



SKRIPSI – TK141581

PRODUKSI BIOFUEL MENGGUNAKAN KATALIS Ni-Fe/HZSM-5 DARI MINYAK KELAPA

Oleh:

**Putu Ayu Widya Pradnyani
NRP. 0221144000032**

**Destrian Hervina
NRP. 0221144000079**

**Dosen Pembimbing:
Ir. Ignatius Gunardi, M.T
NIP. 1955 09 21 1984 03 1 001**

**Firman Kurniawansyah, ST, M.Eng, Sc, Ph.D
NIP. 1977 05 29 2003 12 1 002**

**DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018**



FINAL PROJECT – TK141581

PRODUKSI BIOFUEL MENGGUNAKAN KATALIS Ni-Fe/HZSM-5 DARI MINYAK KELAPA

By:

**Putu Ayu Widya Pradnyani
NRP. 0221144000032**

**Destrian Hervina
NRP. 0221144000079**

**Academic Supervisor :
Ir. Ignatius Gunardi, M.T
NIP. 1955 09 21 1984 03 1 001**

**Firman Kurniawansyah, ST, M.Eng, Sc, Ph.D
NIP. 1977 05 29 2003 12 1 002**

**DEPARTMENT OF CHEMICAL ENGINEERING
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA
2018**

LEMBAR PENGESAHAN

PRODUKSI BIOFUEL MENGGUNAKAN KATALIS Ni- FE/HZSM-5 DARI MINYAK KELAPA

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Sarjana Teknik Kimia pada Program Studi S-1
Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh:

Putu Ayu Widya Pradnyani 0221144000032
Destrian Hervina 0221144000079

Disetujui Oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Ir. Ignatius Gunardi, M.T
(Pembimbing I)
2. Firman Kurniawansyah, S. T, M.Eng.Sc. PhD.....
(Pembimbing II)
3. Prof. Dr. Ir. Achmad Roesyadi, DEA
(Penguji I)
4. Siti Nurkhamidah, S. T, M.S., Ph.D
(Penguji II)
5. Siti Zullannah, S.T, M.T, Ph.D
(Penguji III)

[Handwritten signatures of the examiners]



PRODUKSI BIOFUEL MENGGUNAKAN KATALIS Ni-Fe/HZSM-5 DARI MINYAK KELAPA

Nama : Putu Ayu Widya Pradnyani (0221144000032)

Destrian Hervina (0221144000079)

Dosen Pembimbing: Ir. Ignatius Gunardi M.T

Firman Kurniawansyah, S.T., M.Eng, Sc., Ph.D

Abstrak

Produksi industri minyak bumi nasional semakin hari semakin menurun. Pada tahun 2014, produksi minyak bumi hanya sekitar 789 ribu bpd atau menurun menjadi 96% dibandingkan tahun 2013 sebesar 824 ribu bpd. Sumber energi alternatif sangat diperlukan sebagai pengganti bahan bakar dengan menggunakan minyak nabati yang biasa disebut dengan biofuel. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pembuatan katalis Ni-Fe/HZSM-5 dengan metode incipient wetness impregnation, mengetahui pengaruh suhu reaksi, waktu reaksi terhadap yield yang dihasilkan dari reaksi hydrocracking, mengetahui nilai kinetika dari reaksi hydrocracking minyak kelapa. Katalis yang digunakan pada proses hydrocracking adalah zeolite HZSM-5 dan logam Ni-Fe. Variabel yang digunakan suhu operasi di dalam proses hydrocracking yaitu suhu 350°C, 375°C, dan 400°C dengan perbandingan katalis Ni-Fe/HZSM-5 1:1 dan loading 10%. Karakterisasi katalis menggunakan BET, EDX dan XRD. Produk biofuel dianalisa dengan GC-MS. Pada katalis Ni-Fe/HZSM-5 (10%, 1:1), terlihat adanya puncak baru pada sudut $2\theta = 44,6068^\circ$ yang menunjukkan logam Fe, sudut $2\theta = 44,508^\circ$ yang menunjukkan logam Ni. Dari analisa BET dan EDX katalis Ni-Fe/HZSM-5 loading 10% ratio 1:1 terdapat penurunan nilai surface area menjadi 312,909 m²/g. Yield gas oil, dan kerosene pada proses pembuatan biofuel mencapai nilai terbesar 68,576% dan 37,789% pada suhu 375 °C.

