setyawan C:\GCMSsolution\Data\Project1\Agustus 2014\Setyawan Hidrorengkah 3.qgd



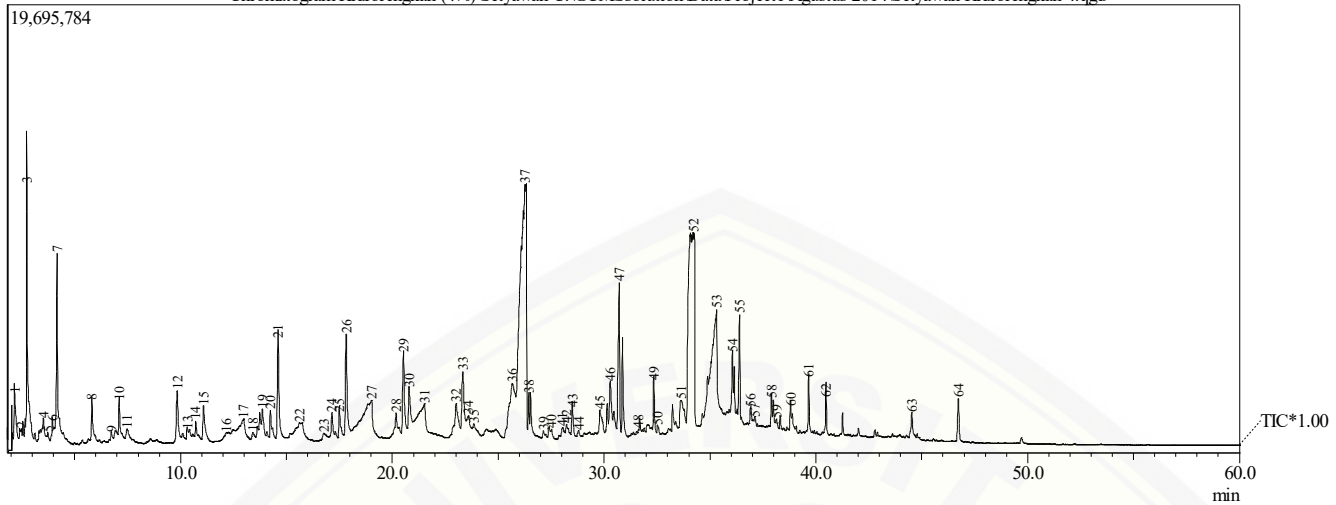
Peak#	R.Time	I.Time	F.Time	Area	Area%	Height	Name
1	2.091	2.025	2.258	4728968	0.39	1163755	
2	3.040	2.892	3.375	57684930	4.78	11176239	
3	3.408	3.375	3.592	8515335	0.71	2194178	
4	3.825	3.708	3.892	3012675	0.25	777027	
5	4.038	3.892	4.092	16780574	1.39	5782521	
6	4.142	4.092	4.258	1937784	0.16	446748	
7	5.675	5.608	5.925	20788404	1.72	5015620	
8	6.927	6.875	7.008	5912560	0.49	2073365	
9	9.660	9.542	9.875	19528750	1.62	4441483	
10	10.903	10.808	11.175	9232931	0.77	1235298	
11	13.175	13.092	13.392	4968333	0.41	636850	
12	13.547	13.392	13.625	11419777	0.95	1588702	
13	13.692	13.625	13.808	6992238	0.58	1075457	
14	13.875	13.808	13.975	1968671	0.16	451675	
15	14.058	13.992	14.342	6817390	0.57	1400195	
16	14.406	14.342	14.608	22344191	1.85	5132895	
17	16.530	16.442	16.692	4380294	0.36	739883	
18	16.973	16.692	17.058	4987999	0.41	948804	
19	17.322	17.258	17.458	6892998	0.57	1709843	
20	17.622	17.508	17.792	21789864	1.81	4914758	
21	20.344	20.225	20.458	26937420	2.23	6096277	
22	20.597	20.458	20.992	30122763	2.50	3315652	
23	22.675	22.625	22.775	3863917	0.32	620584	
24	22.830	22.775	22.892	8394193	0.70	2001990	
25	22.942	22.892	23.042	4080434	0.34	699540	
26	23.137	23.042	23.292	19013114	1.58	3982489	
27	23.425	23.292	23.558	3432298	0.28	585869	
28	25.325	25.058	25.408	25166734	2.09	2505547	
29	25.498	25.408	25.675	47561056	3.94	4314492	
30	26.003	25.675	26.075	348787901	28.91	29561919	
31	26.158	26.075	26.542	21858399	1.81	3210080	
32	27.148	27.075	27.242	3787740	0.31	890368	
33	28.299	28.208	28.458	8059482	0.67	1764346	
34	29.614	29.492	29.842	14587913	1.21	1716190	
35	29.975	29.842	30.042	9335793	0.77	1859688	
36	30.120	30.042	30.258	24831890	2.06	3720818	
37	30.292	30.258	30.442	9740936	0.81	1554223	
38	30.537	30.442	30.625	49019612	4.06	11778000	
39	30.689	30.625	30.942	18136818	1.50	4463845	
40	31.522	31.425	31.592	5237465	0.43	1456462	
41	32.201	32.142	32.325	7157833	0.59	1875123	
42	33.102	33.042	33.208	7985054	0.66	2387491	
43	33.480	33.208	33.642	17911234	1.48	3543364	
44	33.692	33.642	33.758	2906643	0.24	813747	
45	33.951	33.758	34.108	167415048	13.88	20148020	
46	34.730	34.525	34.925	16354312	1.36	2132340	
47	35.970	35.808	36.042	14694261	1.22	2305780	
48	36.220	36.158	36.375	17475777	1.45	6055996	
49	36.791	36.658	36.858	3603184	0.30	651086	
50	36.958	36.858	37.058	2819796	0.23	454804	
51	37.759	37.675	37.925	8174311	0.68	1856179	
52	38.708	38.642	38.775	3694157	0.31	1265286	
53	39.746	39.642	39.908	8114600	0.67	2264960	
54	40.919	40.792	41.025	5556336	0.46	1434076	
				1206503090	100.00	186191927	



