

**Reaksi hidrereengkah katalis
Ni/ zeolit , mo/zeolit, nimo/zeolit terhadap parafin**



**Disusun Oleh :
Siswodiharjo
M0300043**

SKRIPSI

Disusun dan diajukan untuk memenuhi sebagian
persyaratan mendapatkan gelar Sarjana Sains Kimia

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS SEBELAS MARET
SURAKARTA
2006**

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini dibimbing oleh:

Pembimbing I

Pembimbing II

Khoirina Dwi N, MSi

NIP. 132 258 052

Dian Maruto W, MSi

NIP. 132 258 053

Dipertahankan di depan Tim Penguji Skripsi pada:

Hari : Rabu

Tanggal : 10 Mei 2006

Anggota Tim Penguji :

1 Dra. Tri Martini, M.Si

NIP . 131 479 681

1.

2. Fitria Rahmawati, M.Si

NIP . 132 258 066

2.

Disahkan oleh

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Universitas Sebelas Maret Surakarta

Dekan,

Ketua Jurusan Kimia

Drs. Marsusi, MS

NIP. 130 906 776

Drs. Sentot Budi Rahardjo, PhD

NIP. 131 570 162

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi saya yang berjudul “REAKSI HIDRORENGKAH KATALIS NI/ZEOLIT, Mo/ZEOLIT, NiMo/ZEOLIT TERHADAP PARAFIN” adalah benar-benar hasil penelitian sendiri dan tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat kerja atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Surakarta, Mei 2006

SISWODIHARJO

ABSTRAK

SISWODIHARJO, 2006. REAKSI HIDRORENGKAH KATALIS Ni/ZEOLIT, Mo/ZEOLIT, NiMo/ZEOLIT TERHADAP PARAFIN. Skripsi. Jurusan Kimia. Fakultas MIPA. Universitas Sebelas Maret

Telah dilakukan uji hidrorengkah katalis logam Ni atau Mo yang teremban pada zeolit terhadap parafin untuk membandingkan efektivitas katalis logam Ni dan Mo.

Uji hidrorengkah katalis dilakukan pada reaktor sistem alir dengan rasio: katalis umpan 1:5, temperatur reaksi 400°C dan kecepatan alir gas H₂ 30 mL/menit. Efektivitas katalis ditentukan berdasarkan komposisi Cairan Hasil Hidrorengkah (CHH) dianalisis dengan kromatografi gas (*Gas chromatography* = GC) dibandingkan dengan data komposisi parafin umpan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa katalis Ni-Mo/Zeolit memiliki aktivitas katalis dan konversi total lebih baik yaitu sebesar 47,373 % dan 48,701 % dibandingkan katalis Ni/Zeolit sebesar 35,493 % dan 36,293 % serta katalis Mo/Zeolit sebesar 43,787 % dan 45,125 %. Namun katalis Ni/Zeolit memiliki efektivitas katalis yang paling baik ditunjukkan dengan selektivitas fraksi ringan yang lebih tinggi yaitu sebesar 11,152 % dibandingkan katalis Mo/Zeolit dan Ni-Mo/Zeolit yang hanya sebesar 4,051 % dan 6,310 % pada hidrorengkah parafin.

Kata kunci : Aktivitas, hidrorengkah parafin , katalis Ni, katalis Mo

ABSTRACT

SISWODIHARJO, 2006. HYDROCRACKING REACTIONS OF Ni/ZEOLIT, Mo/ZEOLIT, NiMo/ZEOLIT CATALYST TO PARAFFIN. Thesis. Department of Chemistry. Mathematics and Science Faculty. Sebelas Maret University

Hydrocracking reactions of paraffin with Ni and Mo metal catalyst supporting in zeolite have been carried out to compare catalyst activity between Ni and Mo metal catalyst.

The activity catalyst test was done by doing in flow reactor with ratio catalyst and feed 1:5, temperature 400°C and gas flow 30 mL/minute. The catalyst effectiveness was determined according to composition of cracking product with paraffin by time retensi of The GC was compared with GC data of parafin.

The result showed that the Ni-Mo/Zeolite catalyst activity and total conversation better which showed 47,373 % and 48,701 % than Ni/Zeolite catalyst which showed 35,493 % dan 36,293 % and Mo/Zeolite catalyst which showed 43,787 % and 45,125 % but Ni/Zeolite catalyst had more effective than Mo/Zeolite and Ni-Mo/zeolite catalyst which showed selectivity was 11,153 % than Mo/Zeolite and Ni-Mo/Zeolite catalyst which showed 4,051 % and 6,310 % in hydrocracking process of paraffin.

Key word : Activity , Hydrocracking Process of Paraffin, Ni-Mo/Zeolite Catalyst , Ni/Zeolite catalyst

MOTTO

Jika engkau menghendaki kebahagiaan dunia maka dapat dicapai dengan ilmu

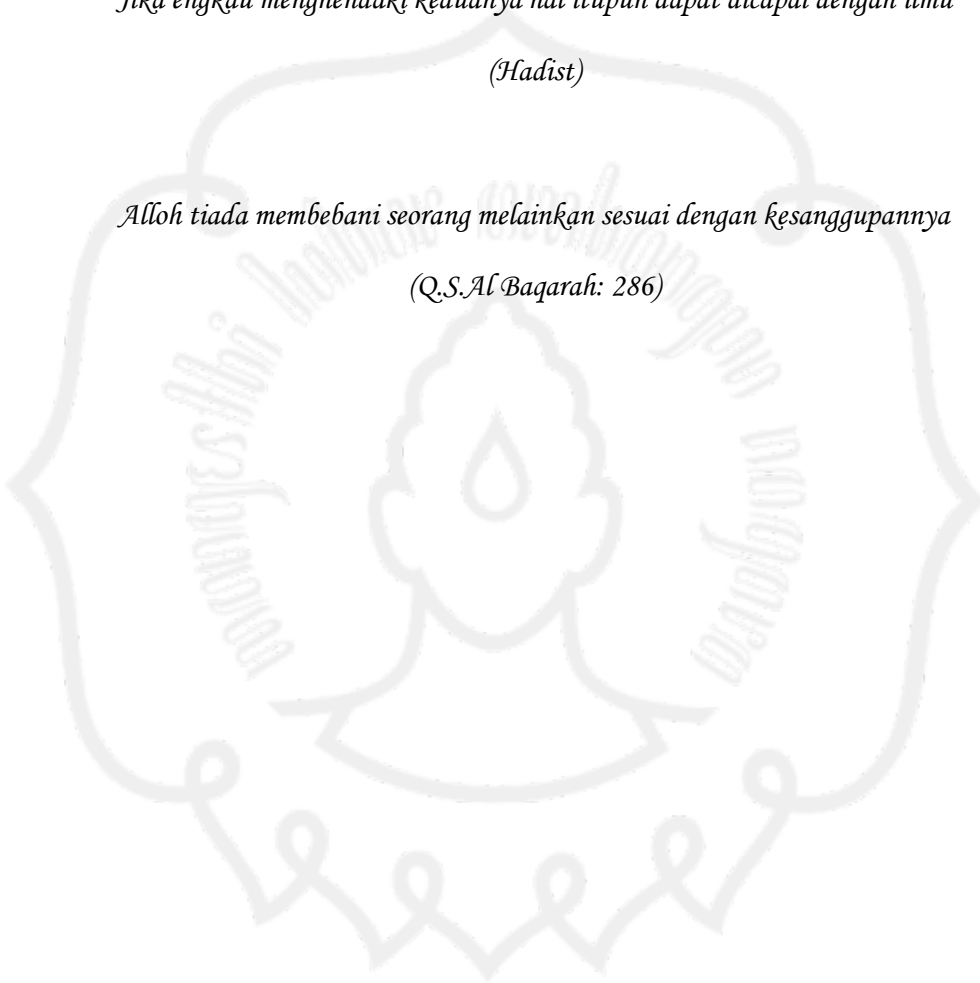
Jika menghendaki kebahagiaan akhirat hal itu dapat dicapai dengan ilmu dan

Jika engkau menghendaki keduanya hal itupun dapat dicapai dengan ilmu

(Hadist)

Allah tiada membebani seorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya

(Q.S. Al Baqarah: 286)



PERSEMBAHAN



Karya ini ku persembahkan kepada :
Yang dekat di hati Alloh SWT dan Muhammad SAW
Ayahanda Sutara tercinta di alam sana sebagai amal Jariah
Ibunda Warsinah tercinta yang tak pernah lelah berdoa
Kakakku tercinta : Tejo Sutrisno S.P dan Warsini A.Md
Adikku tercinta : Suciana A.Md dan Purwania
Kekasihku nun jauh disana

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah Puji syukur kehadiran Allah S.W.T, karena hanya dengan rahmatnya skripsi yang berjudul Aktivitas Reaksi Hidrorengkah Katalis Ni/Zeolit, Mo/Zeolit, NiMo/Zeolit Terhadap Parafin ini dapat terselesaikan dengan baik. Penyusunan Skripsi ini dimaksudkan untuk memenuhi derajat gelar sarjana kimia di Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sebelas Maret Surakarta. Skripsi yang sederhana ini tidak akan dapat terselesaikan tanpa dukungan dari pihak-pihak yang selama ini telah banyak membantu, oleh karena itu dengan segala kerendahan hati, penyusun mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Drs. Marsusi, M.S. selaku Dekan F-MIPA UNS.
2. Dr. Sentot Budi Rahardjo, Ph.D. selaku Ketua Jurusan Kimia F MIPA UNS beserta seluruh stafnya.
3. Ibu Khoirina Dwi Nugrahaningtyas, M.Si. selaku Pembimbing I yang telah membimbing dan mengarahkan penulis selama pelaksanaan penelitian dan penyusunan skripsi dari awal sampai akhir.
4. Bapak Dian Maruto Widjonarko, M.Si. selaku Pembimbing II yang juga telah membimbing dan mengarahkan penulis selama pelaksanaan penelitian dan penyusunan skripsi dari awal sampai akhir.
5. Abu Masykur, Msi. selaku Pembimbing Akademis yang telah membimbing penulis selama mengikuti pendidikan di Jurusan Kimia FMIPA UNS.
6. Dr. Rer nat Fajar Rakhman Wibowo, M.Si. selaku Ketua Sub Laboratorium Kimia Pusat UNS beserta seluruh stafnya.
7. Ibu Desi Suci Handayani, M.Si. selaku Ketua Laboratorium Kimia Dasar FMIPA UNS beserta seluruh stafnya.
8. Bapak Kepala Laboratorium Kimia Fisika FMIPA UGM.
9. Orang tua yang telah membantu secara moral dan material.
10. Semua teman-teman dan pihak-pihak yang membantu selesainya skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam penyusunan skripsi ini, namun penulis berharap semoga karya ini bermanfaat bagi kemajuan penelitian bidang kimia dan ilmu pengetahuan. Semoga Allah selalu melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya kepada kita semua, Amin.

Surakarta, Mei 2006

Siswodiharjo



DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSETUJUAN	ii
HALAMAN PERNYATAAN	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
MOTTO	vi
PERSEMBAHAN	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB I. PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Perumusan Masalah	3
1. Identifikasi Masalah	3
2. Batasan Masalah	4
3. Rumusan Masalah	4
C. Tujuan Penelitian	4
D. Manfaat Penelitian	5
BAB II. LANDASAN TEORI	6
A. Tinjauan Pustaka	6
1. Katalis.....	6
a. Pengertian	6
b. Logam Transisi Sebagai Katalis	7
2. Zeolit	11
a. Struktur.....	11
b. Pemanfaatan Sebagai Katalis Hidrorengkah	12
3. Reaksi Hidrorengkah	14
a. Pengertian.....	14

b. Hidrorengkah Termal.....	14
c. Hidrorengkah Katalitik.....	15
4. Parafin.....	16
B. Kerangka Pemikiran	18
C. Hipotesis	20
BAB III. METODOLOGI PENELITIAN	21
A. Metode Penelitian	21
B. Tempat dan Waktu Penelitian	21
C. Alat dan Bahan	21
1. Alat	21
2. Bahan	22
D. Prosedur Penelitian.....	22
A. Karakterisasi Parafin Umpan.....	22
B. Uji Aktivitas.....	22
1. Hidrorengkah Parafin Umpan secara Termal	22
2. Hidrorengkah Umpan dengan Katalis Zeolit	22
3. Hidrorengkah Umpan dengan Katalis Ni/Zeolit.....	23
4. Hidrorengkah Umpan dengan Katalis Mo/Zeolit.....	23
5. Hidrorengkah Umpan dengan Katalis NiMo/Zeolit.....	23
E. Teknik Pengumpulan Data	24
F. Teknik Analisis Data	24
BAB IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	26
A. Hasil Penelitian	26
1. Karakterisasi Parafin Umpan	26
a. Fisik	26
b. Kimia	26
2. Karakterisasi Parafin Produk	27
a. Fisik	28
b. Kimia	29
B. Pembahasan	30
1. Karakterisasi Parafin Umpan.....	30
a. Fisik.....	30

b. Kimia.....	31
2. Karakterisasi Parafin Produk	34
a. Fisik.....	34
1) Hidrorengkah Parafin secara Termal.....	34
2) Hidrorengkah Parafin dengan Zeolit.....	35
a. Hidrorengkah Parafin dengan Katalis Monometal	35
b. Hidrorengkah Parafin dengan Katalis Bimetal..	36
c. Perbandingan Konversi CHH, Konversi Kokas	
dan Konversi Total Beberapa Katalis.	36
b. Kimia.....	39
1) Hidrorengkah Parafin secara Termal.....	40
2) Hidrorengkah Parafin dengan Zeolit.....	41
3) Hidrorengkah Parafin dengan Katalis Ni/Zeolit.....	44
4) Hidrorengkah Parafin dengan Katalis Mo/Zeolit.....	47
5) Hidrorengkah Parafin dengan Katalis NiMo/Zeolit.	49
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	54
A. Kesimpulan	54
B. Saran	54
DAFTAR PUSTAKA	55
DAFTAR LAMPIRAN.....	57

DAFTAR TABEL

		Halaman
Tabel 1.	Kandungan Logam Ni dan Mo dalam Katalis.....	10
Tabel 2.	Keasaman Total Katalis.....	10
Tabel 3.	Luas Permukaan Spesifik, Volume Pori, dan Rerata Jejari Pori Katalis.....	11
Tabel 4.	Senyawa C ₅ -C ₇ dan C ₁₂ dalam CHH Polipropilene..	18
Tabel 5.	Karakter Fisik Parafin	26
Tabel 6.	Spektra FTIR Parafin Umpan	26
Tabel 7.	Komposisi Senyawa dalam Parafin	27
Tabel 8.	Fraksi Berat Hasil uji dengan Beberapa Katalis.....	28
Tabel 9.	Karakter Fisik Warna Parafin Hasil Uji Beberapa Katalis	28
Tabel 10.	Karakter Fisik Kelarutan Parafin Hasil Uji Beberapa Katalis.....	28
Tabel 11.	Senyawa C ₅ - C ₁₂ dalam CHH.....	29
Tabel 12.	Gugus-Gugus Fungsional dalam	30
Tabel 13.	CHH _{Ni} /Zeolit.....	36
	Konversi CHH, Konversi Gas, Konversi Kokas dan Konversi Total Beberapa Katalis.....	

DAFTAR GAMBAR

		Halaman
Gambar 1.	Struktur Na-Alumina silika.....	11
Gambar 2.	Struktur Ca-Alumina silika.	12
Gambar 3.	Skema Pembentukan Situs Asam Lewis	13
Gambar 4.	Skema Pembentukan Situs Asam Lewis Sebenarnya ..	13
Gambar 5.	Struktur Kerangka Beberapa Parafin	16
Gambar 6.	Rangkaian Alat Untuk Reaksi Hidrorengkah.....	23
Gambar 7.	Spektra FTIR Parafin Umpan.....	26
Gambar 8.	Spektra FTIR $\text{CHH}_{\text{Ni}/\text{Zeolit}}$	29
Gambar 9.	Kromatogram Parafin Umpan.....	32
Gambar 10.	Konversi CHH Beberapa Katalis.....	33
Gambar 11.	Konversi Kokas Beberapa Katalis.....	37
Gambar 12.	Konversi Total Beberapa Katalis.....	38
Gambar 13.	Kromatogram a). Parafin Umpan b). $\text{CHH}_{\text{Termal}}$	40
Gambar 14.	Kromatogram a). Parafin Umpan b). $\text{CHH}_{\text{Termal}}$	42
	c). $\text{CHH}_{\text{Zeolit}}$	
Gambar 15.	Spektra FTIR a). Produk b). Parafin Umpan.....	44
Gambar 16.	Kromatogram a) Parafin Umpan b). $\text{CHH}_{\text{Termal}}$	
	c). $\text{CHH}_{\text{Zeolit}}$ d) $\text{CHH}_{\text{Ni}/\text{Zeolit}}$	46
Gambar 17.	Kromatogram a). Parafin Umpan b). $\text{CHH}_{\text{Mo}/\text{Zeolit}}$	
	c). $\text{CHH}_{\text{Zeolit}}$ d). $\text{CHH}_{\text{Termal}}$	48
Gambar 18.	Kromatogram a). $\text{CHH}_{\text{Mo}/\text{Zeolit}}$ b). $\text{CHH}_{\text{NiMo}/\text{Zeolit}}$	
	c). $\text{CHH}_{\text{Ni}/\text{Zeolit}}$	50

DAFTAR LAMPIRAN

		Halaman
Lampiran 1.	Diagram Alir Prosedur Penelitian.....	57
Lampiran 2.	Perhitungan Konversi Total, Konversi Kokas, Konversi Gas, Konversi CHH, Aktivitas Katalis dan Selektivitas	58
Lampiran 3.	Perhitungan Hasil Spiking N-Pentane dan N- Heksana.....	62
Lampiran 4.	Kondisi Operasi Kromatografi Gas	68
Lampiran 5.	Kromatogram Parafin Umpan	70
Lampiran 6.	Kromatogram CHH _{Termal}	71
Lampiran 7.	Kromatogram CHH _{Zeolit}	72
Lampiran 8.	Kromatogram CHH _{Ni/Zeolit}	73
Lampiran 9.	Kromatogram CHH _{Mo/Zeolit}	74
Lampiran 10.	Kromatogram CHH _{NiMo/Zeolit}	75
Lampiran 11.	Kromatogram GC-MS Parafin.....	76
Lampiran 12.	Kromatogram Polipropilene.....	77
Lampiran 13.	Kromatogram CHH _{NiMo/Zeolit} dengan Spiking N- Pentane dan N-Heksana.....	78
Lampiran 14.	Spektra Spektra FTIR Parafin Umpan.....	79
Lampiran 15.	Spektra Inframerah CHH _{produk}	80
Lampiran 16.	Spektra Massa Senyawa dengan Waktu Retensi 21,592 Menit	81
Lampiran 17.	Spektra Massa Senyawa dengan Waktu Retensi 23,808 Menit	82
Lampiran 18.	Spektra Massa Senyawa dengan Waktu Retensi 24,658 Menit	83
Lampiran 19.	Spektra Massa Senyawa dengan Waktu Retensi 25,475 Menit	84
Lampiran 20.	Spektra Massa Senyawa dengan Waktu Retensi 26,258 Menit	85

**Reaksi hidrorengkah katalis
Ni/ zeolit , mo/zeolit, nimo/zeolit terhadap parafin**

Siswodiharjo

M0300043

**BAB I
PENDAHULUAN**

A. Latar Belakang

Bahan bakar minyak merupakan bahan bakar utama saat ini, namun karena jumlahnya yang terbatas minyak bumi yang digunakan secara terus menerus akan habis. Salah satu solusi untuk mengatasi masalah ini dengan memanfaatkan kembali minyak fraksi berat tertentu antara lain : petroleum, minyak diesel, tir batubara dan parafin sehingga menjadi minyak fraksi lebih ringan. Beberapa penelitian yang menggunakan senyawa karbon dalam bentuk fraksi berat antara lain: Nasution *et al* (1999), berhasil melakukan reaksi hidrorengkah minyak berat diesel (diesel oil) dengan katalis Ni-Mo/Al₂O₃-SiO₂. Salah satu produk minyak fraksi hasil hidrorengkahnya adalah rangkaian senyawa hidrokarbon dengan 1 cincin lingkaran. Ginanjar (2002), berhasil melakukan hidrorengkah pada tir batubara menjadi fraksi bensin menggunakan katalis Cr/Zeolit. Trisunaryanti (1995), berhasil melakukan hidrorengkah terhadap parafin dengan menggunakan katalis krom yang diimbangkan pada zeolit alam. Reaksi hidrorengkah merupakan salah satu proses katalitik yang penting di dalam industri dan penelitian kimia. Proses hidrorengkah dapat mengubah fraksi berat senyawa parafin menjadi fraksi ringannya.