Yield gasoline muncul pada suhu 350 °C sebesar 0,836%. Reaksi hydrocracking ini memiliki nilai konstanta reaksi sebesar 0,0057 [(liter/mol)^{0,1}menit] pada suhu 350°C, 0.009 [(liter/mol)^{0,1}menit] pada suhu 375 °C, 0,0094 [(liter/mol)^{0,1}menit] pada suhu 400 °C. Orde reaksi pada reaksi ini mendekati 1 dan semakin meningkatnya suhu reaksi maka konstanta laju reaksi akan semakin meningkat. Nilai energi aktivasi dari proses hydrocracking sebesar 35,799 KJ/mol.

Kata Kunci : biofuel, minyak kelapa, Hydrocracking. HZSM-5.

“Biofuel Production using Catalyst Ni-Fe/HZSM-5 from Coconut Oils”

Name : Putu Ayu Widya Pradnyani (0221144000032)

Destrian Hervina (0221144000079)

Advisor : Ir. Ignatius Gunardi M.T

Firman Kurniawansyah, S.T., M.Eng, Sc., Ph.D

Abstract

National petroleum industry's production is decrease daily, In 2014, the production of petroleum is only about 789 thousand bpd or decreased up to 96% compared to 2013 amounted to 824 thousand bpd. Alternative energy sources really needed as a substitute for fuel by using vegetable oils commonly referred to as biofuels. This research aim to study the preparation of Ni-Fe/HZSM-5 Catalyst by incipient wetness impregnation method, knowing the effect of reaction temperature, time to yield resulting from hydrocracking reaction, determine the value of kinetics of hydrocracking reaction of coconut oil. Catalyst used in the hydrocracking process are zeolite HZSM-5 and Ni-Fe metals. The operation temperature used in hydrocracking process are 350°C, 375°C and 400°C, with ratio of metal 1:1 and 10% loading. Catalyst is characterized by XRD, BET, and EDX. The biofuel product is analyzed by GC-MS. On Ni-Fe / HZSM-5 (10% 1:1) catalysts, a new peak at $2\theta = 44,6068^\circ$ indicated Fe metal, angle $2\theta = 44,508^\circ$ indicated Ni metal. From BET and EDX analysis of Ni-Fe/HZSM-5 catalyst with loading 10% and ratio 1:1 brings about a decrease the value of the surface area is 312,909 m²/g. Yield gas oil and kerosene of biofuel process production reached the largest value of 68.576% and 37.789% at 375°C. Gasoline yield appears at 350 °C in the amount of 0.863%. This hydrocracking reaction has a constant reaction value of 0.0057 [(liter/mol)^{0.1}min] at 350°C, 0.009 [(liter/mol)^{0.1}min] at 375°C and 0.0094 [(liter/mol)^{0.1}min] at 400°C. The reaction order in

this reaction is close to 1 and the reaction temperature increases, the reaction rate constant will increase. The activation energy value of the hydrocracking process is 35.799 KJ / mol.

Keywords : biofuel, coconut oils, Hydrocracking. HZSM-5

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kami panjatkan kepada Tuhan YME karena atas rahmat dan karunia-Nya kami dapat melaksanakan Tugas Laporan Skripsi yang berjudul *Produksi Biofuel menggunakan Katalis Ni-Fe/HZSM-5 dari Minyak Kelapa* dan menyelesaikan laporan ini tepat pada waktunya. Tugas Akhir ini merupakan syarat kelulusan bagi mahasiswa tahap sarjana di Departemen Teknik Kimia FTI-ITS Surabaya.

Selama penyusunan laporan ini, kami banyak sekali mendapat bimbingan, dorongan, serta bantuan dari banyak pihak. Untuk itu, kami ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Orang tua serta seluruh keluarga kami atas doa, dukungan, bimbingan, perhatian dan kasih sayang yang selalu tercurah selama ini.
2. Bapak Juwari, S.T., M.Eng., Ph.D., selaku Kepala Departemen Teknik Kimia FTI-ITS Surabaya.
3. Bapak Ir. Ignatius Gunardi M.T dan Bapak Firman Kurniawansyah, ST, M.Eng, Sc, Ph.D selaku Dosen Pembimbing yang telah membimbing dan membantu kami
4. Bapak Prof. Dr. Ir. Achmad Roesyadi, DEA selaku Kepala Laboratorium Teknik Reaksi Kimia dan dosen penguji skripsi yang telah memberikan saran dan masukannya.
5. Ibu Siti Nurkhamiah, S.T., MSc., Ph.D selaku dosen penguji skripsi yang telah memberikan saran dan masukannya.
6. Ibu Siti Zullaikah, S.T., M.T., Ph.D selaku dosen penguji skripsi yang telah memberikan saran dan masukannya.
7. Bapak dan Ibu Dosen Pengajar serta seluruh karyawan Jurusan Teknik Kimia FTI-ITS dan rekan-rekan dari Laboratorium Teknik Reaksi Kimia serta semua pihak

yang telah membantu penyelesaian penelitian ini, yang tidak dapat kami sebutkan satu-persatu.