## Sample Information

Analyzed by : Admin  
 Sample Name : Hidrorengkah (4%) Setyawan  
 Sample ID :  
 Data File : C:\GCMSSolution\Data\Project1\Agustus 2014\Setyawan Hidrorengkah 4.qgd  
 Method File : C:\GCMSSolution\Data\Project1\Agustus 2014\Pyrolysis HP1 baru xx2.qgm  
 Tuning File : C:\GCMSSolution\System\Tune\OKTOBER 18 2016.qgt

Chromatogram Hidrorengkah (4%) Setyawan C:\GCMSSolution\Data\Project1\Agustus 2014\Setyawan Hidrorengkah 4.qgd



Peak#	R.Time	I.Time	F.Time	Area	Area%	Height	Name
1	2.170	1.992	2.367	23615390	1.59	2670137	
2	2.492	2.367	2.517	7292754	0.49	892539	
3	2.745	2.517	3.217	69889896	4.70	12084388	
4	3.526	3.217	3.667	18675222	1.26	1193440	
5	3.742	3.667	3.842	4559241	0.31	634581	
6	3.967	3.842	4.017	7736730	0.52	1136810	
7	4.169	4.017	4.917	50579614	3.40	7807215	
8	5.820	5.692	6.092	9188404	0.62	1830021	
9	6.739	6.567	6.842	3444715	0.23	443981	
10	7.111	6.842	7.367	16716595	1.12	1801966	
11	7.482	7.367	7.967	7693495	0.52	585024	
12	9.845	9.642	10.042	16110681	1.08	2271373	
13	10.342	10.042	10.517	10535752	0.71	587762	
14	10.717	10.517	10.992	9786362	0.66	885130	
15	11.095	10.992	11.492	12177407	0.82	1585021	
16	12.142	11.917	12.842	20320467	1.37	316407	
17	12.984	12.842	13.292	12068941	0.81	944170	
18	13.419	13.292	13.542	2906272	0.20	337830	
19	13.867	13.542	14.017	19285041	1.30	1358665	
20	14.242	14.017	14.492	11138597	0.75	1218687	
21	14.613	14.492	14.967	27320130	1.84	4664967	
22	15.621	14.967	16.142	24236193	1.63	775295	
23	16.767	16.567	17.067	3970349	0.27	280054	
24	17.158	17.067	17.442	7777466	0.52	1061625	
25	17.517	17.442	17.692	6813737	0.46	1211757	
26	17.827	17.692	18.042	24054793	1.62	4116456	
27	19.012	18.392	19.392	30853169	2.08	1384090	
28	20.186	19.842	20.417	11896371	0.80	1019955	
29	20.534	20.417	20.692	23151207	1.56	3584933	
30	20.800	20.692	20.967	17580471	1.18	2122987	
31	21.520	20.967	21.817	35346552	2.38	1314940	
32	23.019	22.692	23.217	18604783	1.25	1461009	
33	23.335	23.217	23.492	23817742	1.60	2781447	
34	23.592	23.492	23.767	10148934	0.68	891983	
35	23.867	23.767	24.192	6099345	0.41	495454	
36	25.676	25.217	25.842	48630501	3.27	2395127	
37	26.286	25.842	26.392	229723265	15.46	11127080	
38	26.451	26.392	26.792	16930948	1.14	1729910	
39	27.142	26.792	27.317	3729807	0.25	333696	
40	27.517	27.317	27.742	5309016	0.36	405340	
41	28.042	27.842	28.167	3857637	0.26	408528	
42	28.236	28.167	28.442	4838152	0.33	527673	
43	28.517	28.442	28.692	7336438	0.49	1382174	
44	28.817	28.692	28.917	1455822	0.10	229905	
45	29.814	29.667	30.017	10203311	0.69	1059752	
46	30.298	30.017	30.592	31636996	2.13	2356494	
47	30.714	30.592	31.117	53481361	3.60	6419813	
48	31.617	31.492	31.967	5941031	0.40	180650	
49	32.351	31.967	32.467	15605874	1.05	2196998	
50	32.542	32.467	32.692	2024515	0.14	353008	
51	33.641	33.492	33.892	16181816	1.09	1210473	
52	34.215	33.892	34.417	170354896	11.46	8498190	
53	35.307	34.417	35.742	128295708	8.63	5128659	
54	36.068	35.742	36.242	36749041	2.47	3239783	
55	36.403	36.242	36.617	25877716	1.74	4400317	
56	36.926	36.617	37.017	6310623	0.42	769815	
57	37.142	37.017	37.317	3155441	0.21	410648	
58	37.913	37.842	38.092	9835893	0.66	1360416	
59	38.142	38.092	38.267	1917888	0.13	384914	