Parafin merupakan senyawa hidrokarbon yang sangat potensial untuk dikonversi menjadi fraksi yang ringan karena parafin mengandung senyawa-senyawa hidrokarbon dengan jumlah atom karbon per molekul dalam parafin sekitar 20-36 atom. Pada reaksi hidrorengkah senyawa parafin sangat mungkin

digunakan sebagai umpan untuk memperoleh produk dengan jumlah atom karbon yang lebih sedikit dengan menggunakan katalis tertentu.

Katalis dengan aktivitas hidrogenokatalitik yang tinggi mempunyai kriteria aktif, stabil, sensitif terhadap perubahan panas, mudah diregenerasi dan mempunyai kekuatan mekanik, dapat dipenuhi dengan mengembankan katalis dalam sistem logam-pengemban sehingga logam-logam diembankan dapat berlaku sebagai situs aktif yang dapat berfungsi sebagai katalis. Umumnya logam-logam aktif yang sering digunakan adalah logam-logam transisi.

Salah satu katalis logam transisi yang telah banyak digunakan pada industri kimia adalah Nikel (Ni). Katalis nikel yang diembankan pada pengemban berguna sebagai katalis hidrogenasi yang dapat mengubah etana menjadi etilen (Heracleous dan Lemonidou, 2003). Logam transisi lainnya yang juga banyak digunakan sebagai katalis adalah Molibdenum (Mo). Molibdenum yang diembankan pada pengemban digunakan sebagai katalis hidrogenokatalitik dan desulfurisasi pada berbagai model reaksi (Egorova, 2003). Logam Ni dan Mo umumnya diembankan pada suatu pengemban untuk meningkatkan efektivitas katalis logam tersebut.

Salah satu bahan pengemban yang memiliki kriteria tersebut, juga murah secara ekonomi dan tersedia dalam berbagai macam ukuran dan distribusi pori serta memiliki permukaan yang cukup luas dibandingkan dengan lainnya adalah zeolit (Augustine, 1996). Zeolit sebagai pengemban berfungsi untuk menebarkan logam-logam aktif katalis sehingga dapat dipergunakan secara efektif. Syarifah (2001), menggunakan katalis pengemban dengan terlebih dulu melakukan aktivasi kemudian kalsinasi dengan dialiri gas N_2 pada suhu $500^\circ C$, oksidasi dengan gas O_2 pada suhu $400^\circ C$ dan direduksi dengan aliran gas H_2 pada suhu $400^\circ C$. Proses aktivasi secara fisika dan kimia dapat meningkatkan kemampuan zeolit sebagai katalis. Zeolit alam yang diberi perlakuan asam, uap air dan pengemban logam akan menghasilkan destilat relatif lebih banyak dan kokas relatif rendah. Zeolit alam yang sudah teraktivasi dan termodifikasi dengan pengemban menghasilkan katalis dengan karakter yang berbeda.

Logam Ni dan Mo yang diembankan pada zeolit dapat digunakan secara sendiri-sendiri (*monometal*) atau dalam bentuk campuran (*bimetal*) (Anderson and

Boudart , 1984). Pengembanan logam transisi pada suatu pengemban dapat juga meningkatkan selektivitas katalis (Satterfield, 1980). Katalis bimetal akan mempunyai aktivitas dan selektivitas yang lebih tinggi daripada katalis monometal. Hal ini ditunjukkan oleh penelitian Wada (1996), yang menggunakan katalis Pd/Zeolit Y, Ni/Zeolit Y, dan dan memodifikasi Ni/Zeolit Y dengan logam paladium yang diembankan kemudian. Katalis Pd-Ni/Zeolit Y memiliki aktivitas yang paling tinggi dibanding dua katalis lain pada hidorengkah fenantren dan pirene.

Fitrianto (2005), telah melakukan pengembanan logam Ni dan Mo pada zeolit alam aktif sehingga diperoleh katalis *monometal* dan *bimetal* dengan metode impregnasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa berdasarkan kandungan logam dan keasaman total, pengembanan dengan satu jenis logam (*monometal*) lebih efektif yaitu sebesar 1,127 (b/b) dan 1,177 % mmol/gram dibandingkan pengembanan dua jenis logam (*bimetal*) yang hanya sebesar 0,646 (b/b) dan 0,294 % mmol/gram.

Mengacu pada pemaparan di atas akan dilakukan uji hidorengkah untuk mengetahui aktivitas katalis logam Ni dan Mo yang teremban pada zeolit hasil sintesis Fitrianto (2005) dalam mengubah senyawa hidrokarbon dengan berat molekul lebih besar menjadi senyawa hidrokarbon lebih kecil dengan senyawa parafin sebagai model. Pemilihan parafin sebagai senyawa model reaksi hidorengkah didasarkan pada adanya proses pemutusan β untuk menghasilkan molekul parafin yang lebih kecil.

B. Perumusan Masalah

1. Identifikasi Masalah

Dalam penelitian ini, masalah yang diidentifikasi meliputi :

1. Jenis Katalis, ada berbagai jenis katalis logam transisi yang digunakan dalam reaksi hidorengkah katalitik.

2. Jenis parafin umpan yang digunakan.
3. Kondisi reaksi hidrorengkah, tergantung pada laju alir gas hidrogen, adanya katalis, massa katalis dan temperatur reaktor hidrorengkah.
4. Karakterisasi parafin umpan dan cairan hasil hidrorengkah, dengan menggunakan Kromatografi Gas, Spektroskopi Massa, dan Spektroskopi Inframerah.

2. Batasan Masalah

Berdasarkan identifikasi masalah tersebut, maka dibuat batasan masalah sebagai berikut:

- a. Jenis katalis logam transisi yang digunakan adalah hasil sintesis Fitrianto.
- b. Parafin umpan yang digunakan dari E. Merck
- c. Kondisi reaksi hidrorengkah dilakukan dalam reaktor sistem alir dengan gas H₂ dengan laju 30 mL/menit. hidrorengkah dilakukan dengan variasi rasio umpan– katalis 5 : 1 temperatur 400° C .
- d. Karakterisasi parafin umpan dan cairan hasil hidrorengkah menggunakan kromatografi gas. Kromatogram dari kromatografi gas digunakan untuk penentuan konversi total dan selektivitas pembentukan fraksi ringan, data penunjang berupa analisis Spektroskopi Inframerah untuk mengetahui gugus fungsi yang ada, dan Spektroskopi Massa untuk mengetahui jenis molekul yang dihasilkan.

3. Rumusan Masalah

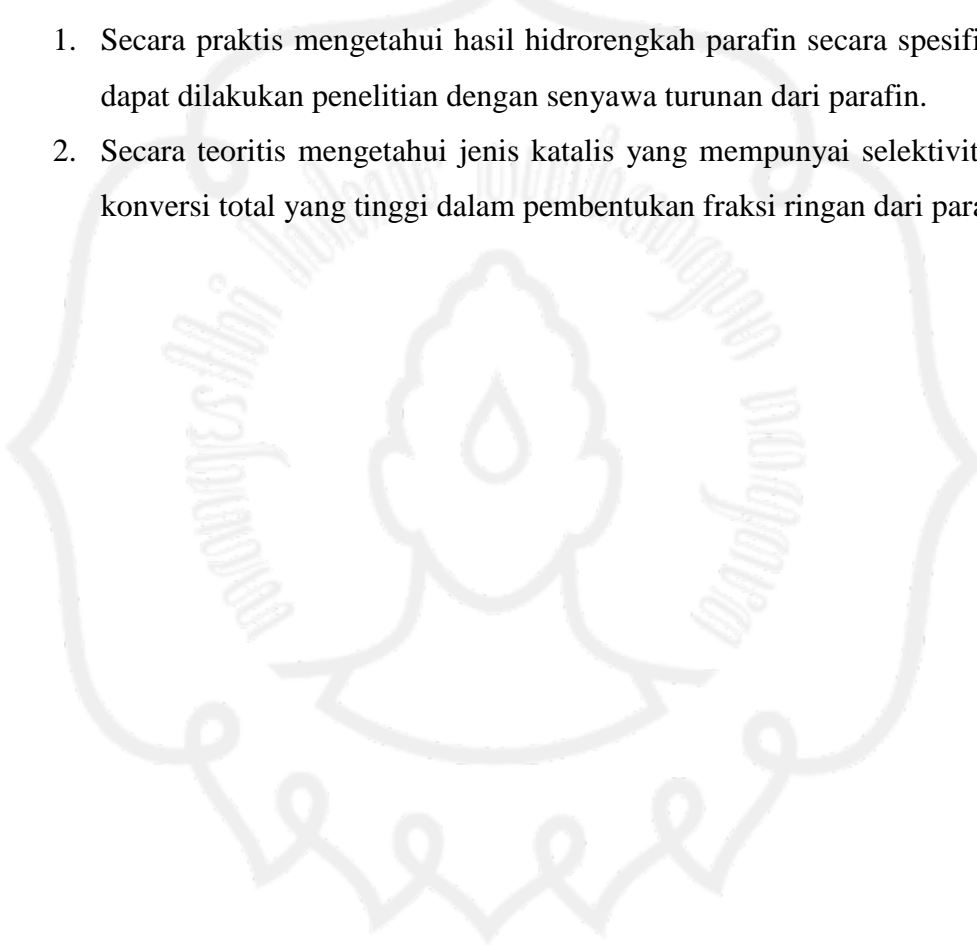
- a. Apakah katalis logam Ni, Mo dan Ni-Mo (*bimetal*) yang teremban pada zeolit mempunyai aktivitas untuk merubah parafin menjadi fraksi yang lebih ringan ?
- b. Apakah katalis logam Ni, Mo dan Ni-Mo (*bimetal*) yang teremban pada zeolit mempengaruhi selektivitas pembentukan fraksi ringan dan konversi total hasil hidrorengkah parafin?

C. Tujuan Penelitian

1. Mengetahui aktivitas katalis logam Ni, Mo dan Ni-Mo (*bimetal*) yang teremban pada zeolit untuk merubah parafin menjadi fraksi yang lebih ringan.
2. Mengetahui pengaruh jenis katalis terhadap selektivitas pembentukan fraksi ringan dan konversi total dari reaksi hidrorengkah parafin.

D. Manfaat Penelitian.

1. Secara praktis mengetahui hasil hidrorengkah parafin secara spesifik agar dapat dilakukan penelitian dengan senyawa turunan dari parafin.
2. Secara teoritis mengetahui jenis katalis yang mempunyai selektivitas dan konversi total yang tinggi dalam pembentukan fraksi ringan dari parafin.



BAB II

LANDASAN TEORI

A. Tinjauan Pustaka

Pada sub bab ini akan diuraikan kajian-kajian pustaka yang mendukung pada penelitian. Kajian pustaka ini berupa teori-teori atau penelitian yang telah dilakukan sebelumnya yang mendasari penelitian yang dilakukan

1. Katalis

a. Pengertian

Definisi katalis, pertama kali dikemukakan oleh Ostwald, yaitu suatu substansi yang mengubah laju suatu reaksi kimia tanpa mengubah besarnya energi yang menyertai reaksi tersebut. Menurut Wilkinson (1989) dan Sukarjo (1997) katalis adalah zat yang dapat mempengaruhi kecepatan reaksi, akan tetapi zat tersebut tidak mengalami perubahan kimia pada akhir reaksi sedangkan menurut Gates (1992) katalis didefinisikan sebagai substansi yang meningkatkan tercapainya kesetimbangan suatu reaksi kimia tanpa ikut bereaksi.

Menurut Smith (1994), katalis berdasarkan pada fase-fasenya digolongkan dalam katalis homogen (fase yang sama dengan campuran reaksinya) dan heterogen (fase yang berbeda dengan campuran reaksinya).

Beberapa faktor yang menentukan aktivitas katalis antara lain kuat ikatan, sisi aktif, dan koordinasi. Katalis umumnya bekerja dengan membentuk ikatan

kimia dengan satu atau lebih reaktan. Pembentukan ikatan kimia antara adsorbat dengan permukaan katalis dan pemutusan ikatan tersebut pada langkah berikutnya merupakan langkah utama dalam katalisis heterogen. Ikatan kimia yang terlalu lemah mengakibatkan absorpsi kimia tidak akan terjadi, sedangkan ikatan terlalu kuat mengakibatkan desorpsi akan sukar terjadi.

Proses katalisis berhubungan dengan luas permukaan katalis yang dapat berfungsi sebagai situs adsorpsi. Adsorpsi pada permukaan katalis agar dapat berlangsung harus mempunyai energi aktivasi yang relatif rendah dan mampu membentuk spesies permukaan yang reaktif. Reaksi dilakukan sesuai dengan energi yang dibutuhkan untuk pemutusan ikatan yang dihasilkan dari pembentukan ikatan yang sesuai. Energi yang terlalu besar dalam suatu reaksi akan berpengaruh terhadap pemutusan ikatan yang mengakibatkan pembentukan ikatan yang tidak diharapkan sedangkan energi yang terlalu kecil kurang mendukung proses pemutusan ikatan karena energi yang dibutuhkan tidak memadai.

Adsorbat atau reaktan, untuk terjadinya adsorpsi dengan permukaan, memerlukan adanya valensi bebas atau orbital kosong pada permukaan adsorben, sehingga terdapat jumlah minimum koordinasi atom permukaan. Umumnya katalis heterogen lebih disukai daripada homogen karena pemisahan dan penggunaan kembali katalis setelah reaksi lebih mudah dilakukan (Triyono, 1994).

Pada katalis heterogen, variabel lebih dipusatkan pada sifat-sifat kimia permukaan. Karakter utama untuk menentukan katalis yang akan dipakai dalam suatu reaksi adalah sifat-sifat reaktan, produk yang terlibat dalam reaksi, dan sifat-sifat permukaan katalisator yang mencakup sifat kimia dan fisiknya. Katalis heterogen yang sering digunakan dalam sebuah reaksi berupa katalis logam-pengemban. Katalis logam-pengemban dapat berupa *monometal*, *bimetal* dan sebagainya.

Reaksi katalis heterogen untuk sistem logam pengemban pada umumnya menggunakan logam-logam transisi yang memiliki elektron orbital d yang tidak berpasangan sehingga dapat menghasilkan satu atau lebih valensi bebas atau

orbital d pada permukaan dimana reaktan akan teradsorpsi secara spesifik pada orbital tersebut sehingga terjadi reaksi yang diharapkan (Triyono, 1994).

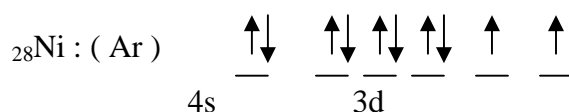
b. Logam Transisi Sebagai Katalis

Logam transisi sering digunakan sebagai katalis heterogen. Logam transisi tersebut bersifat asam dan berperan dalam reaksi perpindahan elektron. Logam transisi yang digunakan sebagian besar adalah logam golongan VIII B.

Sifat-sifat kimia dan fisika unsur golongan transisi sangat ditentukan oleh orbital d. Fungsi logam transisi dalam suatu reaksi katalitik adalah untuk mengatomisasi molekul-molekul diatomik dan kemudian memberikan atom tersebut kepada reaktan lainnya atau intermediet reaksi.

Kemampuan logam transisi dalam mengkatalisis reaksi sangat berkaitan dengan keberadaan elektron-elektron pada orbital d yang berbaaur dengan keadaan elektronik pada orbital s dan p yang terdekat. Akibatnya akan timbul keadaan elektronik berenergi rendah dalam jumlah besar dan orbital kosong yang sangat ideal untuk reaksi katalisis. Situs-situs yang memiliki keadaan elektronik *degenerate* dalam jumlah besar adalah situs-situs paling aktif dalam pemutusan dan pembentukan ikatan. Keadaan elektronik seperti ini mempunyai muatan, konfigurasi, dan spin yang fluktuatif dan hal ini terjadi pada situs-situs logam dengan bilangan koordinasi yang besar (Hegedus, 1987).

Salah satu logam transisi golongan VIII^B yang biasa digunakan adalah Nikel. Nikel merupakan logam putih perak yang keras, liat, dan sangat kuat. Nikel melebur pada suhu 1455°C dan bersifat paramagnetik. Logam ini mempunyai bilangan oksidasi yang bervariasi, tetapi yang paling umum adalah 2+. Nikel dalam sistem periodik unsur memiliki nomor atom 28 dan mempunyai elektron terluar pada orbital d dengan konfigurasi elektron [Ar]3d⁸4s²



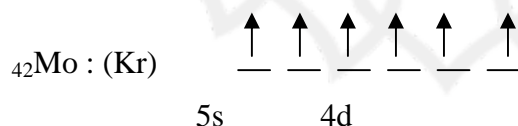
Logam Nikel mempunyai orbital 3d yang belum penuh maka, sesuai aturan Hund, terdapat elektron–elektron yang tidak berpasangan pada orbital d. Keadaan

ini menentukan sifat-sifat nikel yaitu sifat magnetik, struktur padatnya dan kemampuan logam Nikel dalam membentuk senyawa kompleks. Fenomena ini menjadikan logam nikel mudah membentuk ikatan kovalen koordinat sehingga pembentukan senyawa antara pada permukaan katalis menjadi lebih mudah.

Penempatan komponen aktif logam ke dalam sistem pori pengemban adalah dengan menggunakan garam-garam logamnya, seperti garam klorida, sulfat, nitrat, atau oksalat. Logam nikel yang biasa digunakan adalah garam nitrat yaitu $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (Augustine, 1996)

Berdasarkan sifat – sifat logam nikel, maka sebagai komponen aktif sistem katalis nikel-pengemban, nikel sangat efektif dalam menjamin keberhasilan reaksi katalitik. Nikel secara luas digunakan sebagai katalis hidrogenasi jadi permukaan logam katalis berfungsi sebagai mengikat ion hidrida dan menambah proton pada reaksi yang selanjutnya terjadi kontak langsung yang efektif antara umpan dan hidrogen sehingga proses hidrogenasi berlangsung menghasilkan produk. Salim (2001) telah melakukan pengembanan logam Nikel pada zeolit Y untuk membuat katalis hidrorengkah n-heksadekana. Pengembanan nikel tidak hanya dilakukan pada zeolit, tetapi juga pada bahan pengemban lain seperti alumina.