Kami menyadari bahwa penulisan laporan ini masih banyak kekurangan dan jauh dari sempurna, oleh karena itu kami sangat mengharapkan saran dan masukan yang konstruktif demi kesempurnaan laporan ini.

Surabaya, Juli 2018

Penyusun

DAFTAR TABEL

Tabel II.1 Asam Lemak yang Tergandung dalam Minyak.....	6
Tabel II.2 Komposisi Buah Kelapa	8
Tabel II.3 Komposisi Trigliserida dalam Minyak Kelapa.....	9
Tabel II.4 Komposisi Asam Lemak Minyak Kelapa.....	10
Tabel II.5 Standar dan Mutu (Spesifikasi) Bahan Bakar Bensin	12
Tabel II.6 Standar dan Mutu (Spesifikasi) Minyak Tanah.....	15
Tabel II. 7 Standar dan Mutu (Spesifikasi) Bahan Bakar Diesel	16
Tabel II.8 Perbandingan Proses Perengkahan.....	18
Tabel II.9 Properti dari Zeolit Sintesis.....	29
Tabel IV.1 Hasil Analisa Komposisi Minyak Kelapa	55
Tabel IV.2 Sifat katalis Ni-Fe/HZSM-5	56
Tabel IV.3 Hasil Perhitungan dengan Melakukan Pendekatan Harga $-\frac{\Delta C_A}{\Delta t} = \frac{C_{A0} - C_{A1}}{t_1 - 0}$ Sebagai $-\frac{\partial C_A}{\partial t}$, dan C_A rata-rata (\bar{C}_A) Sebagai $C_A t$	71
Tabel IV.4 Perhitungan Energi Aktivasi Dengan Persamaan Arhenius pada Variable Suhu 350 ^o - 400 ^o C.....	76

DAFTAR GAMBAR

Gambar II.1 Struktur Zeolit	27
Gambar II.2 Struktur zeolit ZSM-5 terdiri dari unit pentasil ..	31
Gambar III.1 Peralatan Kalsinasi	42
Gambar III.2 Peralatan Proses <i>Hydrocracking</i>	43
Gambar III.3 Diagram Alir Prosedur Penelitian	45
Gambar III.4 Diagram Alir Pengubah NH ₄ ZSM-5 menjadi HZSM-5	46
Gambar III.5 Diagram Alir Proses Impregnasi logam Ni dan Fe	47
Gambar III.6 Diagram Alir <i>Hydrocracking</i> Minyak Kelapa	48
Gambar IV.1 Buah dan Minyak Kelapa	52
Gambar IV.2 Hasil Karakterisasi Minyak Kelapa dengan Analisa GC	53
Gambar IV.3 Komposisi Minyak Kelapa berdasarkan Hasil Analisa GC	54
Gambar IV.4 Hasil analisa Gas Chromatography-Mass Spectrofotometer (GC-MS) Minyak Kelapa	54
Gambar IV.5 Difraktogram katalis Ni-Fe/HZSM-5	56
Gambar IV.6 Spektra GC-MS biofuel dengan menggunakan katalis Ni-Fe/HZSM-5.....	59
Gambar IV.7 Pengaruh waktu reaksi terhadap komposisi hidrokarbon dalam biofuel menggunakan katalis Ni-Fe/HZSM-5	62
Gambar IV.8 Mekanisme Reaksi <i>Hydrocracking</i> Minyak Kelapa	64
Gambar IV.9 Skema reaksi untuk konversi trigliserida menjadi hidrokarbon	65