Peak#	R.Time	I.Time	F.Time	Area	Area%	Height	Name
60	38.813	38.742	39.167	9210995	0.62	1196565	
61	39.668	39.467	39.892	8796428	0.59	2421985	
62	40.488	40.342	40.617	6991844	0.47	2003022	
63	44.540	44.392	44.742	6643353	0.45	1089402	
64	46.736	46.542	46.992	9580617	0.64	1837350	
				1485999751	100.00	132809786	



**Lampiran K. Struktur dan Nama Senyawa Hasil Perengkahan MEPO yang Telah Dianalisis Menggunakan GCMS yang Diambil dari *Similar Index* (SI) tertinggi.**

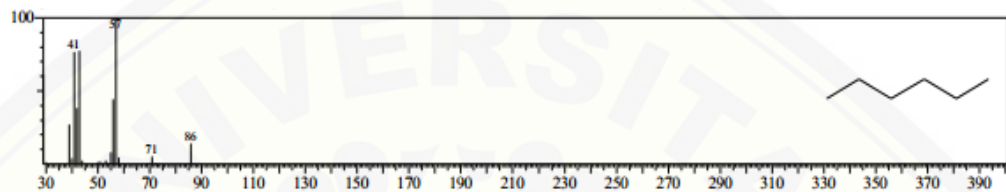
1. Hit#:1 Entry:736 Library:NIST62.LIB

SI:92 Formula:C<sub>6</sub>H<sub>14</sub> CAS:110-54-3 MolWeight:86 RetIndex:0

CompName:Hexane \$\$ n-Hexane \$\$ Skellysolve B \$\$ n-C<sub>6</sub>H<sub>14</sub> \$\$ Esani \$\$

Heksan \$\$ Hexanen \$\$ Hexyl hydride \$\$ Gettysolve-B \$\$ NCI-C60571 \$\$

UN 1208

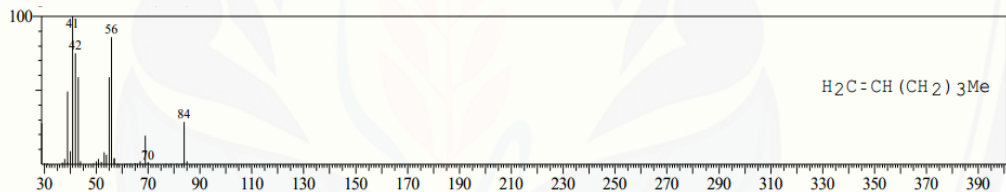


2. Hit#:1 Entry:2361 Library:WILEY229.LIB

SI:90 Formula:C<sub>6</sub>H<sub>12</sub> CAS:592-41-6 MolWeight:84 RetIndex:0

CompName:1-Hexene (CAS) Hexene-1 \$\$ 1-n-Hexene \$\$ hex-1-ene \$\$

Hexene \$\$ Dialene 6 \$\$

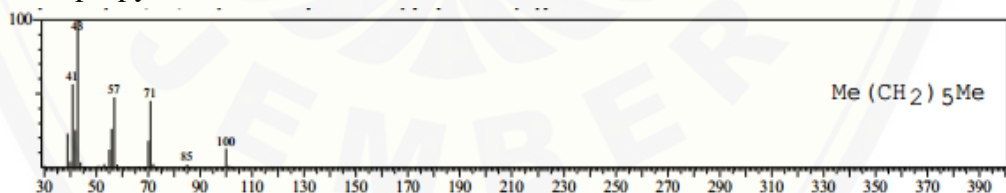


3. Hit#:1 Entry:5648 Library:WILEY229.LIB

SI:89 Formula:C<sub>7</sub>H<sub>16</sub> CAS:142-82-5 MolWeight:100 RetIndex:0

CompName:Heptane (CAS) n-Heptane \$\$ Skellysolve C \$\$ Heptyl hydride

\$\$ Dipropylmethane \$\$

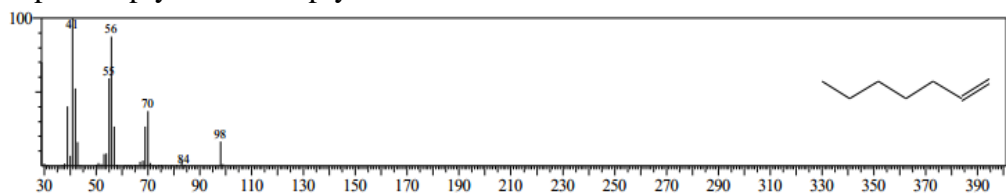


4. Hit#:1 Entry:1335 Library:NIST62.LIB

SI:91 Formula:C<sub>7</sub>H<sub>14</sub> CAS:592-76-7 MolWeight:98 RetIndex:0

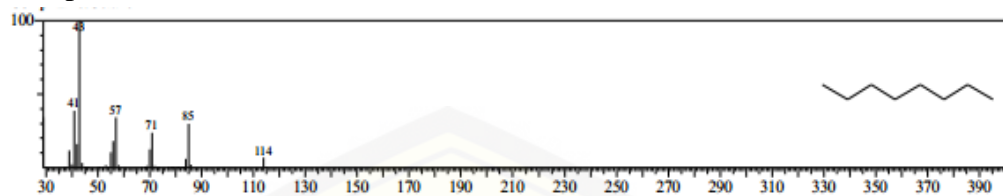
CompName:1-Heptene \$\$ n-Hept-1-ene \$\$ 1-n-Heptene \$\$ 1-C<sub>7</sub>H<sub>14</sub> \$\$