Logam transisi lain yang juga bisa digunakan adalah Molibdenum. Molibdenum merupakan logam yang relatif inert, atau sedikit bereaksi dengan larutan asam dan alkali. Logam ini memiliki titik leleh 2610°C dengan tingkat oksidasi -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5 dan 6. Molibdenum merupakan unsur transisi golongan VI dengan memiliki konfigurasi elektron $[\text{Kr}] 4d^5 5s^1$



Berdasarkan konfigurasi tersebut molibdenum dapat diketahui juga memiliki orbital 4d setengah penuh sehingga terdapat elektron – elektron yang tidak berpasangan. Penempatan komponen aktif logam molibdenum ke dalam sistem pori pengemban biasanya menggunakan garam amoniumnya yaitu $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot \text{H}_2\text{O}$ (Lee, 1984).

Molibdenum luas pemakaiannya dalam reaksi katalitik baik dalam bentuk logam murni, oksida logam atau dikombinasikan dengan logam lain dan pengemban (Willkinson, 1989). Logam ini satu golongan dengan logam Cr yang memiliki orbital d kosong pada orbitalnya, logam Cr selama ini biasa digunakan sebagai katalis hidrogenasi dan hidrorengkah.

Logam Molibdenum sering digunakan dalam berbagai pengemban antara lain : silica, alumina dan zeolit. Logam Mo yang teremban pada zeolit sering digunakan dalam proses hidrorengkah sebagai katalis hidrodesulfurisasi.

Logam Ni dan Mo yang diemban pada zeolit dapat digunakan secara sendiri-sendiri (*monometal*) atau bersama-sama (*bimetal*). Fitrianto (2005) telah berhasil mensintesis katalis Ni dan Mo, baik secara *monometal* maupun *bimetal* dengan karakter katalis sebagai berikut :

1. Kandungan Logam

Penambahan logam Mo pada zeolit akan menurunkan kandungan logam Ni, tetapi penambahan logam Ni tidak mengurangi kandungan logam Mo. Pengembanan logam Mo ke dalam zeolit telah mendesak logam Ni untuk lepas dari dalam zeolit. Sesuai dengan sifatnya, yaitu ukuran Mo lebih kecil ($0,68^{\circ}\text{A}$) daripada ukuran Ni ($0,69^{\circ}\text{A}$) maka logam Mo lebih mampu menempati pori-pori zeolit dibanding dengan logam Ni. Kandungan logam Ni dan Mo dalam beberapa katalis dapat dilihat pada Tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1. Kandungan logam Ni dan Mo dalam Katalis

Katalis	Ni (b/b)(%)	Mo (b/b)(%)
Zeolit	0,6114	0,0085
Ni/Zeolit	1,2189	0,0086
Mo/Zeolit	0,1380	0,6920
NiMo/Zeolit	0,2020	0,4440

(Fitrianto, 2005)

2. Keasaman Total

Kompetisi antar logam Ni dan Mo pada saat impregnasi logam ke dalam situs-situs kerangka padatan zeolit dapat mengakibatkan terjadinya sintering atau penggumpalan logam sehingga situs asam pada logam tersebut yang berfungsi

pada situs aktif berkurang dan menurunkan keasaman total katalis. Keasaman total beberapa katalis dapat dilihat pada Tabel 2 di bawah ini.

Tabel 2. Keasaman Total Katalis

Katalis	Keasaman Total (mmHg ⁻¹)
Zeolit	0,5882
Ni/Zeolit	1,1765
Mo/Zeolit	0,3529
NiMo/Zeolit	0,2941

(Fitrianto, 2005)

3. Luas permukaan, Volume pori dan Rerata jejari pori

Proses pengembangan yang baik dalam arti terdistribusi secara merata dan tidak menutupi lubang pori, maka akan diperoleh luas permukaan yang besar, tetapi jika proses pendistribusian tersebut tidak merata, maka akan terjadi sintering atau penggumpalan logam pada sebagian permukaan zeolit yang mengakibatkan terjadinya penurunan luas permukaan, volume pori total dan rerata jejari pori. Luas permukaan spesifik, volume pori dan rerata jejari pori untuk beberapa katalis dapat dilihat pada Tabel 3 dibawah ini.

Tabel 3. Luas Permukaan Spesifik, Volume Pori dan Rerata Jejari Pori Katalis

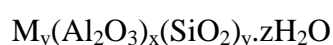
Katalis	Luas Permukaan (m ² /g)	Volume pori (10 ⁻³ cm ³ /g)	Rerata jejari pori (°A)
Zeolit	36,2029	31,2111	17,2423
Ni/Zeolit	32,8242	25,7286	15,6766
Mo/Zeolit	21,5966	19,1124	17,6994
NiMo/Zeolit	24,8214	19,7690	15,9289

(Fitrianto, 2005)

2. Zeolit

a. Struktur

Zeolit adalah kristal aluminosilikat yang mempunyai kerangka tiga dimensi yang tersusun dari tetrahedral SiO₄ dan AlO₄ yang bergabung melalui atom oksigen (Augustin,R.L.,1996). Zeolit mempunyai rumus umum sebagai berikut :



Dimana :

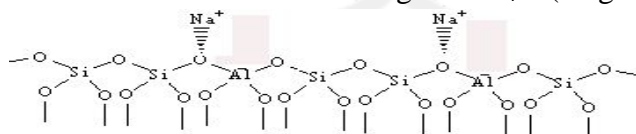
M = kation bermuatan satu (natrium dan ammonium)

V = x, untuk kation bervalensi 1

V = $\frac{1}{2}x$, untuk kation bervalensi 2

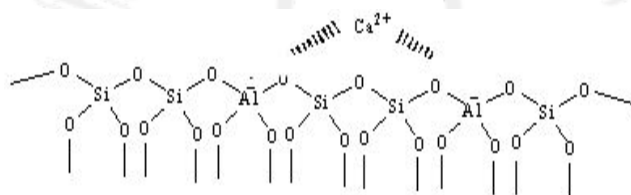
Diantara mineral-mineral alam yang termasuk jenis ini adalah mordenit dan faujasite yang telah banyak digunakan untuk katalis (Triyono, 1994).

Zeolit mengandung kation di kerangka luar, biasanya Na^+ , untuk mempertahankan kenetralan listrik dengan AlO_4^- (Augustine, 1996).



Gambar 1. Struktur Na-alumina silika .

Kation Na^+ yang dapat dipertukarkan terletak dekat AlO_4^- tetrahedral karena muatan negatif dominan pada daerah tersebut (Gates, 1992). Ketika Na^+ ditukar dengan Ca^{2+} , strukturnya diperlihatkan dalam gambar 2.



Gambar 2. Struktur Ca-alumina silika

Ion Ca^{2+} berkeselimbangan dengan dua AlO_4^- tetrahedral. Di dalam zeolit, muatan negatif tidak diletakkan pada satu atau dua tetrahedral tetapi didistribusikan diseluruh kerangka ion oksigen. Zeolit dengan konsentrasi H^+ yang tinggi bersifat hidrofilik, mempunyai aktivitas yang kuat terhadap molekul polar kecil yang masuk kedalam pori-pori sedangkan zeolit dengan konsentrasi H^+ rendah bersifat hidrofobik, mempunyai aktivitas terhadap senyawa organik yang berasal dari campuran air - organik (Gates,1992).

b. Pemanfaatan sebagai Katalis Hidrorengkah

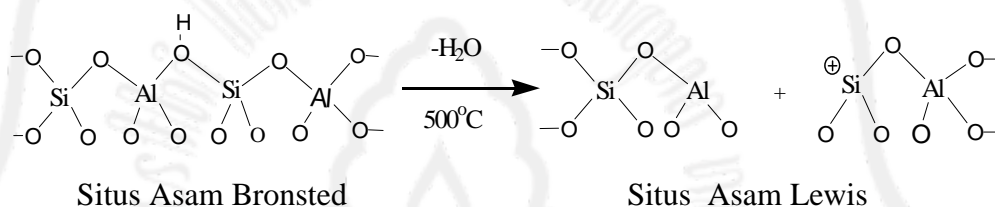
Penggunaan penting dari zeolit adalah sebagai katalis heterogen. Kebanyakan katalis zeolit digunakan dalam penyulingan minyak bumi, misalnya penggunaan zeolit Y yang ultrastabil dalam hidrorengkah katalitik.

Zeolit digunakan sebagai katalis dalam proses hidreregangkah karena memiliki kriteria sebagai berikut:

1) Mempunyai situs asam yang aktif (Dyer, 1998)

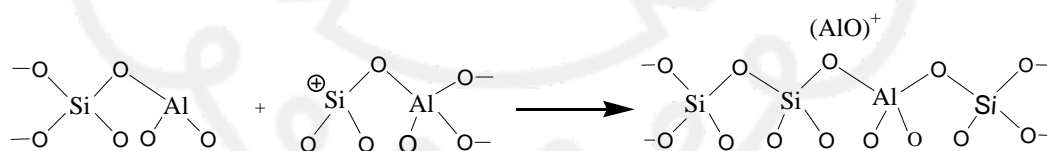
Zeolit mempunyai situs asam Bronsted yang ditimbulkan oleh gugus hidroksil dalam struktur pori zeolit. Gugus hidroksil biasanya dibentuk dengan pertukaran kation amonium atau polivalen diikuti oleh kalsinasi.

Hidrogen berikatan dengan oksigen membentuk gugus hidoksil yang menggambarkan situs asam Bronsted. Zeolit terprotonasi melalui pemanasan lebih lanjut akan terjadi dehidroksilasi struktur membentuk situs asam Lewis yang ditunjukkan oleh gambar 3.



Gambar 3. Skema pembentukan situs asam Lewis.

Situs Lewis tersebut belum stabil, karena masih adanya uap air. Ia dapat distabilkan dengan mengeluarkan Al dari kerangka membentuk situs Lewis sebenarnya yang diperlihatkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Skema pembentukan situs asam Lewis yang sebenarnya.

2) Selektivitasnya tinggi terhadap reaktan (Dyer, 1998)

Zeolit dengan ukuran pori yang spesifik memiliki sifat selektif dalam mengadsorpsi molekul. Suatu molekul dapat teradsorpsi secara baik dalam rongga zeolit. Sifat – sifat zeolit yang demikian, spesifik untuk satu jenis zeolit dan mengacu pada sifat kristalin sebagai suatu adsorben. Selama proses katalisis, sifat ini akan menghasilkan selektivitas katalis yang tinggi.

3) Stabil terhadap pemanasan tinggi.

Reaksi hidrorengkah adalah reaksi endoterm sehingga umumnya membutuhkan temperatur yang tinggi maka diperlukan katalis yang mempunyai stabilitas terhadap kerusakan struktur pori pada pemanasan tinggi.

4) Luas permukaannya yang besar.

Reaksi katalitik berlangsung pada permukaan katalis sehingga semakin besar luas permukaan katalis maka makin banyak molekul yang dapat mengadakan reaksi katalitik. Luas permukaan yang besar disebabkan banyaknya pori yang berkaitan erat proses difusi reaktan untuk mencapai sisi aktif zeolit sehingga proses hidrorengkah dapat berjalan efektif.

3. Reaksi Hidrorengkah

a) Pengertian

Reaksi hidrorengkah adalah proses pemecahan ikatan karbon-karbon pada hidrokarbon yang mempunyai berat molekul besar menjadi berat molekul kecil sehingga lebih berguna dengan adanya gas H_2 (Olah *et al*, 1995). Reaksi hidrorengkah dilakukan dengan 2 cara yaitu hidrorengkah termal dan hidrorengkah katalitik.

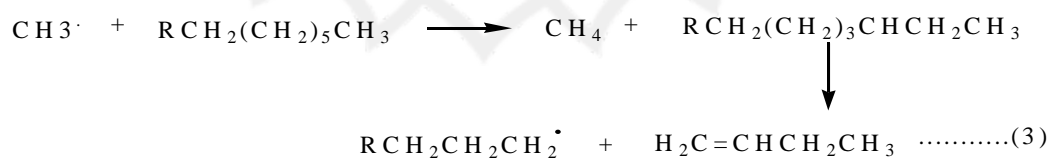
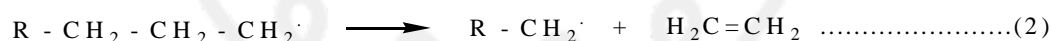
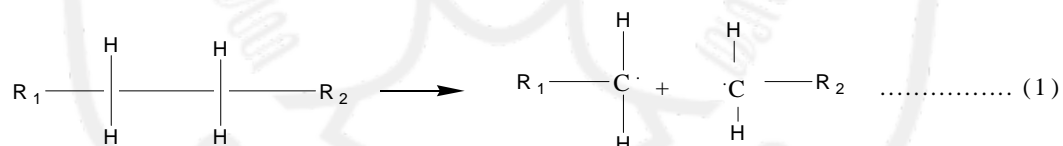
Pelaksanaan perengkahan tergantung pada alat, bahan dan cara pemanasan. Hidrorengkah dengan reaktor secara *batch* sering digunakan untuk mengolah bahan dalam jumlah kecil atau untuk proses katalitik. Umpan dan katalisator bersama-sama dipanaskan dalam reaktor dan uap yang dihasilkan diembunkan dengan alat pendingin. Hidrorengkah dengan sistem *Flow* sering digunakan untuk proses termal dan katalitik. Umpan dan katalis ditempatkan secara terpisah pada reaktor kemudian bersama-sama dipanaskan serta gas dialirkan dengan kecepatan tertentu dimana gas sebagai pembawa umpan. Gas yang sering digunakan dalam proses perengkahan ini antara lain: Hidrogen dan Nitrogen. Perengkahan dengan adanya gas H_2 disebut hidrorengkah (*hydrocracking*).

b) Hidrorengkah termal

Reaksi hidorengkah yang dilakukan hanya dengan perlakuan temperatur tinggi serta adanya gas H₂ disebut hidorengkah termal. Hidorengkah termal terjadi disebabkan lepasnya ikatan sigma karbon-karbon sehingga molekul terpecah menjadi fragmen-fragmen radikal bebas. Tahap fragmentasi ini disebut homolisis termal yang merupakan tahap inisiasi bagi sederetan reaksi radikal bebas (Pudjaatmaka, 1988). Hidrokarbon akan menjalani hidorengkah termal melalui pembentukan radikal bebas pada temperatur tinggi. Tahap awal berupa pemecahan homolitik pada ikatan C-C yang ditunjukkan pada persamaan 1.

Radikal-radikal tersebut dapat membentuk etilene dan radikal primer selanjutnya. Menurut aturan β empiris, pemutusan ikatan terjadi pada ikatan C-C yang posisinya β terhadap atom C yang memiliki elektron yang tidak berpasangan. Persamaan 2 menggambarkan terjadinya pemutusan ikatan C-C.

Radikal primer yang baru terbentuk akan menjalani pemutusan β sehingga menghasilkan etilene dan radikal dalam jumlah atom C yang lebih kecil sampai radikal metil terbentuk. Radikal metil akan mengambil radikal hidrogen sehingga terbentuk metana dan radikal sekunder. Radikal sekunder ini akan menghasilkan olefin dan radikal primer kembali yang diperlihatkan pada persamaan 3 (Gates, 1979).



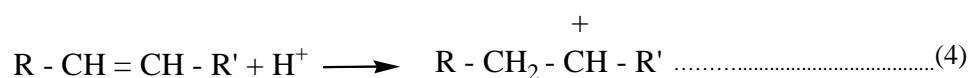
R₁ = Gugus Methyl

R₂ = Gugus Ethyl

R = Gugus Propyl

c) Hidorengkah Katalitik

Hidrorengkah katalitik terjadi melalui pembentukan ion karbenium. Ion karbenium atau karbokation ini dapat terbentuk melalui berbagai jalan, diantaranya melalui interaksi antara asam kuat dengan olefin [persamaan (4)] (Gates, 1992).



R' = Gugus Ethyl

Bersamaan dengan reaksi hidrorengkah, ion karbenium juga mengalami reaksi isomerisasi (Gates, 1992) dan polimerisasi (Olah *et al*, 1995). Kestabilan karbenium meningkat seiring dengan urutan karbenium tersier > sekunder > primer > metil. Hal ini menyebabkan karbenium primer memiliki kecenderungan untuk berisomerisasi menjadi karbenium sekunder atau tersier melalui penataan ulang yang melibatkan baik pergeseran hidrogen maupun pergeseran metil (Gates, 1992)

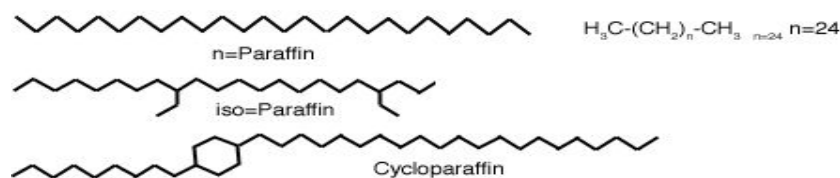
4. Parafin

Minyak bumi terutama terdiri dari hidrokarbon dan sejumlah kecil sulfur, nitrogen, oksigen dan hidrogen dalam bentuk senyawa organik. Hidrokarbon dalam minyak bumi terutama dalam bentuk parafin, senyawa cincin aromatis dan naphthane (cincin jenuh dengan 5 atau 6 atom C dalam cincin).

Minyak bumi berdasarkan komposisinya dibagi menjadi parafin basa dan aspal basa mentah, serta senyawa yang memiliki sifat diantara keduanya. Parafin basa mentah mengandung sejumlah parafin (alkana), rantai lurus atau bercabang. Aspal basa mentah mengandung sejumlah senyawa dengan berat molekul tinggi, non volatil yang dapat terpisah dengan pelarut menjadi fraksi dalam bentuk resin dan aspal (Satterfield, 1980).

Parafin adalah suatu senyawa hidrokarbon rantai panjang dengan rumus molekul $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$. Parafin mempunyai titik didih ± 204 °C dan titik leleh sekitar 46-68 °C. Jumlah atom karbon per molekul dalam parafin sekitar 20-36 atom. Berat molekul yang dimiliki oleh parafin antara 350-420 gram/mol. Parafin tidak hanya terdiri dari rantai lurus hidrokarbon saja, tetapi juga terdapat suatu cabang

atau bahkan struktur lingkaran dalam rangkaian hidrokarbonnya, seperti terlihat pada Gambar 1.