Gambar IV.10	Pengaruh waktu reaksi dan suhu reaksi terhadap selektivitas dalam biofuel menggunakan katalis Ni-Fe/HZSM-5 (10%; 1:1)	67
Gambar IV.11	Pengaruh waktu reaksi dan suhu reaksi terhadap konversi produk dalam biofuel menggunakan katalis Ni-Fe/HZSM-5 (10%; 1:1)	67
Gambar IV.12	Pengaruh temperatur reaksi terhadap yield biofuel menggunakan katalis Ni-Fe/HZSM-5 (10%, 1:1).....	69
Gambar IV.13	Plot $\log\left(-\frac{\partial C_A}{\partial t}\right)$ vs $\log(C_A)$ menggunakan katalis Ni-Fe/HZSM-5	74
Gambar IV.14	Plot $\ln k$ vs $\frac{1}{T}$ menggunakan katalis Ni-Fe/HZSM-5	77

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN

ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	ix
BAB I PENDAHULUAN	1
I.1 Latar Belakang	1
I.2 Perumusan Masalah	3
I.3 Tujuan Penelitian	3
I.4 Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
II.1 Minyak dan Lemak.....	5
II.2 Minyak Nabati	7
II.3 Minyak Kelapa	8
II.4 Bahan Bakar Minyak	11
II.5 Perengkahan Minyak Nabati.....	18
II.6 Katalis dan Material Pendukung.....	22
II.7 Zeolit.....	27
II.8 Logam Transisi sebagai Katalis.....	31
II.9 Kinetika Reaksi Katalitik.....	34
II.10 Penelitian Terdahulu.....	39
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	42

III.1 Bahan dan Alat	42
III.2 Variabel yang Digunakan	44
III.3 Parameter yang Dianalisa	44
III.4 Diagram Alir Penelitian	45
III.5 Prosedur Penelitian	48
III.6 Perhitungan Yield Produk	50
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	52
IV.1 Karakteristik Minyak Kelapa	52
IV.2 Hasil Karakteristik Katalis Ni-Fe/HZSM-5	55
IV.3 Hasil Analisa Produk	57
IV.4 Studi Kinetika Reaksi Hydrocracking Minyak Kelapa	70
BAB V KESIMPULAN	79
DAFTAR PUSTAKA	x
APPENDIKS A	A-1
APPENDIKS B	B-1
APPENDIKS C	C-1

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Produksi industri minyak bumi nasional semakin hari semakin menurun. Pada tahun 2014, produksi minyak bumi hanya sekitar 789 ribu *barrel per day* (bpd) atau menurun menjadi 96% dibandingkan tahun 2013 sebesar 824 ribu *barrel per day* (bpd). Sejak tahun 2010 s.d. 2014 terjadi penurunan produksi rata-rata sekitar 4,41% per tahun (Direktorat Jenderal Minyak dan Gas Bumi, 2017). Tahun 2007, Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral menyatakan persediaan minyak bumi di Indonesia bisa bertahan 11 tahun, gas bumi 30 tahun dan batu bara 50 tahun lagi (Warta Penelitian dan Pengembangan Pertanian Vol.30 No.4, 2008).

Oleh karena itu diperlukan sumber energi alternatif pengganti bahan bakar dengan menggunakan minyak nabati yang biasa disebut dengan *biofuel*. Biofuel merupakan bahan bakar baik cair, padat, maupun gas, hasil konversi dari material biologis yang disebut sebagai biomassa yang ketersediaannya sangat melimpah, murah, sehingga dapat terus diperbaharui dan ramah terhadap lingkungan (Iqbal M, 2014). Kelapa adalah salah satu biomassa yang potensial untuk dikembangkan menjadi bahan baku biodiesel, karena minyak yang terkandungnya cukup banyak yaitu 30-35% dari berat buah kelapa basah (Nugraha Satria, 2015). Selain itu, penyebaran buah kelapa di Indonesia yang luas sehingga mudah didapat. Indonesia menghasilkan 3,25 juta ton buah kelapa pada tahun 2009 dan merupakan negara penghasil kelapa terbesar di dunia, yaitu 31,15% terhadap total produksi kelapa dunia (Kementerian Pertanian, 2010).

Proses pembuatan *biofuel* antara lain *thermal cracking*, *catalytic cracking* dan *hydrocracking*. *Thermal cracking* adalah proses perengkahan yang berlangsung pada suhu dan tekanan yang tinggi. *Catalytic cracking* adalah proses perengkahan yang berlangsung dengan menggunakan katalis (Setiadi & A.W., 2006).