.alpha.-heptylene \$\$ Heptylene

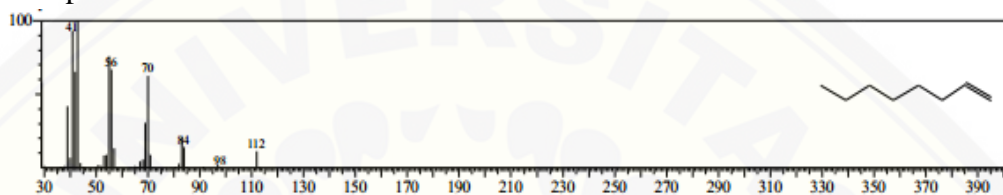




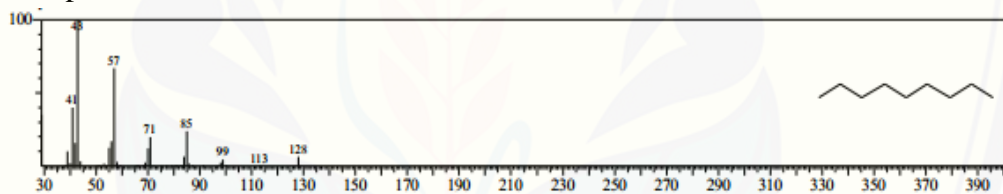
5. Hit#:1 Entry:1973 Library:NIST12.LIB  
 SI:91 Formula:C<sub>8</sub>H<sub>18</sub> CAS:111-65-9 MolWeight:114 RetIndex:0  
 CompName:Octane



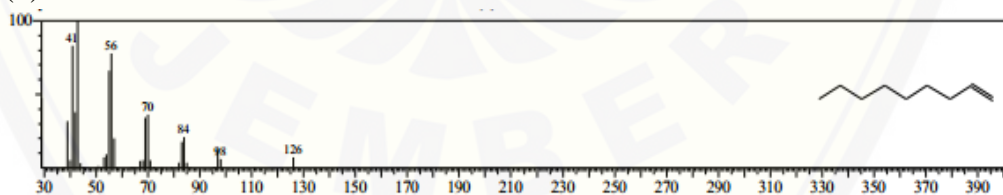
6. Hit#:1 Entry:1760 Library:NIST12.LIB  
 SI:90 Formula:C<sub>8</sub>H<sub>16</sub> CAS:111-66-0 MolWeight:112 RetIndex:0  
 CompName:1-Octene



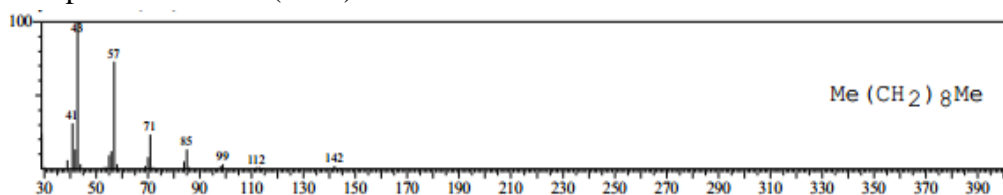
7. Hit#:2 Entry:5163 Library:NIST62.LIB  
 SI:93 Formula:C<sub>9</sub>H<sub>20</sub> CAS:111-84-2 MolWeight:128 RetIndex:0  
 CompName:Nonane \$\$ n-Nonane \$\$ Shellsol 140 \$\$ n-C<sub>9</sub>H<sub>20</sub> \$\$ UN 1920



8. Hit#:1 Entry:4675 Library:NIST62.LIB  
 SI:91 Formula:C<sub>9</sub>H<sub>18</sub> CAS:124-11-8 MolWeight:126 RetIndex:0  
 CompName:1-Nonene \$\$ n-Non-1-ene \$\$ 1-C<sub>9</sub>H<sub>18</sub> \$\$ Nonene \$\$ Nonene-(1) \$\$ NONYLENE



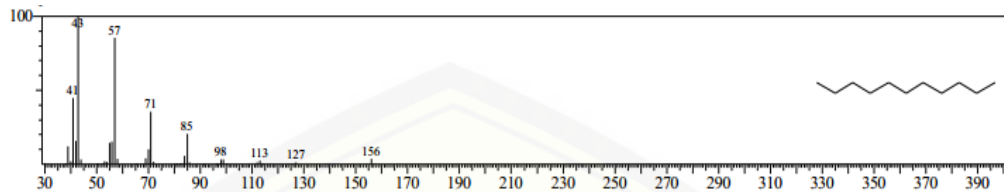
9. Hit#:2 Entry:23343 Library:WILEY229.LIB  
 SI:94 Formula:C<sub>10</sub>H<sub>22</sub> CAS:124-18-5 MolWeight:142 RetIndex:0  
 CompName:Decane (CAS) n-Decane \$\$ Isodecane \$\$



10. Hit#:1 Entry:11611 Library:NIST62.LIB

SI:94 Formula:C<sub>11</sub>H<sub>24</sub> CAS:1120-21-4 MolWeight:156 RetIndex:0