Gambar 5. Struktur kerangka Beberapa Parafin (Othmer, 1997)

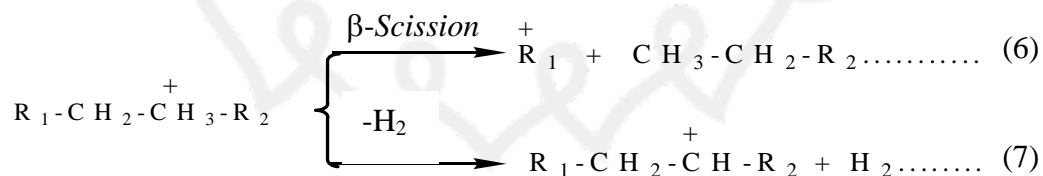
Secara molekular reaksi hidorengkah katalitik parafin dibagi menjadi dua yaitu: mekanisme pembentukan ion karbonium dan mekanisme pembentukan ion karbenium (Haag dan Dessau, 1984; Pines; 1981 dalam Macedonia, 2000) Mekanisme pertama adalah monomolekuler atau hidorengkah protolitik yang meliputi protonasi langsung parafin oleh situs asam Bronsted untuk membentuk ion karbenium dapat ditunjukkan dalam [persamaan (5)]



Z = Zeolit

$\text{R}_2 = \text{CH}_3\text{CH}_2(\text{CH}_2)_n-$

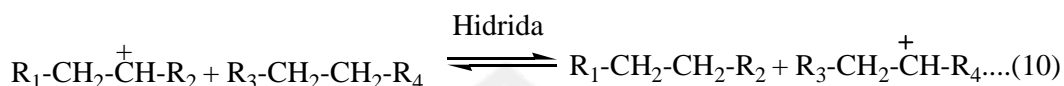
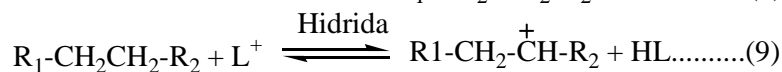
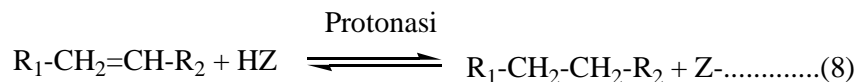
Ion karbonium ini dapat membentuk molekul hidrogen dan ion karbenium atau parafin dan ion karbenium yang lebih kecil [persamaan (6) dan (7)]



Mekanisme (6 dan 7) diketahui sebagai mekanisme bimolekuler yang terjadi melalui pembentukan ion karbenium (pine, 1981; Haag *et al*, 1991 dalam Macedonia, 2000).

Tahap reaksi dimulai dengan protonasi olefin atau aromatik pada situs asam Bronsted (Weitkamp, 1999), juga melalui transfer hidrida dari parafin atau alkyl aromatik pada situs asam Lewis [persamaan (8) dan (9)](Satterfield,1980) dan

melalui transfer hidrida dari reaktan ke ion karbenium yang sudah terbentuk [persamaan(10)]



Ion karbonium yang sudah terbentuk dapat mengalami pemutusan rantai pada posisi β (pemutusan ikatan C-C pada lokasi β) untuk membentuk olefin dan ion karbenium baru [persamaan (12)] (Weitkamp, 1999)



Penentuan senyawa hidrokarbon yang memiliki jumlah atom karbon 5-12 dapat dilakukan menggunakan metode *spiking*. Metode *Spiking* merupakan metode untuk mengetahui kandungan suatu senyawa yang ada dalam cuplikan dengan menambahkan senyawa standar. Nurcahyo (2005) menentukan senyawa C₅-C₇ dan C₁₂ dalam cairan hasil hidrorengkah sampel sampah plastik polipropilene dengan metode *spiking* menggunakan senyawa standar N-Pentana, N-Heksana, N-Heptana dan Dodekana dengan waktu retensi untuk C₅-C₇ dan C₁₂ dengan menggunakan alat Kromatografi Gas dengan kondisi operasi sebagai berikut : temperatur kolom 40-280° C, kenaikan temperatur 10° C/menit, kecepatan gas alir 40 mL/menit. Senyawa C₅-C₇ dan C₁₂ yang terdapat dalam Cairan Hasil Hidrorengkah Polipropilene disajikan pada Tabel 4 di bawah ini.

Tabel 4. Senyawa C₅-C₇ dan C₁₂ dalam CHH Polipropilene

Senyawa	Waktu Retensi
C ₅	3,385
C ₆	3,983
C ₇	5,156
C ₁₂	14,821

(Nurcahyo, 2005)

B. Kerangka Pemikiran

Parafin yang diperoleh dari fraksi minyak bumi merupakan sumber hidrokarbon yang dapat diubah menjadi fraksi ringan melalui proses hidrorengkah. Hidrorengkah terjadi karena adanya interaksi antara hidrokarbon dengan situs asam Bronsted atau Lewis melalui mekanisme pembentukan ion karbenium dan mekanisme pembentukan ion karbonium. Ion karbenium dibentuk oleh protonasi ikatan tak jenuh seperti olefin oleh situs asam Bronsted atau transfer hidrida dari alkana pada situs asam Lewis. Ion karbonium dibentuk oleh protonasi alkana oleh situs asam Bronsted, ion karbenium dan ion karbonium kemudian mengalami pemutusan β untuk menghasilkan molekul parafin yang lebih kecil.

Pengembangan logam Ni dan Mo pada zeolit alam aktif dapat meningkatkan sifat katalitiknya. Kemampuan logam transisi dalam mengkatalisis reaksi sangat berkaitan dengan keberadaan elektron-elektron pada orbital d yang berbau dengan keadaan elektronik pada orbital s dan p yang terdekat. Akibatnya akan timbul keadaan elektronik berenergi rendah dalam jumlah besar dan orbital kosong yang sangat ideal untuk reaksi katalisis. Situs-situs asam yang memiliki tingkat energi yang sama dalam satu orbital dalam jumlah besar adalah situs-situs paling aktif dalam pemutusan dan pembentukan ikatan.

Keberadaan logam transisi Ni dan Mo akan meningkatkan keasaman sampel katalis. Logam transisi tereduksi menjadi logam bersifat asam yang dikarenakan memiliki elektron yang belum berpasangan pada orbital d. Katalis *bimetal* mempunyai situs asam yang lebih banyak daripada katalis *monometal*. Hal ini dikarenakan pada katalis *bimetal* terdapat dua jenis logam yang mampu menyumbangkan situs asam Lewis, sedangkan katalis *monometal* hanya terdapat satu jenis logam. Keasaman total katalis akan meningkatkan aktivitas katalis karena semakin banyak situs asam Lewis dalam katalis maka makin banyak proton yang diterima rantai hidrokarbon untuk membentuk ion karbonium sehingga produk yang dihasilkan lebih banyak.

Zeolit yang sudah teremban logam Ni secara luas digunakan sebagai katalis hidrogenasi. Katalis Ni memiliki aktivitas katalis yang lebih rendah daripada katalis Mo karena logam Ni memiliki konfigurasi elektron yang belum penuh lebih sedikit dibandingkan logam Mo sehingga logam Mo mampu menerima pasangan elektron yang lebih banyak dibandingkan Ni. Logam Mo yang yang diemban bersama-sama dengan logam Ni pada zeolit diharapkan akan meningkatkan luas permukaan spesifik dan mendukung kinerja logam Ni sebagai katalis hidrogenasi sehingga reaksi hidrogenasi dapat berlangsung secara efektif.

Luas permukaan spesifik dan jari-jari pori yang makin besar juga meningkatkan aktivitas katalis. Hal ini disebabkan semakin besar Luas permukaan spesifik dan jari-jari pori katalis maka kontak umpan dengan permukaan katalis juga makin besar sehingga reaktan yang masuk pada pori-pori katalis lebih banyak dan hidrogenasi berlangsung lebih efektif.

Pengembanan logam Ni dan Mo terhadap sampel katalis dapat membentuk katalis bimetal yang mempunyai aktivitas, konversi total dan selektivitas fraksi ringan yang lebih besar daripada apabila logam tersebut digunakan sendiri-sendiri. Katalis logam Ni dan Mo yang teremban pada zeolit akan menghasilkan aktivitas, konversi total dan selektivitas fraksi ringan yang berbeda-beda dalam proses hidrogenasi parafin karena masing-masing katalis memiliki perbedaan keasaman total, luas permukaan spesifik dan jari-jari pori katalis.

C. Hipotesa

1. Aktivitas katalis logam NiMo/Zeolit paling tinggi pada reaksi hidrogenasi parafin.
2. Jenis katalis akan mempengaruhi selektivitas fraksi ringan dan konversi total reaksi hidrogenasi senyawa uji parafin.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

A. Metode Penelitian

Metode penelitian yang dilakukan adalah metode eksperimental di laboratorium. Secara garis besar penelitian ini terdiri dari dua tahap yaitu Tahap I meliputi karakterisasi parafin umpan. Tahap II uji aktivitas katalis pada reaksi hidrorengkah Parafin. Prosedur yang dilakukan untuk tahap I dan II mengacu pada penelitian Nasution *et al* (1999). Karakterisasi untuk CHH dan parafin umpan adalah analisis Kromatografi Gas, dan sebagai data penunjang digunakan analisis Spektroskopi Inframerah dan Spektroskopi Massa.

B. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di laboratorium Pusat Universitas Sebelas Maret Sub Laboratorium Kimia dan Laboratorium Kimia Fisika Universitas Gadjah Mada Yogyakarta yang dilakukan mulai bulan Maret sampai Juli 2005.

C. Alat dan Bahan

1. Alat-alat

- a. Neraca analitik Sartorius A6 Gottigen
- b. *Furnace* type KB 62 C FRAME 60 A
- c. Pengukur laju alir gas H₂
- d. Pemanas listrik
- e. Reaktor Hidrorengkah

- f. Kromatografi Gas (*Gas chromatography = GC*)-Spektroskopi massa (*Mass Spectroscopy*) merk Hewlett Pacard 5890 Series II
- g. *Themolyne Digital Pyrometer*
- h. *Fourier Transformation Infra Red (FTIR)*
- i. Seperangkat Alat Gelas
- j. Piknometer

2. Bahan-bahan

- a. Katalis Zeolit, Ni/Zeolit, Mo/Zeolit dan Ni-Mo/Zeolit dari hasil sintesis Fitrianto (2005).
- b. Gas N₂, O₂, H₂ (PT. Samator)
- c. Es dan garam
- d. Parafin (E.Merck)
- e. Ether Teknis (PT. Asia Lab)

D. Prosedur Penelitian

A. Karakterisasi Parafin Umpan

Karakterisasi parafin dilakukan dengan mengambil sampel parafin secukupnya untuk analisis Spektroskopi Inframerah, Kromatografi Gas, dan Spektroskopi massa di Laboratorium Kimia Organik Universitas Gadjah Mada Yogyakarta.

B. Uji Aktivitas

1). Hidrorengkah Parafin Umpan Tanpa Katalis (Hidrorengkah Termal)

Proses hidrorengkah parafin umpan dilakukan dengan reaktor sistem alir, tanpa menggunakan katalis. Parafin umpan sebanyak 7,5 g dimasukkan ke dalam reaktor. Reaktor kemudian dipanaskan hingga suhu 400 °C, dan setelah panasnya konstan. Reaktor dipanaskan sampai umpan menguap sambil dialiri gas H₂ dengan laju alir 30 mL/menit. Proses hidrorengkah dilakukan sampai CHH (Cairan Hasil Hidrorengkah) tidak menetes lagi. Hasil hidrorengkah kemudian dilewatkan pada sistem pendingin berupa campuran es dan garam, dan ditampung

dalam penampung. Hasil hidrorengkah yang diperoleh disebut Cairan Hasil Hidrorengkah (CHH).

2). Hidrorengkah Umpan dengan Zeolit

Proses hidrorengkah umpan dilakukan dengan reaktor sistem alir, dengan katalis dan umpan (*feed*) diletakkan pada reaktor yang berbeda. Katalis Zeolit sebanyak 1 g diletakkan dalam reaktor katalis dan 7,5 g umpan dimasukkan ke dalam reaktor umpan. Reaktor dipanaskan hingga suhu 400 °C, dan setelah panasnya konstan, reaktor umpan dipanaskan sampai umpan menguap sambil dialiri gas H₂ dengan laju alir 30 mL/menit. Proses hidrorengkah dilakukan samapai CHH tidak menetes lagi. Hasil hidrorengkah kemudian dilewatkan pada sistem pendingin berupa campuran es dan garam, dan ditampung dalam penampung.

3). Hidrorengkah umpan dengan katalis Ni/Zeolit

Analog dengan langkah pada hidrorengkah umpan pada 2, hanya saja katalis Zeolit diganti dengan katalis Ni/Zeolit.

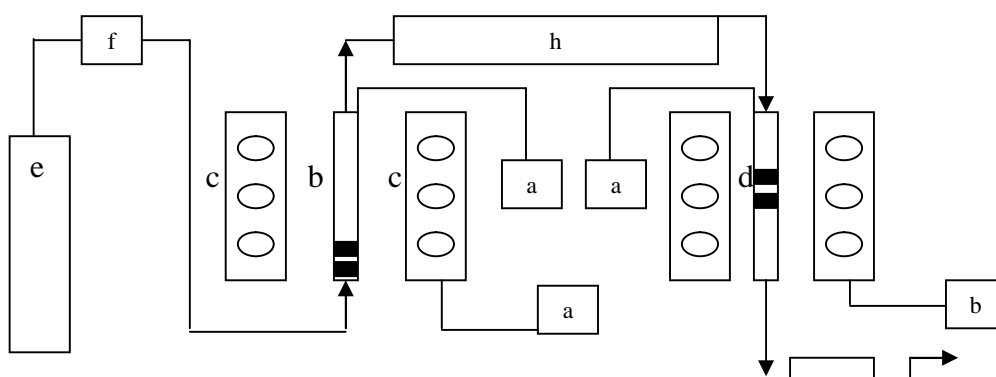
4). Hidrorengkah umpan dengan katalis Mo/Zeolit

Analog dengan langkah pada hidrorengkah umpan pada 2, hanya saja katalis Zeolit diganti dengan katalis Mo/Zeolit.

5). Hidrorengkah umpan dengan katalis NiMo/Zeolit

Analog dengan langkah pada hidrorengkah umpan pada 2, hanya saja katalis Zeolit diganti dengan katalis NiMo/Zeolit.

Rangkaian alat untuk reaksi hidrorengkah ditunjukkan pada Gambar 6.





Gambar 6. Skema Reaktor Hidrorengkah (Uemichi *et al*, 1999)

Keterangan:

- | | |
|------------------------|--------------------|
| a. Pengukur temperatur | b. Reaktor umpan |
| c. Furnace | d. Reaktor katalis |
| e. Gas H ₂ | f. Flowmeter |
| g. Penampung | h. Pemanas nikelin |

1. Karakterisasi Parafin Umpan

Parafin umpan dianalisis dengan menggunakan Spektroskopi Inframerah , Kromatografi Gas dan Spektroskopi massa.

2. Uji aktivitas

Hasil reaksi hidrorengkah dianalisis menggunakan Spektroskopi Inframerah, Kromatografi Gas (GC) untuk mengetahui komponen penyusun Cairan Hasil Hidrorengkah (CHH).

F. Teknik Analisis Data

1. Parafin umpan dianalisis dengan menggunakan Spektroskopi Inframerah untuk mengetahui gugus fungsi parafin, Kromatografi Gas (GC) untuk mengetahui komponen penyusun parafin, dan Spektroskopi massa untuk mengetahui jenis senyawa.
2. Efektivitas katalis Zeolit, Ni/Zeorlit, Mo/Zeorlit dan Ni-Mo/Zeorlit terhadap hidrorengkah parafin setelah dikoreksi dengan hidrorengkah termal dilakukan dengan membandingkan kromatogram Cairan Hasil Hidrorengkah (CHH) dengan kromatogram parafin dengan aktivitas katalis terbaik pada waktu retensi yang lebih pendek. Hasil uji hidrorengkah katalis Zeolit, Ni/Zeorlit, Mo/Zeorlit dan Ni-Mo/Zeorlit terhadap hidrorengkah parafin meliputi : Analisis data distribusi produk hidrorengkah dan Analisis data GC dengan menggunakan rumus 1 sampai 6 sebagai berikut:
 - a) Analisis data distribusi produk hidrorengkah

Berat umpan = Berat Cairan + Berat Kokas + Berat Gas + Berat Residu

$$\text{Konversi CHH} = \frac{\text{Berat (Cairan - Sisa)}}{\text{Berat Umpan}} \times 100\% \dots\dots\dots(1)$$

$$\text{Konversi Kokas} = \frac{\text{Berat Kokas}}{\text{Berat Umpan}} \times 100\% \dots\dots\dots(2)$$

$$\text{Konversi Gas} = \frac{\text{Berat (Umpan - (Cairan + Kokas + Residu))}}{\text{Berat Umpan}} \times 100\% \dots\dots(3)$$

b) Analisis data GC

$$\text{Aktivitas} = \frac{\text{Berat(CHH + Gas)}}{\text{BeratUmpan}} \times 100\% \dots\dots\dots(4)$$

$$\text{KonversiTotal} = \frac{\text{Berat(CHH + Gas + Kokas)}}{\text{BeratUmpan}} \times 100\% \dots\dots\dots(5)$$

$$\text{Selektivitas} = \frac{\text{Luas area Fraksi Bensin}}{\text{Luas area total}} \times 100\% \dots\dots\dots(6)$$

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN A. HASIL PENELITIAN

A. Karakterisasi Parafin Umpan

a. Fisik

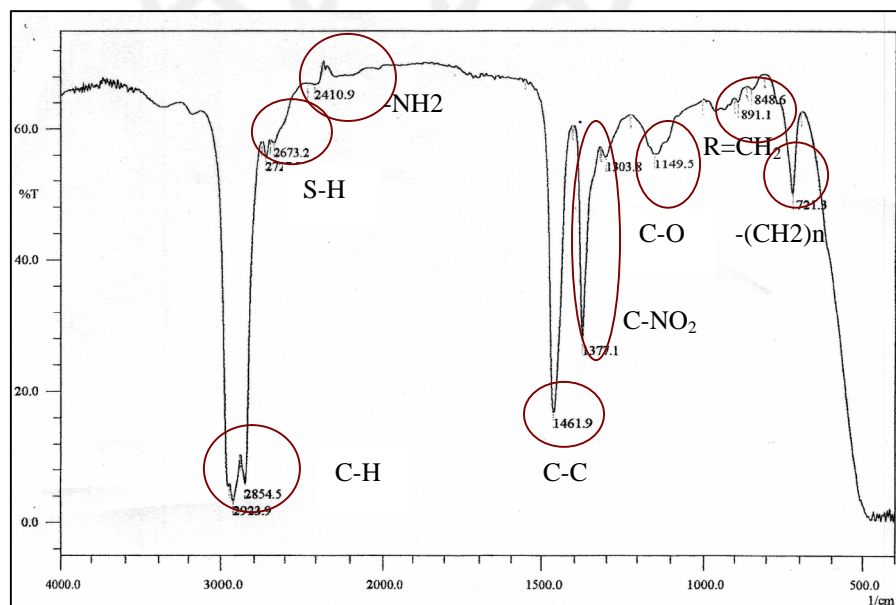
Karakter fisik parafin yang diamati meliputi bentuk, warna, kelarutan, titik didih dan titik lebur. Data mengenai sifat fisik parafin tersebut ditunjukkan oleh Tabel 5.

Tabel 5. Karakter fisik parafin

Karakter	Keterangan
Wujud	Cair
Kelarutan	Tidak larut dalam air, larut dalam pelarut ether
Warna	Putih kekuningan

b. Kimia

Karakter kimia parafin yang diamati meliputi komposisi senyawa, gugus fungsi dan jenis senyawa. Data spektra IR dari gugus-gugus fungsi yang ada pada parafin umpan disajikan pada Gambar 7 dan dapat dilihat pada Lampiran 14 serta Tabel 6 dibawah ini.