Hydrocracking adalah proses perengkahan berkatalis dengan mereaksikan minyak nabati dengan sejumlah gas hidrogen pada keadaan suhu dan tekanan tertentu. Produk dari metode *hydrocracking* akan menghasilkan *biofuel* berupa alkana cair rantai lurus C-15 sampai C-18 (Nugroho, et al., 2014). Proses *hydrocracking* digunakan untuk memperoleh bahan bakar seperti LPG, gasoline, kerosin, diesel dan pelumas pada industri minyak bumi (Burners, et al., 2011). Proses tersebut dapat pula diterapkan dalam memproduksi biogasolin, biokerosin, dan biogasoil dengan bahan baku minyak nabati. Hal ini dapat dilakukan karena minyak nabati terdiri dari komponen asam lemak rantai karbon panjang (Ong, et al., 2011).

Katalis yang digunakan pada proses *hydrocracking* adalah katalis yang memiliki sifat bifungsional katalis, dimana gabungan antara katalis bersifat asam dan katalis logam. Logam transisi yang biasa digunakan sebagai promotor adalah Co, Mo, Ni, Cr, Zr, Pt, dan support katalis asam seperti zeolit, Al_2O_3 , SiO_2 , silica alumina dan lain-lain (Rismawati, et al., 2015). Katalis yang digunakan untuk mengkatalis suatu proses reaksi, pada waktu tertentu, akan mengalami penurunan aktivasi. Hal ini berhubungan dengan umur (*lifetime*) katalis tersebut.

Zeolit adalah kristal alumina-silika yang mempunyai struktur berongga atau pori yang mempunyai sisi aktif yang bermuatan negatif yang mengikat secara lema kation penyeimbang muatan. Zeolit memiliki dua jenis situs asam didalam kerangka, yaitu situs asam Bronstead berupa proton yang melekat pada kerangka oksigen berikatan dengan atom silicon berada disekitar atom aluminium dan asam Lewis yang terbentuk dari dehidroksilasi dua gugus asam Bronstead yang berdekatan, situs asam inilah yang berperab dalam perengkahan katalitik (Ferdian Haliq, 2012). Zeolit HZSM-5 dikenal sebagai jenis zeolit sintetik yang mempunyai permukaan inti asam dan struktur jaringan pori yang luas serta homogen. Struktur kerangka jenis bahan alumina silica tersebut terbentuk dari bahan dasar pembangun berupa tetrahedron atom silikon atau aluminium. Kemampuan HZSM-5

untuk mempercepat berbagai jenis reaksi sangat berkaitan dengan rasio keasamannya dan parameter penting HZSM-5 yang bias dikontrol dengan rasio Ni/Fe.

Keunggulan Ni sebagai katalis adalah ikatan yang dibentuk antar Ni dengan reaktan relatif lemah sehingga produk reaksi mudah terlepas dari permukaan katalis. Dengan demikian proses reaksi dapat berlangsung lebih cepat meskipun produk reaksi memiliki range panjang rantai karbon yang cukup lebar (Satterfield, 1980). Besi dikenal sebagai senyawa yang cukup menguntungkan di bidang katalitik berdasarkan aktivitas baiknya pada reaksi hidrogenasi dan juga ekonomis (Sun dkk, 2016). Pengaruh zeolit yang dimodifikasi dengan logam Fe, Zr, dan Co diteliti oleh Li dkk (2016). Dihasilkan katalis ZSM-5 yang dimodifikasi Fe adalah yang paling efektif dalam proses peningkatan hidrokarbon aromatik dari biofuel yang dihasilkan.

Berdasarkan penelitian terdahulu, maka kami menggunakan katalis modifikasi Ni-Fe/HZSM-5 dengan harapan dapat meningkatkan aktivasi katalis untuk memperoleh yield yang diinginkan daripada penggunaan *single* logam ataupun HZSM saja.

I.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana proses pembuatan katalis Ni-Fe/HZSM-5 dengan metode *incipient wetness impregnation*.
2. Bagaimana pengaruh suhu reaksi, waktu reaksi terhadap yield yang dihasilkan dari reaksi *hydrocracking*.
3. Bagaimana data kinetika dari reaksi *hydrocracking* minyak kelapa dengan menggunakan katalis Ni-Fe/HZSM-5.