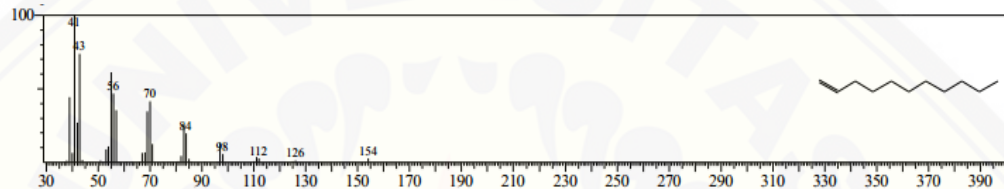
CompName:Undecane \$\$ n-Undecane \$\$ Hendecane \$\$ n-C<sub>11</sub>H<sub>24</sub> \$\$ UN  
2330



11. Hit#:1 Entry:4954 Library:NIST12.LIB

SI:93 Formula:C<sub>11</sub>H<sub>22</sub> CAS:821-95-4 MolWeight:154 RetIndex:0

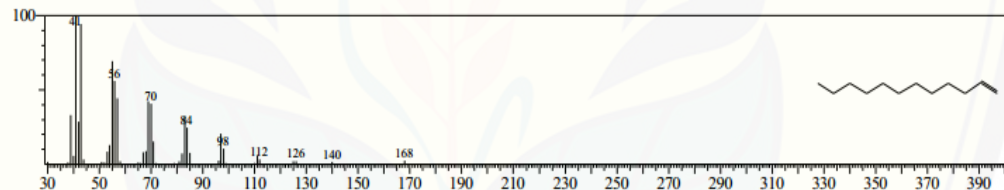
CompName:1-Undecene



12. Hit#:4 Entry:5876 Library:NIST12.LIB

SI:93 Formula:C<sub>12</sub>H<sub>24</sub> CAS:112-41-4 MolWeight:168 RetIndex:0

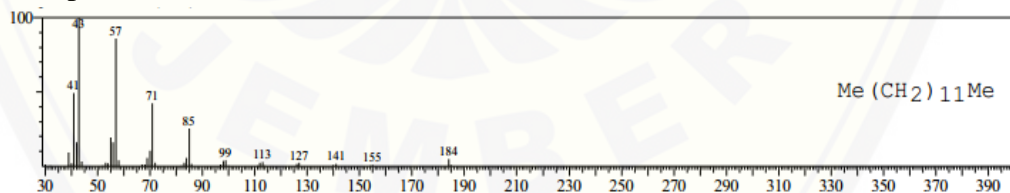
CompName:1-Dodecene



13. Hit#:2 Entry:54723 Library:WILEY229.LIB

SI:96 Formula:C<sub>13</sub>H<sub>28</sub> CAS:629-50-5 MolWeight:184 RetIndex:0

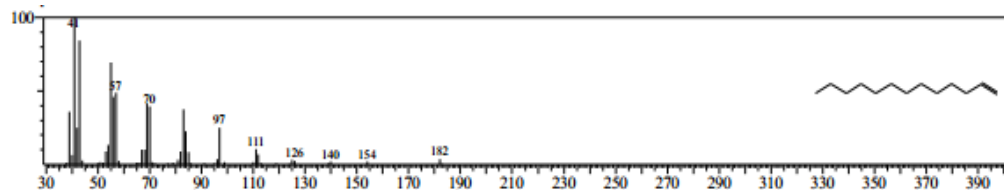
CompName:Tridecane (CAS) n-Tridecane \$\$



14. Hit#:3 Entry:6634 Library:NIST12.LIB

SI:92 Formula:C<sub>13</sub>H<sub>26</sub> CAS:2437-56-1 MolWeight:182 RetIndex:0

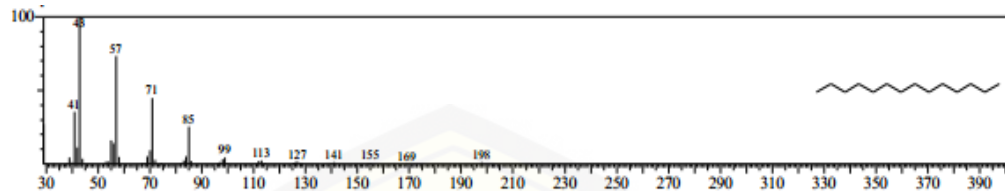
CompName:1-Tridecene



15. Hit#:2 Entry:7423 Library:NIST12.LIB

SI:93 Formula:C<sub>14</sub>H<sub>30</sub> CAS:629-59-4 MolWeight:198 RetIndex:0

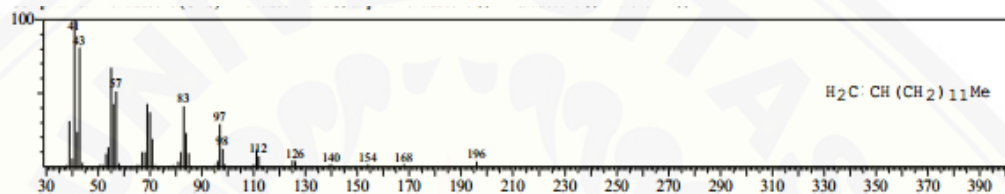
CompName:Tetradecane



16. Hit#:1 Entry:64403 Library:WILEY229.LIB

SI:93 Formula:C<sub>14</sub>H<sub>28</sub> CAS:1120-36-1 MolWeight:196 RetIndex:0