Gambar 7. Spektra FTIR Parafin Umpan

Tabel 6. Spektra IR parafin umpan

Jenis Senyawa	Gugus Fungsi	Standar (cm ⁻¹)	Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)	
Alkana	C-H (alkana)	2962- 2853	2923,9	
	C-H (alkana)		2854,5	
Gugus senyawa pengotor	S-H (Sulfur)	2750 - 2500	2727,2	
	S-H (Sulfur)		2673,2	
	-NH ₂	2525 - 2400	2410,9	
	C-C (aril)	1600- 1450	1461,9	
	-C-NO ₂ (Nitro aromatik)		1390 - 1300	1377,1
				1303,8
	-C-O	1300-900	1149,5	
	RC=CH ₂	1000-800	891,1	
RC=CH ₂		848,6		
Alkana	-(CH ₂) _n (senyawa lain)	810-720	721,3	

Data dengan Spektroskopi Massa untuk mengetahui jenis senyawa yang terdapat didalam parafin umpan disajikan pada Tabel 7 dan spektra lengkapnya dapat dilihat pada lampiran 16-20.

Tabel 7. Komposisi Senyawa dalam Parafin

Waktu Retensi	Parafin						
	C ₂₅	C ₂₆	C ₂₇	C ₂₈	C ₂₉	C ₃₀	C ₃₁
21,592	C ₂₅ H ₅₂	-	-	-	-	-	-
23,808	C ₂₅ H ₅₂	-	-	-	-	-	-
24,658	-	-	-	C ₂₈ H ₅₈	-	-	-
25,475	C ₂₅ H ₅₀	-	-	-	-	-	-
26,258	-	-	-	-	-	-	-

B. Karakterisasi Parafin Produk

Karakter fisik dan kimia senyawa hasil uji hidrorengkah menggunakan katalis Zeolit, Ni/Zeolit, Mo/Zeolit dan NiMo/Zeolit disajikan data berikut ini :

1. Fisik

Senyawa hasil uji termal terdiri dari Cairan Hasil Hidrorengkah (CHH), gas tanpa pembentukan kokas. Fraksi Berat Hasil uji dengan Beberapa Katalis disajikan pada Tabel 8 di bawah ini. Berat gas diperoleh berdasarkan hasil perhitungan bukan hasil pengamatan.

Tabel 8. Fraksi Berat Hasil uji dengan Beberapa Katalis

Produk		Berat (g)			
		Cairan	Residu	Kokas	Gas*
Termal		3,244	0,457	0,000	3,799
Katalitik	Zeolit	2,140	0,876	0,100	4,384
	Ni/Zeolit	5,831	0,000	0,100	1,569
	Mo/Zeolit	3,683	0,610	0,100	3,107
	NiMo/Zeolit	2,474	1,673	0,100	3,253

* = Hasil perhitungan

Karakter fisik warna CHH hasil uji termal dan Katalitik dari beberapa katalis relatif sama yaitu putih kekuningan yang disajikan pada Tabel 9 di bawah ini.

Tabel 9. Karakter Fisik Warna Parafin Hasil Uji Beberapa Katalis

Perlakuan		Karakter	Warna
		Tanpa Katalis	
Jenis Katalis	Zeolit	Putih Kekuningan	
	Ni/Zeolit	Putih Kekuningan	

	Mo/Zeolit	Putih Kekuningan
	NiMo/Zeolit	Putih Kekuningan

Karakter fisik kelarutan CHH hasil uji termal dan Katalitik dari beberapa katalis relatif sama yaitu larut dalam pelarut ether yang disajikan pada Tabel 10 di bawah ini.

Tabel 10. Karakter Fisik Kelarutan Parafin Hasil Uji Beberapa Katalis

Karakter		Kelarutan
Perlakuan		
Tanpa Katalis		Larut dalam ether
Jenis Katalis	Zeolit	Larut dalam ether
	Ni/Zeolit	Larut dalam ether
	Mo/Zeolit	Larut dalam ether
	NiMo/Zeolit	Larut dalam ether

2. Kimia

Komposisi senyawa Cairan Hasil Hidrorengkah (CHH) parafin juga menunjukkan adanya senyawa-senyawa karbon seperti senyawa C_5-C_{12} yang didukung oleh data *spiking* dengan menggunakan senyawa polipropilene sebagai pembanding. Senyawa C_5-C_{12} yang terkandung di dalam CHH (Cairan Hasil Hidrorengkah) dapat dilihat pada Tabel 11 di bawah ini.

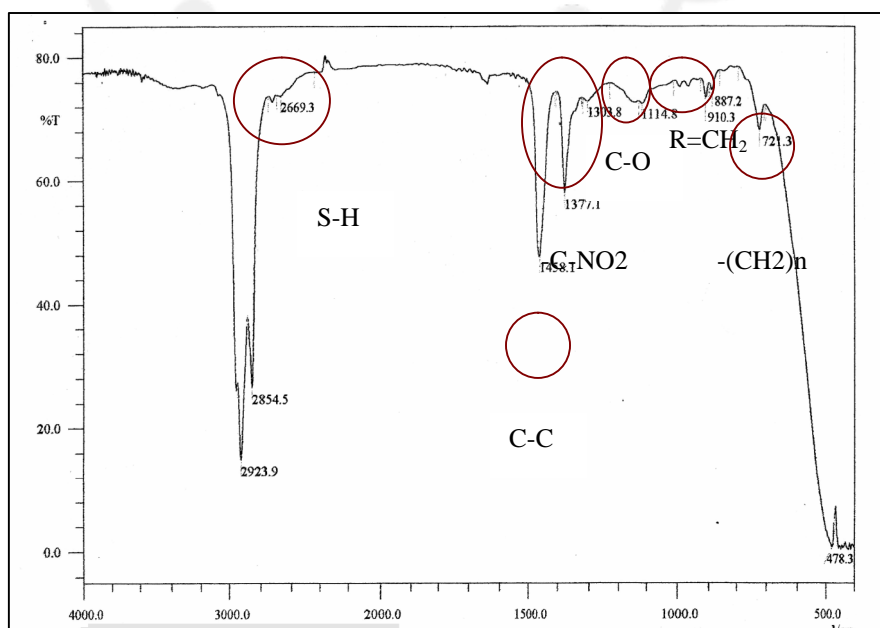
Tabel 11. Senyawa C₅ - C₁₂ dalam CHH

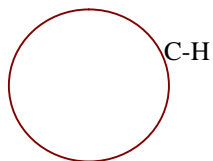
Jenis Senyawa Perlakuan		Rantai Karbon							
		C ₅	C ₆	C ₇ *	C ₈ *	C ₉ *	C ₁₀ *	C ₁₁ *	C ₁₂ *
Tanpa Katalis		√	√	√	√	√	-	√	√
Jenis Katalis	Zeolit	-	-	-	-	-	√	√	√
	Ni/Zeolit	√	√	√	√	√	√	√	√
	Mo/Zeolit	-	√	√	√	√	-	-	√
	NiMo/Zeolit	√	-	√	√	√	√	√	√

√ = ada

* = senyawa yang diduga terdapat dalam CHH

Data spektra IR dari gugus-gugus fungsi yang ada CHH dapat dilihat pada Gambar 8 dan dapat dilihat pada Lampiran 15 serta disajikan pada Tabel 12 di bawah ini.



Gambar 8. Spektra FTIR $\text{CHH}_{\text{Ni/Zeolit}}$ Tabel 12. Gugus-Gugus Fungsional dalam $\text{CHH}_{\text{Ni/Zeolit}}$

Jenis Senyawa	Gugus Fungsional	Bilangan Gelombang cm^{-1}	
		Standar	$\text{CHH}_{\text{Ni/Zeolit}}$
Alkana	C-H (alkana)	2962- 2853	2923,9
			2854,5
Gugus senyawa pengotor	S-H (Sulfur)	2750 - 2500	- 2669,3
	-NH ₂	2400	-
	C-C (aril)	1600- 1450	1458,1
	-C-NO ₂ (nitro aromatik)	1390 - 1300	1377,1
			1303,8
	-C-O	1300-900	1114,8
	RC=CH ₂	1000-800	910,3
887,2			
Alkana	-(CH ₂) _n (Senyawaan lain)	810-720	721,3

B. PEMBAHASAN

1. Karakterisasi Parafin Umpan

Karakterisasi umpan dimaksudkan untuk mengetahui karakter fisik dan kimia guna memperoleh bukti dan memperinci komponen dalam parafin umpan.

a. Fisik

Parafin umpan yang memiliki karakter fisik yaitu berwujud cair yang mengindikasikan bahwa senyawa tersebut memiliki rantai karbon panjang. Hal ini sesuai dengan Othmer (1997) yang menyatakan bahwa parafin umpan merupakan senyawa yang berbentuk cair memiliki jumlah atom karbon 20-36. Parafin adalah salah satu senyawa organik memiliki rantai hidrokarbon panjang dengan rumus molekul Parafin C_nH_{2n+2} .

Parafin umpan memiliki berwarna bening yang mengindikasikan bahwa umpan yang digunakan mengandung senyawa hidrokarbon (alkana) sedangkan senyawa pengotor seperti sulfur, alkena, nitro aromatik, ether dan amin yang terdapat pada parafin umpan relatif sedikit sehingga tidak mempengaruhi warna.

Parafin umpan mudah larut dalam pelarut ether sehingga gaya tarik antar molekul lemah. Kelarutan ini disebabkan oleh gaya tarik Van der Waals antara pelarut dan zat terlarut, semakin besar gaya tarik Van Der Waals antara pelarut dan zat terlarut maka kelarutan semakin baik.

Berdasarkan tinjauan data fisik yang meliputi wujud, warna, dan kelarutan sudah mengindikasikan bahwa senyawa umpan yang digunakan benar parafin tetapi belum mengindikasikan jenis parafin, untuk itu perlu dilakukan uji lebih lanjut untuk mengetahui secara mendetail karakter kimia yang ada pada Parafin umpan tersebut.

b. Kimia

Karakter fisik diperoleh mengindikasikan bahwa parafin umpan adalah benar parafin. Karakterisasi secara kimia dilakukan untuk mengetahui detail parafin umpan yang meliputi komposisi senyawa, gugus fungsi dan jenis senyawa.

Analisis Spektra Inframerah untuk mengetahui gugus fungsional pada parafin umpan diperlihatkan pada Tabel 2 menunjukkan jenis-jenis gugus fungsional yang terdapat dalam parafin.

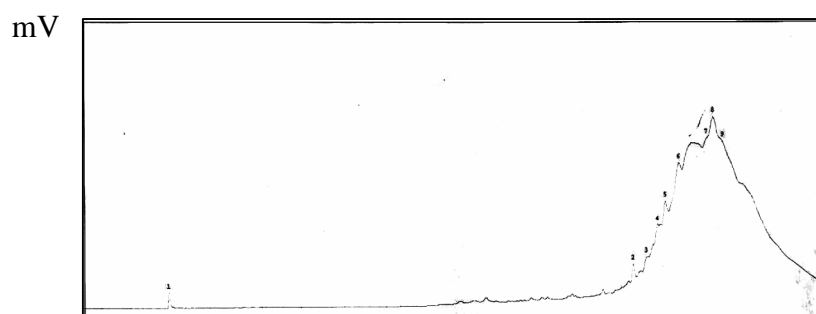
Tabel 6. Jenis gugus fungsional yang terdapat pada parafin

Jenis Senyawa	Gugus Fungsi	Standar (cm^{-1})	Bilangan Gelombang (cm^{-1})
---------------	--------------	-----------------------	----------------------------------

Alkana	C-H (alkana)	2962- 2853	2923,9	
	C-H (alkana)		2854,5	
Gugus senyawa pengotor	S-H (Sulfur)	2750 - 2500	2727,2	
	S-H (Sulfur)		2673,2	
	-NH ₂	2525 - 2400	2410,9	
	C-C (aril)	1600- 1450	1461,9	
	-C-NO ₂ (Nitro aromatik)		1390 - 1300	1377,1
				1303,8
	-C-O	1300-900	1149,5	
	RC=CH ₂	1000-800	891,1	
	RC=CH ₂		848,6	
Alkana	-(CH ₂) _n (senyawa lain)	810-720	721,3	

Berdasarkan Gambar diatas terdapat beberapa serapan seperti C-H (alkana), S-H (Sulfur), -NH₂, C-C (aril), -C-NO₂ (Nitro aromatik), -C-O, RC=CH₂, -(CH₂)_n (senyawa lain). Serapan yang tajam pada kisaran bilangan gelombang 2923,9 dan 2854,5 cm⁻¹, ialah gugus C-H pada alkana rantai lurus. Puncak serapan pada kisaran 2727,2 dan 2673,2 cm⁻¹ menunjukkan adanya gugus S-H. Puncak serapan pada ~ 2410,9 cm⁻¹ menunjukkan adanya serapan nitrogen (NH₂). Puncak serapan pada kisaran 1461,9 cm⁻¹ menunjukkan adanya gugus C-C. Puncak serapan pada 891,1 dan 848,6 cm⁻¹ menunjukkan adanya serapan C=C (alkena). Puncak serapan pada ~ 722 cm⁻¹ menunjukkan adanya gugus -(CH₂)_n. Hal ini mengindikasikan bahwa parafin umpan memiliki beberapa komponen senyawa penyusun alkana dengan beberapa senyawa pengotor yang memiliki gugus sulfur, amin, nitro aromatik, ether, dan alkena. Berdasarkan data spektroskopi FTIR menunjukkan bahwa parafin umpan memiliki rantai lurus dan masih terdapat senyawa pengotor.

Parafin umpan yang telah dianalisis dengan spektroskopi Inframerah kemudian dianalisis dengan Kromatografi Gas untuk mengetahui komponen penyusunnya ditunjukkan pada Gambar 9. Data selengkapnya disajikan pada Lampiran 5.



0 10 20 30 min

Gambar 9. Kromatogram Parafin Umpan

Berdasarkan kromatogram di atas meskipun kromatogram kurang dapat ditunjukkan dengan baik, pada *range* 22,070 menit sampai 25,683 menunjukkan adanya 8 senyawa dengan waktu retensi yang berbeda dalam parafin.

Posisi puncak pada sumbu waktu (menit) dapat digunakan untuk mengidentifikasi komponen parafin sedang luas puncak merupakan ukuran kuantitatif tiap komponen. Jumlah puncak yang terdapat pada kromatogram menunjukkan jumlah komponen yang terdapat dalam parafin. Waktu retensi yang ditunjukkan merupakan petunjuk kualitatif.

Jenis senyawa yang ada dalam parafin umpan dapat diketahui secara terperinci dengan analisis Spektroskopi Massa hanya pada 5 puncak senyawa yaitu pada waktu retensi 21,592; 23,808; 24,658; 25,475; dan 26,258 menit. Analisis Spektroskopi Massa pada waktu retensi di atas adalah untuk mengetahui jenis senyawa dalam parafin, semua waktu retensi di atas menunjukkan puncak yang lebih tinggi dibandingkan puncak lain yang tidak dianalisis dengan alat tersebut. Hasilnya dapat dilihat pada tabel 3 dan spektra lengkapnya dapat dilihat pada lampiran 16-20. Berdasarkan tabel 3 terlihat bahwa parafin yang digunakan memiliki rantai karbon dengan jumlah 25 dan 28 dengan perincian sebagai berikut pada waktu retensi 21,592 menit dan 23,808 menit menunjukkan senyawa pentakosane yang memiliki jumlah atom karbon 25, waktu retensi 24,658 menit menunjukkan senyawa dokosane yang memiliki jumlah atom karbon 28 serta waktu retensi 25,475 menit menunjukkan senyawa ciklopentane yang memiliki jumlah atom karbon 25. Waktu retensi 26,258 menit tidak menunjukkan adanya senyawa parafin. Hal ini disebabkan berdasarkan data spektra inframerah tidak ada gugus yang memenuhi. Spektra pada gambar 9 masih belum menunjukkan data yang baik. Hal ini disebabkan pada puncak –puncak yang dianalisis belum terpisah dengan baik, meskipun telah dilakukan perubahan laju alir gas juga

dimungkinkan karena sampel yang digunakan masih dalam bentuk campuran parafin yang masih terdapat gugus senyawa pengotor sulfur, amin, nitro aromatik, ether, dan alkena.

Data Spektroskopi Inframerah, Kromatografi Gas dan Spektroskopi Massa menunjukkan bahwa parafin umpan memenuhi komposisi senyawa alkana, alkohol, acetamida, dan senyawa asam yang menunjukkan bahwa parafin yang digunakan adalah parafin campuran yang masih mengandung pengotor dan Parafin umpan ini tidak hanya memiliki rantai hidrokarbon lurus tetapi juga rantai karbon cabang.

2. Karakterisasi Parafin Produk

Uji aktivitas katalis dilakukan dengan pada proses hidrorengkah parafin dilakukan dengan reaktor sistem alir. Pada uji ini katalis dan reaktan diletakkan pada reaktor yang berbeda. Parafin (umpan) kemudian dialirkan ke katalis dengan bantuan gas H_2 yang inert. Hasil berupa gas dilewatkan pada sistem pendingin dan ditampung, kemudian Cairan Hasil Hidrorengkah (CHH) dianalisis dengan menggunakan Kromatografi Gas.

Analisis fisika uji aktivitas pada katalis terhadap proses hidrorengkah parafin didasarkan pada data kualitatif dan kuantitatif produk yang dihasilkan pada proses tersebut. Aktivitas katalis secara langsung ditunjukkan oleh jumlah produk yang terbentuk, serta distribusi produk dalam bentuk Cairan Hasil Hidrorengkah (CHH), kokas dan gas

a. Fisik

Karakter fisik yang diperoleh pada uji termal dan katalitik bervariasi.