I.3 Tujuan Penelitian

1. Mempelajari pembuatan katalis Ni-Fe/HZSM-5 dengan metode *incipient wetness impregnation*.
2. Mengetahui pengaruh suhu reaksi, waktu reaksi terhadap yield yang dihasilkan dari reaksi *hydrocracking*.
3. Mengetahui data kinetika dari reaksi *hydrocracking* minyak kelapa dengan menggunakan katalis Ni-Fe/HZSM-5

I.4 Manfaat Penelitian

1. Memberikan informasi proses pembuatan biofuel berbasis minyak kelapa melalui proses hydrocracking.
2. Mengetahui informasi kinetika dari reaksi hydrocracking minyak kelapa dengan menggunakan katalis Ni-Fe/HZSM-5

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Minyak dan Lemak

Lipida adalah golongan senyawa organik yang sangat heterogen yang menyusun jaringan tumbuhan dan hewan. Lipida merupakan golongan senyawa organik kedua yang menjadi sumber makanan, merupakan kira-kira 40% dari makanan yang dimakan setiap hari. Lipida mempunyai sifat umum sebagai berikut:

1. Tidak larut dalam air
2. Larut dalam pelarut organik seperti benzena, eter, aseton, kloroform dan karbontetraklorida
3. Mengandung unsur-unsur karbon, hydrogen, dan oksigen
4. Bila dihidrolisis akan menghasilkan asam lemak
5. Berperan pada metabolisme tumbuhan dan hewan.

Minyak dan lemak termasuk dalam golongan lipida sederhana. Minyak dan lemak yang telah dipisahkan dari jaringan asalnya mengandung sejumlah kecil komponen selain trigliserida, yaitu: lipida kompleks (lesitin, sephalin, fosfatida lainnya, glikolipida), sterol yang berada dalam keadaan bebas atau terikat dengan asam lemak, asam lemak bebas, lilin, pigmen yang larut dalam lemak dan hidrokarbon. Komponen tersebut mempengaruhi warna dan flavor produk (Ketaren, 1986).

Walaupun lemak dan minyak memiliki wujud yang berbeda akan tetapi keduanya memiliki struktur dasar yang sama. Lemak dan minyak adalah trimer dari gliserol yang dinamakan trigliserida. Trigliserida dapat berwujud padat atau cair tergantung dari komposisi asam lemak yang menyusunnya. Sebagian besar minyak nabati berbentuk cair karena mengandung sejumlah asam lemak tidak jenuh, yaitu asam oleat, linoleat, atau asam linoleat dengan titik cair rendah (Ketaren, 1986).

Komponen asam lemak yang biasanya terdapat dalam minyak dan lemak dapat dilihat pada **Tabel II.1**. Minyak dan lemak yang diperoleh dari berbagai sumber mempunyai sifat fisika-kimia berbeda satu sama lain, karena perbedaan jumlah dan jenis ester yang terkandung di dalamnya.

Tabel II.1 Asam Lemak yang Terdapat dalam Minyak dan Lemak

Asam Lemak	Rumus Molekul	Sumber	Titik cair (°C)
Asam Lemak Jenuh			
Asetat	CH ₃ COOH	Minyak pohon spindle	16,6
n-Butirat	CH ₃ (CH ₂) ₂ COO H	Susu sapi, mentega	-7,6
Isovalerat	(CH ₃) ₂ CHCH ₂ C OOH	Minyak ikan lumba- lumba	- 37,6
n-Kaproat	CH ₃ (CH ₂) ₄ COO H	Minyak kelapa, kelapa sawit	-1,5
n-kaprilat	CH ₃ (CH ₂) ₆ COO H	Mentega, Minyak kelapa	1,6
Kaprat	CH ₃ (CH ₂) ₈ COO H	Susu sapi, Minyak kelapa	31,5
Laurat	CH ₃ (CH ₂) ₁₀ CO OH	Minyak kelapa, susu, inti sawit	44
Miristat	CH ₃ (CH ₂) ₁₂ CO OH	Minyak pala, babi, susu ternak	58
Palmitat	CH ₃ (CH ₂) ₁₄ CO OH	Minyak nabati, hewani	64
Stearat	CH ₃ (CH ₂) ₁₆ CO OH	Minyak nabati, hewani	69,4
Arachidat	CH ₃ (CH ₂) ₁₈ CO OH	Minyak kacang	76,3
Behenat	CH ₃ (CH ₂) ₂₀ CO OH	Mentega	80,7
Lignoserat	CH ₃ (CH ₂) ₂₂ CO OH	Minyak kacang, kacang tanah	81