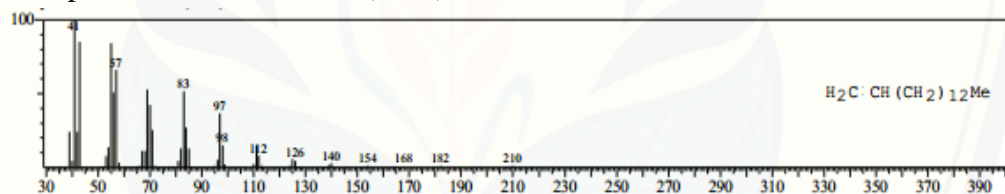
CompName:1-Tetradecene (CAS) n-Tetradec-1-ene \$\$ .alpha.-Tetradecene \$\$  
1-Butadecene \$\$ Dialene 14 \$\$



17. Hit#:1 Entry:76648 Library:WILEY229.LIB

SI:87 Formula:C<sub>15</sub>H<sub>30</sub> CAS:13360-61-7 MolWeight:210 RetIndex:0

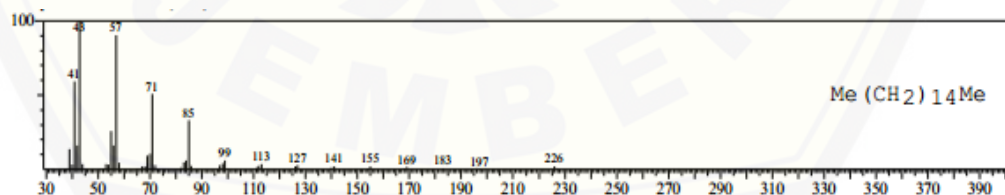
CompName:1-Pentadecene (CAS) Pentadec-1-ene \$\$



18. Hit#:1 Entry:90352 Library:WILEY229.LIB

SI:87 Formula:C<sub>16</sub>H<sub>34</sub> CAS:544-76-3 MolWeight:226 RetIndex:0

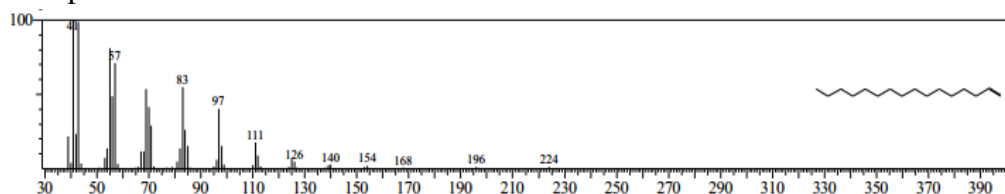
CompName:Hexadecane (CAS) n-Hexadecane \$\$ Cetane \$\$ n-Cetane \$\$  
Isohexadecane \$\$



19. Hit#:4 Entry:8488 Library:NIST12.LIB

SI:93 Formula:C<sub>16</sub>H<sub>32</sub> CAS:629-73-2 MolWeight:224 RetIndex:0

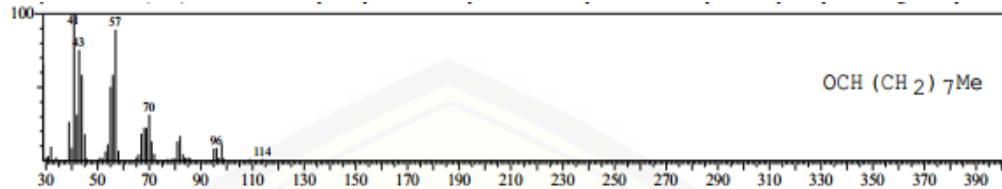
CompName:1-Hexadecene



20. Hit#:1 Entry:23166 Library:WILEY229.LIB

SI:87 Formula:C<sub>9</sub>H<sub>18</sub>O CAS:124-19-6 MolWeight:142 RetIndex:0

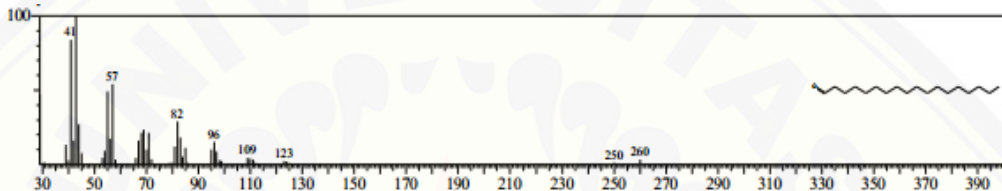
CompName:Nonanal (CAS) n-Nonanal \$\$ n-Nonylaldehyde \$\$ Nonaldehyde  
\$\$ n-Nonaldehyde \$\$ Nonanaldehyde



21. Hit#:1 Entry:9710 Library:NIST12.LIB

SI:95 Formula:C<sub>18</sub>H<sub>36</sub>O CAS:638-66-4 MolWeight:268 RetIndex:0