1). Hidrorengkah Parafin Tanpa Katalis (Hidrorengkah termal)

Cairan Hasil Hidrorengkah (CHH) yang diperoleh dari hidrorengkah termal mengalami perubahan berat CHH dari berat cairan umpan mula-mula yaitu 7,500 gram menjadi 3,244 gram serta terdapat residu dengan jumlah yang relatif kecil sebesar 0,457 gram berwarna putih kekuningan berbeda dengan umpan yang berwarna bening. Disamping terdapat perubahan warna dari berwarna bening menjadi berwarna putih kekuningan juga memiliki kelarutan yang sama dengan

kelarutan parafin umpan. Hal ini mengindikasikan bahwa hidrorengkah menghasilkan senyawa baru yang berbeda dengan umpannya dengan karbon yang lebih pendek. Berdasarkan perhitungan diperoleh konversi CHH, dan konversi total masing-masing sebesar 5,226 %, dan 55,867 %

2). Hidrorengkah Parafin dengan Zeolit

CHH yang diperoleh dari hidrorengkah dengan zeolit terjadi perubahan berat Cairan Hasil Hidrorengkah (CHH) dari berat cairan umpan mula-mula yaitu 7,500 gram menjadi 2,140 gram serta terdapat residu dengan jumlah yang relatif kecil sebesar 0,876 gram dan memiliki warna relatif sama yaitu putih kekuningan berbeda dengan umpan yang berwarna bening. Disamping terdapat perubahan warna juga memiliki kelarutan yang sama dengan parafin umpan. Hal ini mengindikasikan bahwa hidrorengkah menghasilkan senyawa parafin baru dengan rantai yang lebih pendek. Pada hidrorengkah ini menghasilkan CHH yang relatif sedikit dibandingkan CHH dengan menggunakan termal. Hal ini dimungkinkan karena pada katalis zeolit dihasilkan produk kokas dan gas yang lebih banyak sehingga produk cair lebih sedikit. Berdasarkan perhitungan diperoleh konversi CHH, konversi kokas, dan konversi total masing-masing sebesar 2,800 %, 1,333 % dan 62,587 %

a. Hidrorengkah Parafin dengan Katalis Monometal

CHH yang diperoleh dari hidrorengkah dengan katalis monometal Ni/Zeolit dan Mo/Zeolit terjadi perubahan berat Cairan Hasil Hidrorengkah (CHH) dari berat cairan umpan mula-mula yaitu 7,500 gram menjadi 5,831 gram untuk CHH dengan katalis Ni/Zeolit dan 3,680 gram untuk CHH dengan katalis Mo/Zeolit serta terdapat residu dengan jumlah yang relatif kecil sebesar 0,610 gram untuk katalis Mo/Zeolit sedangkan untuk katalis Ni/Zeolit tidak terdapat residu dan memiliki warna relatif sama dengan katalis termal yaitu putih kekuningan berbeda dengan umpan yang berwarna bening. Disamping terdapat perubahan warna juga memiliki kelarutan yang relatif sama dengan parafin umpan

yaitu larut dalam ether. Hal ini mengindikasikan bahwa hidrorengkah menghasilkan senyawa parafin baru yang berbeda dengan umpannya.

b. Hidrorengkah Parafin dengan Katalis Bimetal

CHH yang diperoleh dari hidrorengkah dengan katalis bimetal NiMo/Zeolit terjadi perubahan berat Cairan Hasil Hidrorengkah (CHH) dari berat cairan umpan mula-mula yaitu 7,500 gram menjadi 2,474 gram serta terdapat residu dengan jumlah yang relatif kecil sebesar 0,673 gram memiliki warna relatif sama dengan katalis termal, zeolit, katalis Ni/Zeolit dan Katalis Mo/Zeolit yaitu putih kekuningan berbeda dengan umpan yang berwarna bening. Disamping terdapat perubahan warna juga memiliki kelarutan yang sama dengan kelarutan parafin umpan. Hal ini mengindikasikan bahwa hidrorengkah menghasilkan senyawa parafin baru yang berbeda dengan umpannya. Pada hidrorengkah ini menghasilkan CHH yang relatif sedikit dibandingkan CHH dengan menggunakan Katalis Ni/Zeolit dan Mo/Zeolit. Hal ini dimungkinkan karena pada katalis NiMo/Zeolit dihasilkan produk kokas dan gas yang lebih banyak sehingga produk cair lebih sedikit, juga disebabkan oleh keasaman total yang relatif kecil.

c. Perbandingan Konversi CHH, Konversi Kokas, dan Konversi Total Katalis monometal dan Bimetal.

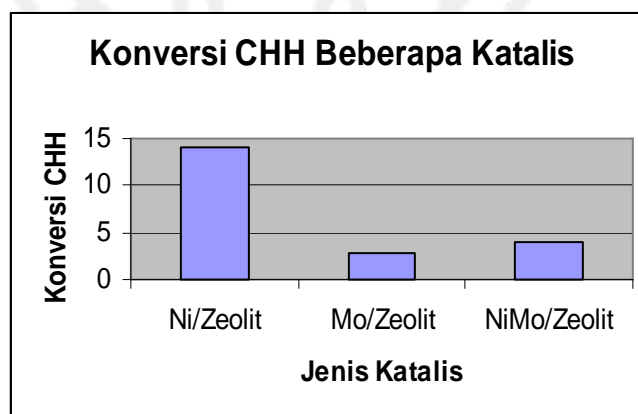
Fatimah (2001) menyatakan bahwa secara teoritis pembentukan produk dalam bentuk CHH, kokas dan gas dipengaruhi oleh karakter katalis. Hal ini karena karakter katalis akan menentukan mekanisme pembentukan produk. Produk dalam CHH terjadi melalui mekanisme pembentukan karbonium dan karbenium. Mekanisme pembentukan karbonium dan karbenium di dalam katalis berkompetisi dengan mekanisme radikal yang disebabkan oleh pengaruh termal. Mekanisme karbonium yang dominan akan menghasilkan selektivitas produk utama besar sebaliknya apabila mekanisme radikal lebih dominan hasil serupa senyawa dengan jumlah C yang kecil akan lebih banyak dan memungkinkan gas terbentuk dalam jumlah lebih banyak. Data perhitungan Konversi CHH, konversi Gas dan Konversi Kokas dapat dilihat pada Tabel 13.

Tabel 13. Konversi CHH, Konversi Gas, Konversi Kokas dan Konversi Total Beberapa Katalis

Konversi Perlakuan		b/b (%)			
		CHH	Gas*	Kokas	Total
Jenis Katalis	Ni/Zeolit	14,040	20,920	1,333	36,293
	Mo/Zeolit	2,885	41,427	1,333	45,125
	NiMo/Zeolit	3,984	43,373	1,333	48,701

* = Hasil perhitungan

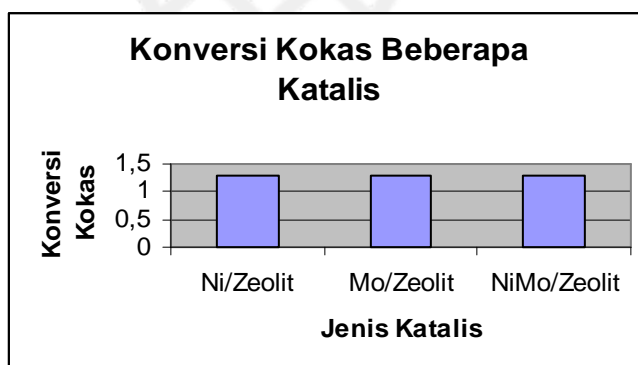
Data pada tabel 13 di atas kemudian dikonversikan dalam bentuk grafik untuk mempermudah pengamatan serta mendukung karakter fisik wujud dan warna dari CHH pada katalis termal, zeolit, Ni/Zeolit, Mo/Zeolit dan NiMo/Zeolit maka dibuat tabel perbandingan CHH beberapa katalis. Tabel ini menunjukkan banyaknya umpan yang terkonversi menjadi produk CHH. katalis yang menghasilkan gas yang lebih banyak dan produk CHH dan kokas lebih rendah mengindikasikan bahwa mekanisme radikal lebih dominan dibandingkan karbonium dan karbenium. Mekanisme radikal yang disebabkan pengaruh termal lebih berperan sehingga dihasilkan senyawa dengan jumlah C yang kecil lebih banyak dan memungkinkan gas terbentuk dalam jumlah yang lebih banyak. Pengaruh jenis katalis terhadap terbentuknya CHH dari hidrorengkah parafin ditunjukkan oleh Grafik pada Gambar 10 dan berdasarkan hasil perhitungan yang disajikan pada Lampiran 2.



Gambar 10. Konversi CHH Beberapa Katalis

Berdasarkan Grafik dalam Gambar 10 menunjukkan bahwa konversi CHH menggunakan katalis Ni/Zeolit, Mo/Zeolit dan NiMo/Zeolit. Katalis Ni/Zeolit menghasilkan konversi CHH yang relatif lebih besar yaitu 14,040 % dibandingkan katalis Mo/Zeolit yang hanya sebesar 2,885 %. Produk CHH yang lebih banyak menunjukkan bahwa proses hidrorengkah cenderung menghasilkan produk cairan daripada kokas dan gas. Hal ini menunjukkan bahwa mekanisme karbonium dan karbenium lebih berperan daripada mekanisme radikal yang cenderung menghasilkan gas dan kokas. Hal didukung ini oleh karakter katalis Ni/Zeolit memiliki keasaman total yang tinggi yang berarti bahwa situs asam aktif semakin banyak, sehingga proses hidrorengkah parafin akan semakin mudah berlangsung. Katalis NiMo/Zeolit memiliki konversi CHH sebesar 3,984 % lebih besar dibandingkan konversi CHH menggunakan katalis Mo/Zeolit tetapi masih lebih kecil dibandingkan konversi CHH menggunakan katalis NiMo/Zeolit.

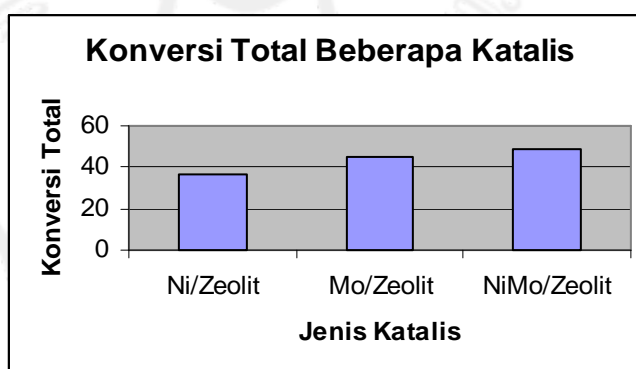
Hasil penelitian menunjukkan bahwa proses hidrorengkah katalitik dan termal, selain menghasilkan CHH juga menghasilkan kokas dan gas dalam jumlah yang bervariasi tergantung pada jenis katalis. Kokas dihasilkan pada proses hidrorengkah berwarna putih kecoklatan.



Gambar 11. Konversi Kokas Beberapa Katalis

Berdasarkan Grafik pada Gambar 11 di atas menunjukkan bahwa aktivitas katalis Ni/Zeolit, Mo/Zeolit dan NiMo/Zeolit juga ditentukan pula oleh pembentukan kokas. Suatu katalis akan memiliki aktivitas yang tinggi tidak hanya apabila banyak dihasilkan produk dalam bentuk CHH, akan tetapi juga apabila kokas yang terbentuk dalam jumlah sedikit. Data hasil penelitian menunjukkan juga adanya konversi kokas yang relatif konstan untuk semua jenis katalis.

Berdasarkan tabel di atas dapat diketahui bahwa aktivitas katalis cukup baik untuk semua jenis katalis. Hal ini dapat dilihat dari jumlah kokas yang terbentuk relatif sedikit dan konversi kokasnya relatif konstan untuk semua jenis katalis. Pengaruh jenis katalis terhadap konversi total dalam hidrorengkah parafin disajikan dengan grafik pada gambar 12.



Gambar 12. Konversi Total Beberapa Jenis Katalis

Berdasarkan grafik dalam gambar 12 menunjukkan bahwa konversi total hidrorengkah menggunakan katalis NiMo/zeolit lebih besar dibandingkan proses

hidrorengkah parafin menggunakan katalis lain, dalam hal ini terlihat bahwa pengembangan logam berperan dalam meningkatkan Konversi total katalis. Hal ini disebabkan katalis NiMo/Zeolit juga memiliki aktivitas katalis yang paling besar dibandingkan katalis Ni/Zeolit, Mo/Zeolit sehingga reaksi hidrorengkah berjalan maksimal.

b. Kimia

Karakterisasi kimia dilakukan dengan analisis produk Cairan Hasil Hidrorengkah yang diperoleh dari proses hidrorengkah dengan menggunakan katalis zeolit, Ni/Zeolit, Mo/Zeolit dan NiMo/Zeolit dengan data hasil uji menggunakan katalis Zeolit sebagai pembanding. Analisis dilakukan dengan cara membandingkan kromatogram parafin umpan dengan kromatogram cairan hasil hidrorengkah katalitik. Katalis dengan waktu retensi yang lebih pendek memiliki aktivitas katalis yang lebih baik.

1). Hidrorengkah Parafin Tanpa Katalis (Hidrorengkah termal)

Hidrorengkah parafin umpan tanpa menggunakan katalis dilakukan untuk mengetahui faktor adanya gas H₂ dan temperatur reaktor katalis terhadap proses hidrorengkah. Temperatur yang digunakan pada reaktor katalis adalah 400 °C. Temperatur ini telah digunakan dalam penelitian Nasutioan *et al* (1999) yang menjelaskan bahwa secara hukum termodinamika proses hidrorengkah (*hydrocracking*) sangat baik dilakukan sekitar 400-420 °C karena pada temperatur tersebut aktivitas katalis logam adalah paling besar.

Adanya proses hidrorengkah atau pemutusan menjadi senyawa yang lebih kecil dari parafin terhadap konversi total dan aktivitas katalis dilakukan dengan cara membandingkan kromatogram parafin awal dengan kromatogram cairan hasil hidrorengkah termal.

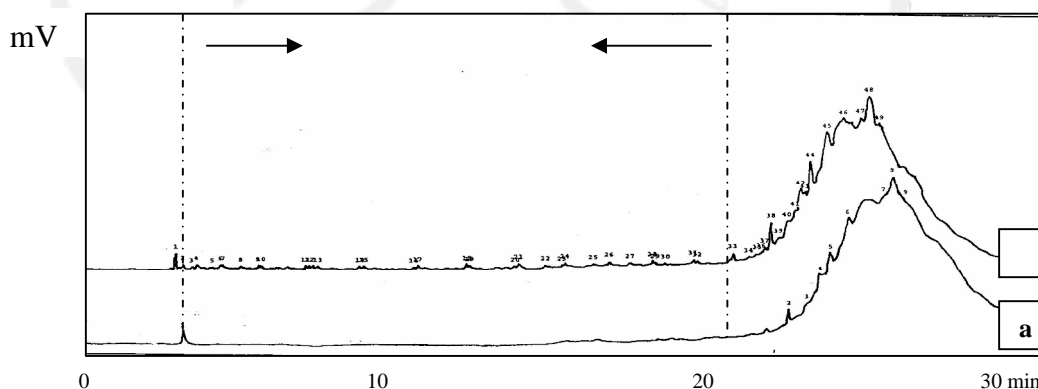
Hasil reaksi hidrorengkah ditandai dengan adanya pengurangan atau penambahan senyawa dengan waktu retensi kecil. Adanya senyawa produk dapat diketahui dengan melakukan penentuan komposisi senyawa dalam CHP menggunakan Gas kromatografi (*Gas Chromatography = GC*). Adanya senyawa produk hidrorengkah diketahui dengan munculnya puncak

kromatogram baru yang memiliki masa relatif yang lebih rendah daripada umpan yang diberikan yaitu Parafin.

Adanya senyawa rantai karbon pendek dalam CHH dapat diketahui dengan menggunakan metode spiking dengan senyawa pembanding polipropilene. Senyawa rantai karbon pendek yang dapat diketahui dengan metode ini antara lain : Senyawa C₅-C₁₂. Senyawa C₅-C₁₂ dalam CHH (Cairan Hasil Hidrorengkah) disajikan pada Tabel 11.

Berdasarkan Tabel 11 menunjukkan bahwa senyawa C₅ dan C₁₀ tidak terdapat pada CHH sedangkan senyawa C₆ – C₉ dan C₁₁-C₁₂ terdapat di dalam CHH. Hal ini disebabkan produk gas yang dihasilkan lebih banyak dan produk CHH dan kokas lebih rendah yang menunjukkan bahwa mekanisme radikal lebih dominan dibandingkan karbonium dan karbenium. Mekanisme radikal yang disebabkan pengaruh termal yang lebih dominan menghasilkan senyawa dengan jumlah C yang kecil lebih banyak dan memungkinkan gas terbentuk dalam jumlah yang lebih banyak.

Profil perbandingan kromatogram parafin dan kromatogram cairan hasil hidrorengkah tanpa katalis seperti terlihat pada Gambar 13 dan dapat dilihat pada lampiran 5 dan 6.



Gambar 13. Kromatogram a) Parafin umpan b) CHH_{termal}

Berdasarkan Gambar 13, cairan hasil hidrorengkah tanpa katalis menunjukkan adanya perubahan waktu retensi kromatogram hasil hidrorengkah dengan kromatogram awal. Hal ini ditandai dengan bertambahnya senyawa yang mempunyai waktu retensi pada *range* 3,077 menit sampai 19,087 menit. Grafik

pada gambar 13, juga menunjukkan bahwa pada waktu retensi 22,07 menit sampai 25,683 menit mengalami penambahan luas distribusi senyawa dengan penambahan senyawa di waktu retensi rendah. Hasil ini menunjukkan bahwa hidrorengkah dengan hanya menggunakan temperatur (hidrorengkah termal) dan gas H_2 dapat dilakukan tetapi hasil hidrorengkahnya kurang maksimal. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa aktivitas katalis hidrorengkah parafin tanpa menggunakan katalis adalah sebesar 55,867 %.

Berdasarkan kromatogram pada gambar 13, pada *range* 3,077 menit sampai 4,492 menit yang merupakan *range* fraksi bensin, memiliki selektivitas pembentukan hasil yang rendah yaitu sebesar 5,422 %. Hal ini ditandai adanya distribusi senyawa yang melebar di sebelah kanan kromatogram yang kurang baik dengan sedikit senyawa yang masuk kedalam *range* fraksi bensin.

2). Hidrorengkah Parafin dengan Zeolit

Proses hidrorengkah parafin dilakukan dengan reaktor sistem alir, dimana katalis dan reaktan diletakkan pada reaktor yang berbeda dan aliran uap umpan ke katalis dengan bantuan gas H_2 . Hasil berupa gas dilewatkan pada sistem pendingin es-garam dan cairan hasil hidrorengkah dianalisis dengan menggunakan kromatografi gas.

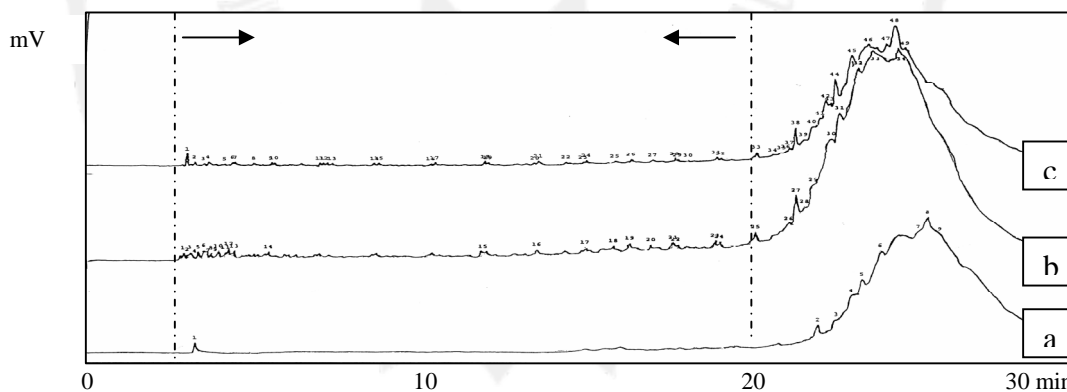
Proses hidrorengkah atau pemutusan menjadi senyawa yang lebih kecil dari parafin dan untuk mengetahui pengaruh kandungan Ni dan Mo terhadap konversi total dan aktivitas katalis dilakukan dengan cara membandingkan kromatogram parafin umpan dengan kromatogram cairan hasil hidrorengkah katalitik dengan menggunakan katalis zeolit, Ni/Zeolit, Mo/Zeolit, NiMo/Zeolit dan termal pada temperatur 400°C.

Berdasarkan Tabel 11 menunjukkan bahwa pada hidrorengkah menggunakan katalis zeolit menghasilkan senyawa $C_{10} - C_{12}$ yang terdapat di dalam CHH tetapi tidak menghasilkan senyawa C_5-C_9 . Hal ini menunjukkan bahwa hidrorengkah menggunakan katalis zeolit cenderung untuk menghasilkan produk $C_{10}-C_{12}$ dibandingkan senyawa dengan jumlah atom karbon lebih kecil dari 10. Pada proses hidrorengkah ini menunjukkan bahwa mekanisme karbonium

dan karbenium lebih dominan sehingga dihasilkan senyawa dengan jumlah C yang lebih banyak.

Bila dilihat kandungan senyawa karbon yang terdapat pada CHH dengan katalis zeolit maka peran temperatur kurang berperan dalam proses hidrorengkah. Hal ini terlihat dengan tidak dihasilkannya senyawa dengan jumlah atom karbon kecil.