CompName:Octadecanal

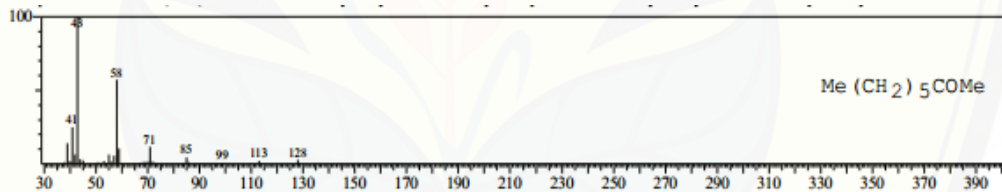


22. Hit#:1 Entry:15175 Library:WILEY229.LIB

SI:92 Formula:C<sub>8</sub>H<sub>16</sub>O CAS:111-13-7 MolWeight:128 RetIndex:0

CompName:2-Octanone (CAS) Octan-2-one \$\$ Methyl hexyl ketone \$\$

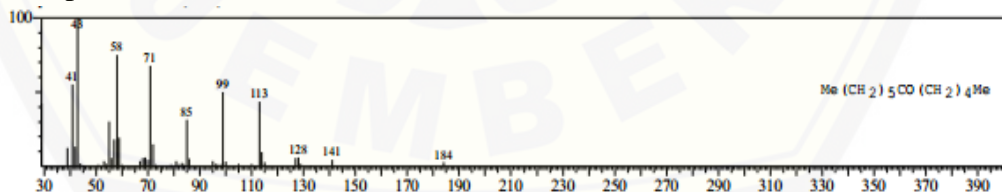
Hexyl methyl ketone \$\$ n-Hexyl methyl ketone \$\$ Methyl n-hexyl ketone \$\$



23. Hit#:1 Entry:54610 Library:WILEY229.LIB

SI:80 Formula:C<sub>12</sub>H<sub>24</sub>O CAS:6064-27-3 MolWeight:184 RetIndex:0

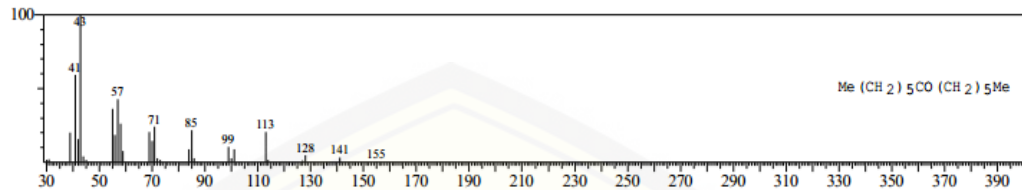
CompName:6-Dodecanone (CAS) DODECAN-6-ONE \$\$



24. Hit#:1 Entry:66066 Library:WILEY229.LIB

SI:81 Formula:C<sub>13</sub>H<sub>26</sub>O CAS:462-18-0 MolWeight:198 RetIndex:0

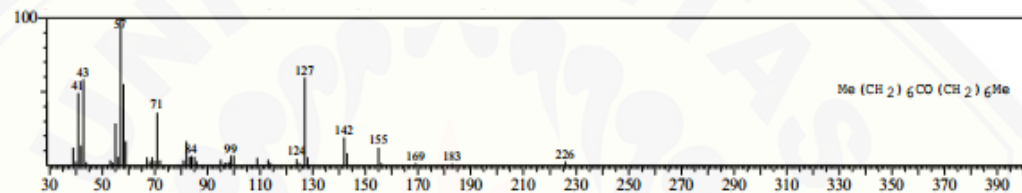
CompName:7-Tridecanone(CAS) Enanthone \$\$ Hexyl ketone \$\$ Dihexyl ketone \$\$ TRIDECAN-7-ONE \$\$



25. Hit#:1 Entry:90275 Library:WILEY229.LIB

SI:87 Formula:C<sub>15</sub>H<sub>30</sub>O CAS:818-23-5 MolWeight:226 RetIndex:0

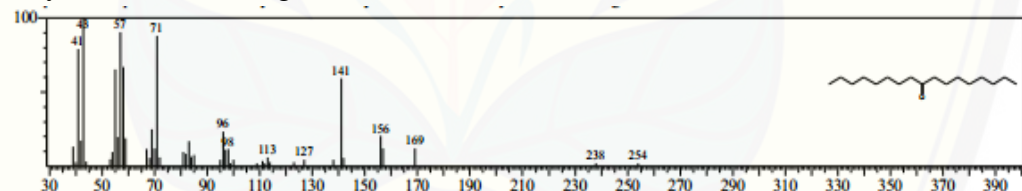
CompName:8-Pentadecanone (CAS) Caprylone \$\$ Heptyl ketone \$\$ Diheptyl ketone \$\$ Pentadecan-8-one \$\$



26. Hit#:2 Entry:34801 Library:NIST62.LIB

SI:85 Formula:C<sub>17</sub>H<sub>34</sub>O CAS:540-08-9 MolWeight:254 RetIndex:0

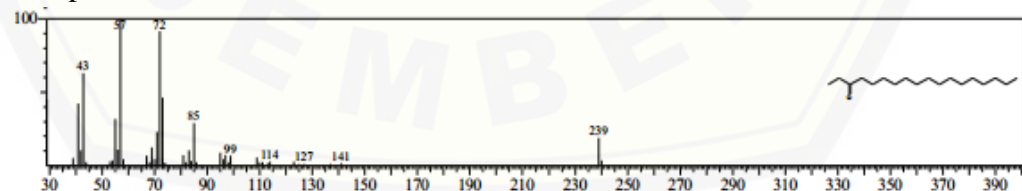
CompName:9-Heptadecanone \$\$ Dioctyl ketone \$\$ Octyl ketone \$\$ Di-n-octyl ketone \$\$ Pelargone



27. Hit#:1 Entry:37450 Library:NIST62.LIB

SI:90 Formula:C<sub>18</sub>H<sub>36</sub>O CAS:18261-92-2 MolWeight:268 RetIndex:0

CompName:3-Octadecanone

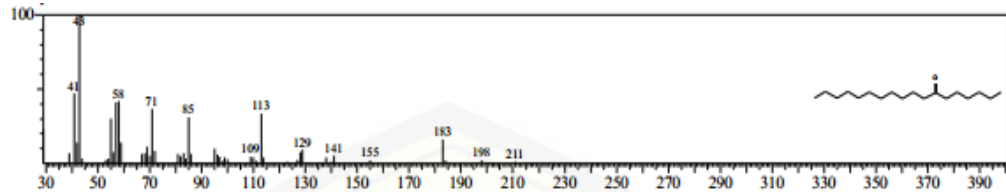




28. Hit#:1 Entry:37444 Library:NIST62.LIB

SI:85 Formula:C<sub>18</sub>H<sub>36</sub>O CAS:0-00-0 MolWeight:268 RetIndex:0

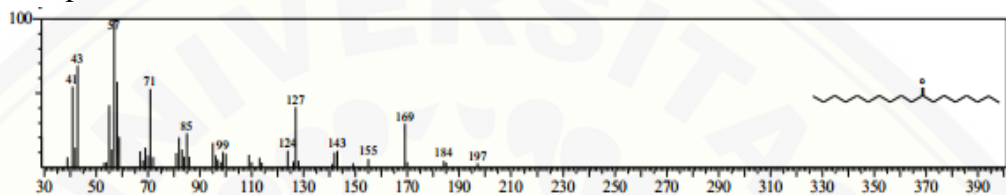
CompName:7-Octadecanone



29. Hit#:1 Entry:37446 Library:NIST62.LIB

SI:83 Formula:C<sub>18</sub>H<sub>36</sub>O CAS:0-00-0 MolWeight:268 RetIndex:0

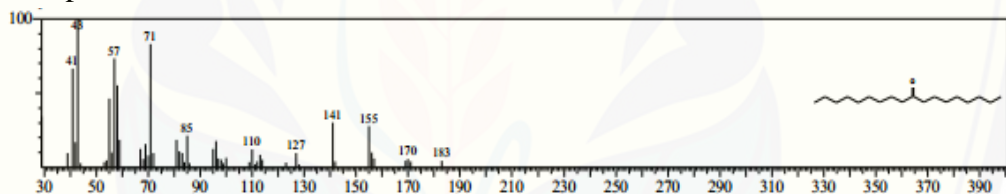
CompName:8-Octadecanone



30. Hit#:1 Entry:37445 Library:NIST62.LIB

SI:87 Formula:C<sub>18</sub>H<sub>36</sub>O CAS:0-00-0 MolWeight:268 RetIndex:0

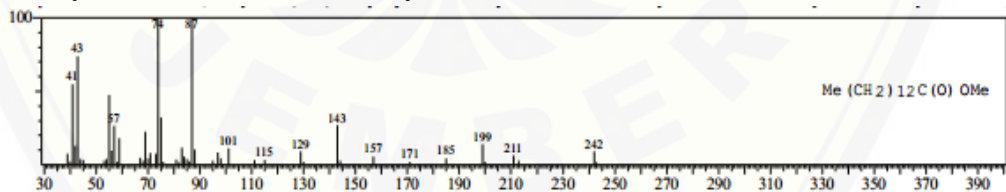
CompName:9-Octadecanone



31. Hit#:2 Entry:103146 Library:WILEY229.LIB

SI:91 Formula:C<sub>15</sub> H<sub>30</sub> O<sub>2</sub> CAS:124-10-7 MolWeight:242 RetIndex:0

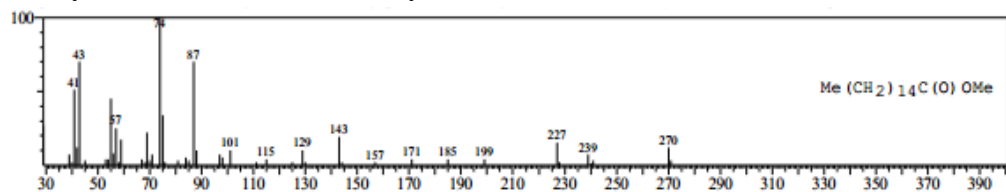
CompName:Tetradecanoic acid, methyl ester (CAS) Methyl myristate \$\$  
Methyl tetradecanoate \$\$ Methyl n-tetradecanoate



32. Hit#:3 Entry:124628 Library:WILEY229.LIB

SI:90 Formula:C<sub>17</sub> H<sub>34</sub> O<sub>2</sub> CAS:112-39-0 MolWeight:270 RetIndex:0

CompName:Hexadecanoic acid, methyl ester (CAS) Methyl palmitate \$\$  
Methyl hexadecanoate \$\$ Methyl n-hexadecanoate \$\$



33. Hit#:2 Entry:114038 Library:WILEY229.LIB

SI:86 Formula:C16 H32 O2 CAS:57-10-3 MolWeight:256 RetIndex:0

CompName:Hexadecanoic acid (CAS) Palmitic acid \$\$ Palmitinic acid \$\$ n-

Hexadecoic acid \$\$ n-Hexadecanoic acid \$\$