Profil perbandingan kromatogram parafin, Tanpa katalis dan kromatogram cairan hasil hidrorengkah dengan menggunakan katalis Zeolit terlihat pada Gambar 14 yang dapat dilihat pada lampiran 4 dan 6. Berdasarkan gambar 15 bahwa hasil hidrorengkah dengan katalis zeolit menunjukkan terjadinya perubahan waktu retensi yang ditandai dengan bertambahnya senyawa pada *range* 2,834 menit sampai 18,755 menit. Selain itu terdapat perubahan distribusi senyawa pada *range* 19,844 menit sampai 24,085 menit dengan penambahan senyawa yang cukup melimpah pada waktu retensi 21,558 menit sampai 24,085 menit yang mengindikasikan telah terjadi proses hidrorengkah menjadi senyawa hidrokarbon yang lebih pendek .



Gambar 14. Kromatogram a) Parafin Umpan b) CHH_{Zeolit} dan c) CHH_{Termal}

Hasil hidrorengkah dengan katalis zeolit mengalami penambahan jumlah senyawa pada waktu retensi rendah relatif lebih banyak dibandingkan dengan hidrorengkah termal yaitu pada *range* waktu retensi 2,833 menit sampai 4,352 menit. Hasil ini menunjukkan bahwa penggunaan zeolit tanpa modifikasi pengembangan logam dapat berperan dalam proses hidrorengkah,

yaitu menghasilkan fraksi-fraksi molekul yang lebih ringan. Katalis zeolit juga memiliki selektivitas pembentukan hasil yang lebih baik pada *range* 2,834 menit sampai 4,352 menit yaitu sebesar 7,522 % yang merupakan *range* fraksi bensin. Hal ini menunjukkan bahwa reaksi dengan katalis zeolit lebih efektif dibandingkan reaksi tanpa katalis untuk menghasilkan produk bensin yang lebih maksimal. Pada hidrorengkah termal tumbukan antar partikel dalam reaksi tidak efektif sedangkan pada hidrorengkah dengan katalis zeolit tumbukan antar partikel dalam reaksi efektif. Hal ini disebabkan katalis zeolit memiliki luas permukaan spesifik dan volume total pori yang tinggi sehingga kontak reaktan pada permukaan katalis lebih optimum dan reaksi hidrorengkah mudah berlangsung.

Perbandingan aktivitas katalis zeolit dengan katalis termal dapat dilihat dari waktu retensi terjauh pada masing-masing kromatogram CHHnya, yaitu 24,085 menit untuk katalis zeolit dan 24,075 menit untuk katalis termal. Hasil ini menunjukkan bahwa aktivitas katalis zeolit lebih baik daripada katalis termal karena mampu merengkahkan parafin dengan hasil yang lebih baik (waktu retensi lebih pendek).

Jika dibandingkan masing-masing senyawa kromatogram $\text{CHH}_{\text{Zeolit}}$ dengan senyawa kromatogram $\text{CHH}_{\text{Termal}}$, terdapat dua senyawa dengan waktu retensi yang sama yaitu pada waktu retensi 21,043 menit dan 22,278 menit. Berdasarkan kromatogram di atas dapat disimpulkan bahwa senyawa tersebut tidak murni karena pengaruh katalis zeolit tetapi juga terbentuk karena pengaruh termal dan adanya gas H_2 .

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa aktivitas katalis hidrorengkah parafin dengan katalis zeolit adalah sebesar 61,253 %.

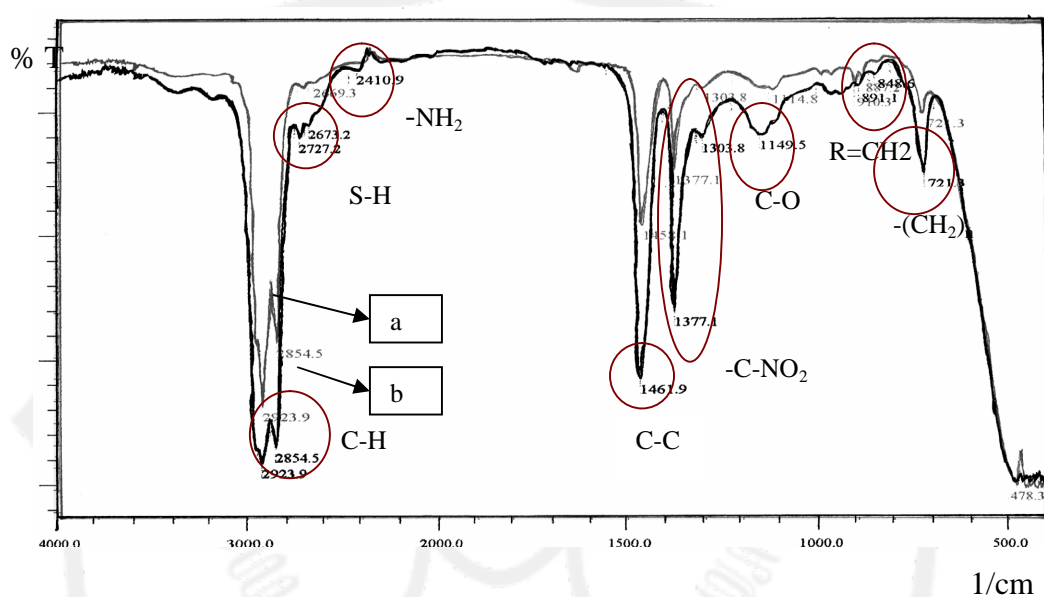
3). Hasil hidrorengkah menggunakan katalis Ni/Zeolit

Hidrorengkah menggunakan katalis Ni/Zeolit menghasilkan senyawa C_5 - C_{12} yang terdapat di dalam CHH. Hal ini dimungkinkan karena katalis ini memiliki keasaman total yang paling tinggi sehingga proses hidrorengkah untuk menghasilkan produk senyawa C_5 - C_{12} lebih efektif.

Karakter kimia $\text{CHH}_{\text{Ni/Zeolit}}$ berupa gugus fungsional dianalisis menggunakan Spektroskopi Inframerah. Spektra FTIR $\text{CHH}_{\text{Ni/Zeolit}}$ dapat

menunjukkan lebih jauh tentang perubahan gugus yang terjadi setelah dilakukannya hidrerenkang. Hal ini berkaitan dengan sifat dari katalis logam Ni yaitu sebagai katalis hidrerenkang, hidrogenasi, dan hidrogenitrogenasi. Peran sebagai katalis hidrogenitrogenasi dapat dilihat dari hasil spektra inframerah yaitu hilangnya gugus N-H dari dalam $\text{CHH}_{\text{Ni/Zeolit}}$.

Hasil analisis Spektroskopi Inframerah ditunjukkan pada Gambar 15 sedangkan gugus-gugus fungsional senyawanya ditunjukkan pada Tabel 12. Spektra inframerah yang lengkap dapat dilihat pada Lampiran 14 dan 15.



Gambar 15. Spektra FTIR a) $\text{CHH}_{\text{Ni/Zeolit}}$ dan b) Parafin Umpan
Tabel 12. Gugus-Gugus Fungsional dalam $\text{CHH}_{\text{Ni/Zeolit}}$

Jenis Senyawa	Gugus Fungsi	Bilangan Gelombang cm^{-1}	
		Standar	$\text{CHH}_{\text{Ni/Zeolit}}$
Alkana	C-H (alkana)	2962- 2853	2923,9
			2854,5
Gugus senyawa pengotor	S-H (Sulfur)	2750 - 2500	-
			2669,3
	-NH ₂	2400	-
	C-C (aril)	1600- 1450	1458,1
	-C-NO ₂ (nitro aromatik)	1390 - 1300	1377,1
			1303,8
	-C-O	1300-900	1114,8
RC=CH ₂	1000-800	910,3	
		887,2	
Alkana	-(CH ₂) _n	810-720	721,3

	(Senyawaan lain)		
--	------------------	--	--

Berdasarkan Gambar diatas terdapat beberapa serapan seperti C-H (alkana), S-H (Sulfur), C-C (aril), -C-NO₂ (Nitro aromatik), -C-O, RC=CH₂, -(CH₂)_n (senyawa lain). Perbandingan spektra serapan inframerah parafin umpan dengan CHH_{Ni/Zeolit}, memperlihatkan terjadinya beberapa perubahan. Gugus C-H pada CHH_{Ni/Zeolit} tidak mengalami pergeseran serapan yaitu 2923,9 cm⁻¹ dan 2854,5 cm⁻¹. Terjadi perubahan serapan untuk gugus S-H yang semula dua serapan menjadi satu serapan, yaitu dari 2727,2 cm⁻¹ dan 2673,2 cm⁻¹ menjadi 2669,3 cm⁻¹. Pergeseran juga terjadi pada gugus C-C (aril) yaitu dari serapan 1461,9 cm⁻¹ menjadi 1458,1 cm⁻¹. Gugus RC=CH₂ mengalami perubahan dari serapan pada 891,1 cm⁻¹ dan 848,6 cm⁻¹ menjadi serapan yaitu pada 910,3 cm⁻¹ dan 887,2 cm⁻¹.

Ada perubahan yang signifikan dari hasil hidrorengkah dengan katalis Ni/Zeolit, yaitu hilangnya gugus N-H (2410,9 cm⁻¹). Hal ini sesuai dengan teori bahwa salah satu fungsi katalis Ni/Zeolit adalah sebagai katalis hidrogenitrogenasi. Selain hilangnya ikatan N-H, sebagian puncak spektra lainnya juga mengalami pergeseran serapan, yang berarti bahwa telah terjadi perubahan kekuatan ikatan yang terdapat dalam sampel CHH_{Ni/Zeolit}. Berdasarkan spektra FTIR diatas dapat diketahui bahwa pada spektra CHH_{Ni/Zeolit} bila diaplikasikan pada katalis zeolit, Mo/Zeolit dan NiMo/Zeolit dihasilkan perubahan intensitas yang relatif sama yaitu intensitas menjadi lebih pendek.

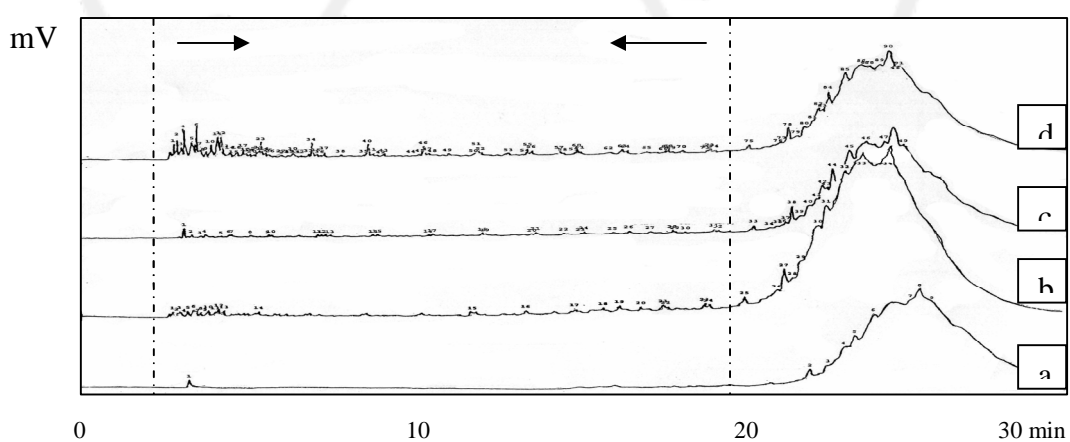
Hasil hidrorengkah menggunakan katalis Ni/Zeolit mengalami penambahan senyawa pada *range* 2,916 menit sampai 19,194 menit. Selain itu terdapat perubahan distribusi senyawa pada *range* 20,278 menit sampai 24,867 menit dengan adanya penambahan senyawa di waktu retensi yang rendah. Hasil ini menunjukkan bahwa katalis Ni/ZAA mampu berperan dalam proses hidrorengkah parafin. Hasil hidrorengkah dengan katalis Ni/Zeolit dibandingkan katalis zeolit dan hidrorengkah termal mengalami penambahan sejumlah senyawa pada *range* 2,916 menit sampai 7,433 menit sedangkan distribusi senyawa katalis Ni/Zeolit mirip dengan distribusi senyawa pada hidrorengkah termal tetapi memiliki luas distribusi senyawa pada *range* 20,278 menit sampai 24,867 menit yang lebih kecil dari distrubusi senyawa hidrorengkah menggunakan katalis Zeolit.

Disamping itu katalis Ni/Zeolit juga memiliki selektivitas pembentukan hasil pada *range* yang merupakan *range* fraksi bensin yaitu 2,916 menit sampai 4,816 menit yang paling baik dibandingkan dengan reaksi dengan katalis yang lain,

ditandai dengan distribusi senyawa yang merata pada waktu retensi tersebut paling baik dengan banyak senyawa yang masuk ke dalam *range* fraksi bensin. Hal ini dimungkinkan karena Katalis Ni/Zeolit memiliki keasaman total yang relatif tinggi sehingga gugus asam terutama asam Lewis akan semakin banyak dalam katalis yang mengakibatkan semakin banyak H^+ yang akan diterima oleh rantai hidrokarbon untuk membentuk ion karbonium. Disamping keasamannya yang tinggi katalis Ni/Zeolit juga mengandung logam yang banyak sehingga aktivitas katalisnya meningkat dan proses hidrorengkah dapat berlangsung secara efektif.

Efektivitas katalis Ni/Zeolit menunjukkan hasil yang terbaik dengan persen *range* fraksi bensin sebesar 11,153 %. Dengan demikian berdasarkan selektivitas fraksi bensin diketahui bahwa katalis dengan kandungan logam Ni dan Mo paling tinggi (1,198 %) memberikan hasil hidrorengkah yang paling baik pada proses hidrorengkah parafin pada temperatur $400^{\circ}C$.

Profil perbandingan kromatogram parafin, termal, katalis Zeolit dan kromatogram cairan hasil hidrorengkah dengan menggunakan katalis Ni/Zeolit terlihat pada gambar 16 dan dapat dilihat pada lampiran 5 sampai 8. Kromatogram ini menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan pada daerah produk hidrorengkah menggunakan katalis zeolit, termal dan Ni/Zeolit bila dibandingkan parafin umpan.



Gambar 16. Kromatogram a) Parafin b) CHH_{Zeolit} c) CHH_{Termal} d) $CHH_{Ni/Zeolit}$

Perbandingan aktivitas katalis Ni/Zeolit dengan katalis Zeolit dapat dilihat dari waktu retensi terjauh pada masing-masing kromatogram CHHnya, yaitu 24,867 menit untuk katalis Ni/Zeolit dan 24,085 menit untuk katalis termal. Hasil ini menunjukkan bahwa aktivitas katalis Zeolit lebih baik daripada katalis Ni/Zeolit karena mampu merengkahkan parafin dengan hasil yang lebih baik (waktu retensi lebih pendek). Hal ini didukung oleh data karakter katalis Zeolit dimana harga luas permukaan spesifik lebih tinggi daripada katalis Ni/Zeolit sehingga kontak reaktan dengan katalis lebih maksimal.

Jika dibandingkan masing-masing senyawa kromatogram CHH_{Zeolit} dengan senyawa kromatogram CHH_{Termal} , tidak terdapat senyawa dengan waktu retensi yang sama.

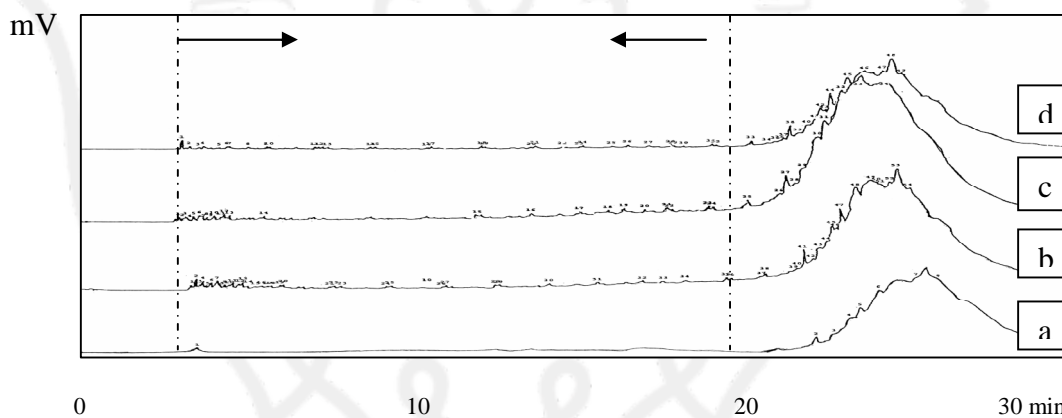
Berdasarkan kromatogram diatas dapat disimpulkan bahwa senyawa tersebut terbentuk tanpa pengaruh temperatur, gas H_2 dan Zeolit tetapi murni karena pengaruh dari katalis Ni. Hasil perhitungan aktivitas katalis Ni/Zeolit adalah sebesar 35,493 %

4). Hasil hidrorengkah menggunakan katalis Mo/Zeolit

Data *spiking* mengindikasikan perbedaan produk senyawa C_5-C_{12} pada hidrorengkah dengan katalis Mo/Zeolit bila dibandingkan dengan hidrorengkah menggunakan katalis Ni/Zeolit ternyata produk senyawa C_5 , C_{10} , dan C_{11} tidak terdapat pada CHH. Hal ini disebabkan katalis Mo/Zeolit memiliki keasaman total yang rendah sehingga cenderung selektif untuk menghasilkan produk C_6-C_9 dan C_{12} dibandingkan produk C_5 , C_{10} , dan C_{11} .

Hasil hidrorengkah parafin umpan dengan menggunakan katalis Mo/Zeolit menunjukkan adanya penurunan aktivitas katalis bila dibandingkan dengan katalis Ni/Zeolit meskipun mengalami penambahan senyawa yang ditunjukkan adanya perubahan pada *range* 2,951 menit sampai 19,192 menit dibanding dengan parafin awal. Disamping itu juga terdapat penambahan distribusi senyawa pada *range* 20,192 menit sampai 24,767 menit dengan adanya penambahan senyawa pada waktu retensi yang rendah. Hasil ini menunjukkan bahwa katalis Mo/Zeolit mampu berperan dalam proses hidrorengkah parafin.

Penurunan jumlah senyawa, pada *range* 2,951 menit sampai 19,192 menit dibandingkan dengan reaksi menggunakan katalis yang lain disebabkan turunnya keasaman dari katalis. Penurunan keasaman katalis mengakibatkan menurunnya situs aktif katalis yang berpengaruh pada menurunnya aktivitas katalis sehingga proses hidrorengkah kurang efektif. Namun, dibandingkan dengan hasil hidrorengkah dengan katalis Zeolit jumlah senyawa pada katalis Mo/Zeolit lebih banyak meskipun keasamannya lebih rendah. Hal ini belum bisa dijelaskan dalam penelitian ini. Hidrorengkah dengan katalis ini juga menghasilkan selektivitas pembentukan hasil yang paling rendah pada *range* fraksi bensin yaitu 2,951 menit sampai 4,861 menit yaitu sebesar 4,051 % dibandingkan katalis yang lain. Hal ini dimungkinkan karena katalis Mo/Zeolit memiliki keasaman yang rendah. Profil perbandingan kromatogram parafin umpan, termal, katalis Zeolit dan kromatogram cairan hasil hidrorengkah dengan menggunakan katalis Mo/Zeolit terlihat pada Gambar 17 yang dapat dilihat pada Lampiran 5, 6,7 dan 9.



Gambar 17. Kromatogram a) Parafin b) $\text{CHH}_{\text{Mo/Zeolit}}$ c) $\text{CHH}_{\text{Zeolit}}$ d) $\text{CHH}_{\text{Termal}}$

Perbandingan aktivitas katalis Mo/Zeolit dengan katalis zeolit dapat dilihat dari waktu retensi terjauh pada masing-masing kromatogram CHHnya, yaitu 24,767 menit untuk katalis Mo/Zeolit dan 24,085 menit untuk katalis termal. Hasil ini menunjukkan bahwa aktivitas katalis zeolit lebih baik daripada katalis Mo/Zeolit karena mampu merengkahkan parafin dengan hasil yang lebih baik (waktu retensi lebih pendek). Hal ini didukung oleh data

karakter katalis zeolit dimana harga luas permukaan spesifik lebih tinggi daripada katalis Mo/Zeolit.

Senyawa kromatogram $\text{CHH}_{\text{Mo/Zeolit}}$ dengan senyawa kromatogram $\text{CHH}_{\text{Termal}}$, terdapat 3 senyawa dengan waktu retensi yang sama yaitu 4,176 menit; 4,494 menit dan 12,095 menit. Berdasarkan kromatogram di atas dapat disimpulkan bahwa senyawa tersebut terbentuk karena pengaruh temperatur dan adanya gas H_2 sedangkan zeolit kurang berpengaruh pada katalis ini. Hasil perhitungan aktivitas katalis Mo/Zeolit dalam hidorengkah parafin adalah sebesar 43,787 %.

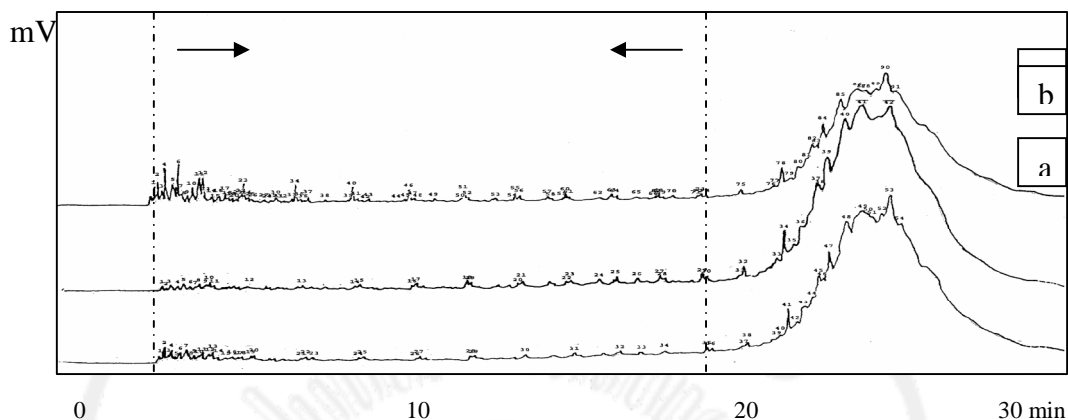
5). Hasil hidorengkah menggunakan katalis Ni-Mo/Zeolit

Berdasarkan data hasil *spiking* Tabel 11 menunjukkan bahwa pada hidorengkah menggunakan katalis NiMo/Zeolit menghasilkan senyawa C_5 , C_7 - C_{12} yang terdapat di dalam CHH dan tidak menghasilkan senyawa C_6 . Proses hidorengkah menggunakan katalis NiMo/Zeolit bila dibandingkan dengan hidorengkah menggunakan katalis Ni/Zeolit dan Mo/Zeolit menunjukkan pembentukan senyawa hidrokarbon yang lebih banyak tetapi lebih rendah bila dibandingkan dengan katalis Ni/Zeolit. Hal ini disebabkan katalis NiMo/Zeolit memiliki luas permukaan spesifik yang paling kecil sehingga katalis ini cenderung kurang selektif dengan senyawa C_6 dibandingkan senyawa lain.

Hasil hidorengkah dengan katalis Ni-Mo/Zeolit ditunjukkan pada daerah 2,196 menit sampai 19,194 menit. Hasil hidorengkah dengan katalis Ni-Mo/Zeolit juga menunjukkan adanya peningkatan aktivitas katalis dibandingkan katalis Ni/Zeolit dan Mo/Zeolit dimana jumlah senyawa pada *range* 2,897 menit sampai 18,883 menit lebih banyak dibandingkan hasil hidorengkah dengan menggunakan katalis Ni/Zeolit dan Mo/Zeolit.

Selektivitas pembentukan hasil pada *range* fraksi bensin yaitu 2,897 menit sampai 4,433 menit menunjukkan selektivitas yang lebih besar yaitu sebesar 6,310 % dibandingkan dengan hidorengkah menggunakan katalis Mo/Zeolit yang hanya sebesar 4,051 %. Namun selektivitasnya lebih rendah bila dibandingkan dengan hidorengkah dengan katalis Ni/Zeolit dan katalis zeolit yaitu sebesar 11,153 % dan 7,522 %. Hal ini mungkin disebabkan karena katalis Ni-Mo/Zeolit

memiliki keasaman total yang paling rendah sehingga aktivitas katalisnya menurun. Profil perbandingan kromatogram parafin dan kromatogram cairan hasil hidrorengkah dengan menggunakan katalis Ni-Mo/Zeolit terlihat pada Gambar 18 dan Lampiran 8, 9 dan 10.

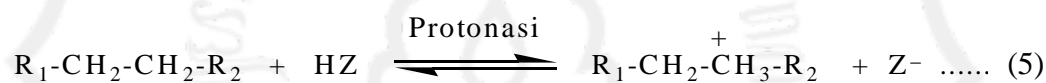


Gambar 18. Kromatogram a) $\text{CHH}_{\text{Mo/Zeolit}}$ b) $\text{CHH}_{\text{NiMo/Zeolit}}$ c) $\text{CHH}_{\text{Ni/Zeolit}}$

Perbandingan aktivitas katalis Ni/Zeolit dengan katalis Ni-Mo/Zeolit dapat dilihat dari waktu retensi terjauh pada masing-masing kromatogram CHHnya, yaitu 24,867 menit untuk katalis Ni/Zeolit dan 24,099 menit untuk katalis Ni-Mo/Zeolit. Hasil ini menunjukkan bahwa aktivitas katalis Ni-Mo/Zeolit lebih baik daripada katalis Ni/Zeolit karena mampu merengkahkan parafin dengan hasil yang lebih baik (waktu retensi lebih pendek). Hal ini didukung oleh data karakter katalis Ni-Mo/Zeolit dimana harga luas permukaan spesifik lebih tinggi daripada katalis Ni/Zeolit sehingga kontak reaktan dengan katalis lebih maksimal. Bila dibandingkan aktivitas katalis Ni-Mo/Zeolit dengan katalis Mo/Zeolit dapat dilihat dari waktu retensi terjauh pada masing-masing kromatogram CHHnya, yaitu 24,229 menit untuk katalis Ni-Mo/Zeolit dan 24,767 menit untuk katalis Mo/Zeolit. Hasil ini menunjukkan bahwa aktivitas katalis Ni-Mo/Zeolit lebih baik daripada katalis Mo/Zeolit karena mampu merengkahkan parafin dengan hasil yang lebih baik (waktu retensi lebih pendek). Hal ini didukung oleh data karakter katalis zeolit dimana harga keasaman total dan kandungan logam Ni-nya lebih tinggi daripada katalis Mo/Zeolit. Jika dibandingkan masing-masing senyawa kromatogram $\text{CHH}_{\text{NiMo/Zeolit}}$ dengan senyawa kromatogram $\text{CHH}_{\text{Mo/ZAA}}$, terdapat satu senyawa dengan waktu retensi yang sama yaitu 4,177 menit.

Berdasarkan kromatogram dapat disimpulkan bahwa senyawa tersebut terbentuk karena pengaruh logam Mo sedangkan logam Ni kurang berpengaruh pada katalis ini. Hasil perhitungan aktivitas hidrorengkah parafin dengan katalis NiMo/Zeolit adalah sebesar 47,373 %.

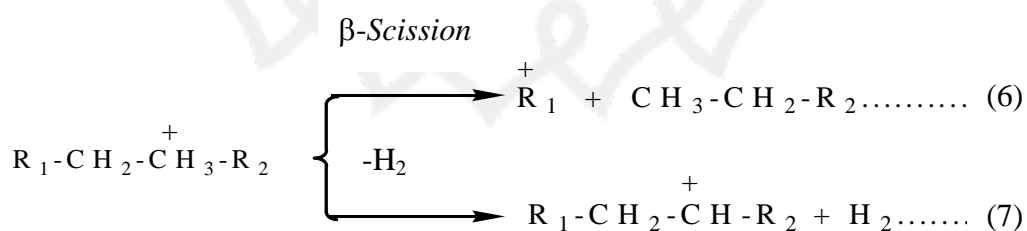
Berdasarkan data analisis Cairan Hasil Hidrorengkah dengan menggunakan instrumen Spektroskopi Inframerah, Kromatografi Gas dan Spektroskopi Massa memiliki kesamaan dengan data yang disampaikan oleh Haag dan Dessau (1984) sehingga secara umum mekanisme hidrorengkah parafin yang mungkin adalah terdiri dari dua tahap yaitu : mekanisme pembentukan ion karbonium dan mekanisme pembentukan ion karbenium. Mekanisme pertama adalah monomolekuler atau hidrorengkah protolitik yang meliputi protonasi langsung parafin oleh situs asam Bronsted untuk membentuk ion karbenium dapat ditunjukkan dalam [persamaan (5)]



Z = Zeolit

R₂ = CH₃CH₂(CH₂)_n-

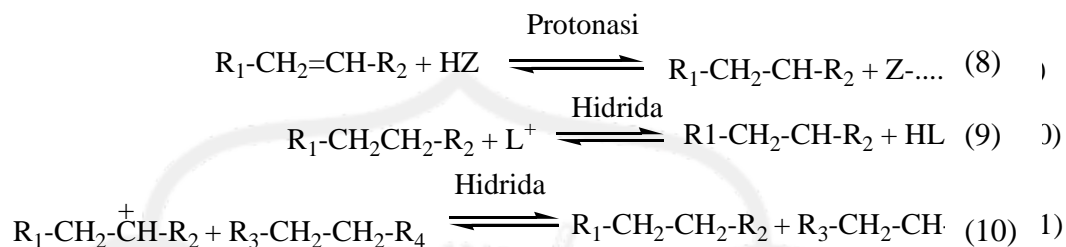
Ion karbonium ini dapat membentuk molekul hidrogen dan ion karbenium atau parafin dan ion karbenium yang lebih kecil [persamaan (6) dan (7)]



Mekanisme (7 dan 8) diketahui sebagai mekanisme bimolekuler yang terjadi melalui pembentukan ion karbenium (pine, 1981; Haag et al, 1991 dalam Macedonia, 2000).

Tahap reaksi dimulai dengan protonasi olefin atau aromatik pada situs asam Bronsted (Weitkamp, 1999), juga melalui transfer hibrida dari parafin atau

alkyl aromatik pada situs asam Lewis [persamaan (8) dan (9)](Satterfield,1980) dan melalui transfer hidrida dari reaktan ke ion karbenium yang sudah terbentuk [persamaan (10)]



Ion karbonium yang sudah terbentuk dapat mengalami pemutusan rantai pada posisi β (pemutusan ikatan C-C pada lokasi β) untuk membentuk olefin dan ion karbenium baru [persamaan (12)] (Weitkamp, 1999)



Faktor-faktor yang mungkin mempengaruhi aktivitas katalis antara lain pada hidrorkangah pada temperetur 400°C, memungkinkan ikatan katalis reaktan menjadi sangat lemah, kemungkinan karena yang tersedia berlebihan sehingga sulit terjadi kontak antara katalis dan umpan (Fatmawati, 2004). Temperatur ini melebihi yang dibutuhkan agar reaksi yang terjadi optimal. Kenaikan temperatur akan mengakibatkan penambahan energi sehingga reaksi dapat berlangsung lebih cepat namun tidak menjamin kontak katalis reaktan optimum, yang mengakibatkan aktivitas katalisnya menurun.

Disamping itu pembentukan kokas yang terjadi pada temperatur 400°C dapat menyebabkan deaktivasi katalis. Kokas yang terbentuk terjebak dalam pori-pori katalis sehingga luas permukaan pori, volume pori dan rerata jejari pori mengecil dan memungkinkan melenyapkan pori, akibatnya tidak akan terjadi adsorpsi reaktan oleh katalis lebih lanjut. Sintering penggumpalan oleh pengembanan Ni dan Mo dimungkinkan juga terjadi pada temperatur ini.

Sintering tersebut dapat menurunkan situs aktif katalis sebagai aktivitas katalis Zeolit alam aktif dengan pengemban logam Ni dan Mo. Penurunan aktivitas katalis juga mungkin tidak terjadinya adsorpsi reaktan oleh katalis.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. KESIMPULAN

Proses hidrorengkah parafin menggunakan katalis Zeolit, Ni/zeolit, Mo/Zeolit dan Ni-Mo/Zeolit dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Katalis Ni-Mo/Zeolit memiliki efektivitas katalis yang lebih baik yang ditunjukkan dengan aktivitas katalis dan konversi total sebesar 47,373 % dan 48,701 % dibandingkan katalis Ni/Zeolit sebesar 35,493 % dan 36,293 % serta katalis Mo/Zeolit sebesar 43,787 % dan 45,125 %. Namun katalis Ni/Zeolit memiliki selektivitas fraksi ringan yang lebih tinggi yaitu sebesar 11,152 % dibandingkan katalis Mo/Zeolit dan NiMo/Zeolit yang hanya sebesar 4,051 % dan 6,310 % pada hidrorengkah parafin.
2. Pengembanan logam Ni dan Mo pada zeolit alam aktif dapat digunakan sebagai katalis pada hidrorengkah parafin memiliki aktivitas katalis, selektivitas fraksi ringan dan konversi total yang berbeda-beda.

B. SARAN

Dari penelitian yang telah kami lakukan maka perlu adanya tindak lanjut untuk mengetahui keefektifan katalis antara lain :

1. Perlunya variasi temperatur pada penelitian untuk mengetahui suhu optimum katalis dalam hidrorengkah parafin
2. Perlunya penggunaan katalis lain selain logam pengemban Ni dan Mo untuk bisa membandingkan konversi total dan aktivitas katalis pada hidrorengkah parafin

DAFTAR PUSTAKA

- Aderson , J.R and Boudart , M. 1981. *Catalysis: Science and Technology*. Vol. 1. Springer. Verlag. New York.
- Augustine, R.L. 1996. *Heterogeneous Catalysis for the Synthetic Chemist*. Marcel Dekker Inc. New York.
- Dyer, A. 1988. *An Introduction to Zeolite Molecular Sieves*. John Willey and Son Ltd. Chichester.
- Egorova, M. 2003. “ Study of Aspectof Deep Hidrodesulfurization by Means of Models Reactions”. Dissertation. Novosibirsk State University.
- Fatimah, I. 2001. “Preparasi, Karakterisasi, dan Pemanfaatan Ni/Zeolit-Y Pada Perengkahan Hidrogen (Hydrocracking) Kumene”. Tesis. UGM. Yogyakarta.
- Fitrianto, J.K. 2005. “Karakter dan Uji Aktivitas Katalis Zeolit Alam Aktif (ZAA), Ni/ZAA, Mo/ZAA, NiMo/ZAA Pada Hidrorengkah Tir Batubara”. Skripsi. UNS. Surakarta.

- Gates, B.C, Katzer, J.R.Schut,G.C.A. 1979. *Chemistry of catalytic process; Cracking; Process, Reaction and Catalyst*. Mc Graw – Hill Book Company. New york.
- Gates, B.C. 1992. *Catalitic Chemistry*. Wiley Series In Chemichal Engineering. John Wiley and Son, Inc.
- Ginanjari, G. 2003. “Efektivitas Katalis Cr/ZAAH Pada Perengkahan Tir Batubara Menjadi Fraksi Bensin”. Skripsi. UNS. Surakarta.
- Hegedus. 1987. *Catalyst Design*. John Willey and Sons. New york.
- Heraclous, E., Lemonidou, A.A. 2004. “ Ethilene Production Via Oxidative Dehidrogenation In The Presence of Nickel-Based Catalyst”. Workshop of CPERI. Aristotele University of The Servoriki. Greece.
- Kirk – Otmer. 1997. *Encyclopedia of Chemical Technology*. Fourth Edition. John Willey and Sons, inc. Vol 24. No 350 – 352.
- Lee, J.D. 1984. *A New Concise In Organic Chemistry*. 3rd Edition. English Language Book Society and Van Nostrand Reinhold (UK) Co. Ltd.
- Macedonia, M.D and Maginn E.J. 2000. “Impact of Confinement on Zeolite Cracking Selectivity via Montecarlo Integration”. *AICHE Journal*. Vol.46. No. 12.
- Nasutions, A.S and Jasifi, E. 1999. “Hydrocracking of Heavy distillate into clean diesel oil using Ni-Mo / Al₂O₃-SiO₂”. Prosiding Seminar Nasional Kimia. F-MIPA. UGM. Yogyakarta.

- Nurchahyo, I. 2005. “ Uji Aktivitas dan Regenerasi Katalis NiPd(4:1)/Zeolit Alam Aktif Untuk Hidrorengkah Sampah Plastik Polipropilene menjadi Fraksi Bensin dengan Sistem Semi Alir”. Tesis. UGM. Yogyakarta.
- Olah, G.A. Molnar. 1995. *Hydrocarbon Chemistry*. John Willey and Sons, inc.
- Pudjaatmaka, A.H.1988. *Kimia Organik*. Jilid 1. Edisi Ke-2. Erlangga. Jakarta.
Terjemahan: *Organic Chemistry*. Fessendens, R.J and J.S Fessendens.
1979. Williard Grand Press. Singapore
- Salim. 2001. “Preparasi, Karakterisasi, dan Uji Efektivitas Katalis Ni-Y dan Ni-Zeolit Alam Pada Proses Perengkahan-Hidro n-Heksadekana”. Tesis. UGM. Yogyakarta.
- Satterfield, C.N. 1980. *Heterogenous Catalyst In Practice*. Mc Graw Hill Book Company. New york.
- Sukarjo. 1997. *Kimia Fisika*. Edisi ke-3. PT. Rineka Cipta. Jakarta.
- Syarifah, I. 2000. “Ni – Zeolit alam untuk perengkahan fraksi minyak bumi”.
Prosiding Seminar Nasional Kimia. Jurusan kimia. F-MIPA. UGM.
Yogyakarta.
- Triyono. 1994. *Kimia Fisika. Dasar-dasar Kinetika dan Katalis*. Depdikbud
Dirjen Pendidikan Tinggi.
- Wada, T., Kaneda, K., Murata, S and Namura, M., 1996. “ Effect of Modifier Pd Metal on Hydrocracking of Polyaromatic Compound Over Ni-Loaded Y-Type Zeolite and Its Applications as Hydrodesulfurization Catalyst”.
Catal. Today. Vol. 31.

Weitkamp, L and Puppe, L. 1999. *Catalyst and Zeolite*. Springer.

Wilkinson, Cotton. 1984. *In Organic Chemistry*. John Willey and Son Ltd. New
york.