Asam Lemak Tak Jenuh (satu ikatan rangkap)			
	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7=\text{CH}$		
Oleat	$-(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	sebagian besar minyak	14
	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7=\text{CH}$	Minyak hati ikan hiu,	31-
Erukat	$-(\text{CH}_2)_{11}\text{COOH}$	rape seed	32
Hypogeat		Minyak kacang, jagung	33
Asam Lemak Tak Jenuh (dua ikatan rangkap atau lebih)			
	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}=\text{CH}-$		
Linoleat	$\text{CH}_2\text{CH}=\text{CH}-$ $(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	Minyak biji kapas, biji lin, biji <i>poppy</i>	11
Clupanodona	$\text{C}_{22}\text{H}_{34}\text{O}_2$	Minyak ikan paus, hati ikan hiu	< - 78

Sumber : Krischenbauer, 1960

Asam lemak adalah asam alkanoat atau asam karboksilat berderajat tinggi (rantai C lebih dari 6). Asam lemak dibedakan menjadi asam lemak jenuh dan asam lemak tak jenuh. Asam lemak tak jenuh hanya memiliki ikatan tunggal diantara atom-atom karbon penyusunnya, sementara asam lemak tak jenuh memiliki paling sedikit satu ikatan rangkap diantara atom-atom karbon penyusunnya (Wijanarko, Anondho. 2006).

Dengan struktur yang dapat dianalogiskan dengan hidrokarbon pada umumnya, asam lemak yang tergabung dan membentuk trigliserida pada minyak nabati dapat dijadikan sebagai bahan dasar biofuel melalui reaksi *hydrocracking*, yaitu suatu mekanisme gabungan atau kombinasi antara peretakan dengan katalis dan hidrogenasi untuk menghasilkan senyawa jenuh yang dilakukan pada tekanan tinggi (Hubber, 2007).

II.2 Minyak Nabati

Minyak nabati termasuk dalam golongan lipid, yaitu senyawa organik yang terdapat dalam alam dan tak larut dalam air, tetapi larut dalam pelarut organik non polar seperti senyawa hidrokarbon atau dietil eter. Minyak dan lemak hewani maupun nabati memiliki komposisi utama berupa senyawa gliserida dan asam lemak dengan rantai C-nya yang panjang. Asam lemak

merupakan asam karboksilat yang diperoleh dari hidrolisis suatu lemak atau minyak dan umumnya mempunyai rantai karbon panjang dan tak bercabang. Gliserida merupakan ester dari gliserol. Gliserida ini terdiri dari monogliserida, digliserida dan trigliserida tergantung dari jumlah asam lemak yang terikat.

Umumnya minyak nabati mengandung 90-98% trigliserida, yaitu tiga molekul asam lemak yang terikat pada gliserol. Minyak nabati dibedakan menjadi dua jenis berdasarkan struktur kimianya, yaitu minyak jenuh dan minyak tak jenuh. Minyak jenuh adalah minyak yang mengandung asam lemak tunggal atau asam lemak jenuh (*saturated fatty acid*) dan minyak tak jenuh adalah minyak yang kaya akan asam lemak tak jenuh yang terdiri dari asam lemak tak jenuh tunggal (*monosaturated fatty acid*) yang memiliki satu ikatan rangkap dan asam lemak tak jenuh ganda (*polyunsaturated fatty acid*) yang memiliki lebih dari satu ikatan rangkap. Asam lemak yang umum ditemukan dalam minyak nabati adalah asam stearate, aplatmitat, oleat, linoleate, dan linolenat.

II.3 Minyak Kelapa

Buah kelapa berbentuk bulat panjang dengan ukuran kurang lebih sebesar kepala manusia. Buah terdiri dari sabut (*ekskarp* dan *mesokarp*), tempurung (*endokarp*), daging buah (*endosperm*) dan air buah. Komposisi buah kelapa dapat dilihat dalam table berikut.

Tabel II.2 Komposisi Buah Kelapa

Daging Buah (Buah Tua)	Jumlah Berat (%)
Sabut	35
Tempurung	12
Daging Buah	28
Air Buah	25

Sumber : Ketaren, 1986

Minyak kelapa murni (*virgin coconut oil*) merupakan hasil olahan dari daging buah kelapa segar yang dalam pengolahannya tidak melalui proses kimiawi dan tidak menggunakan pemanasan tinggi sehingga minyak yang dihasilkan berwarna bening dan

beraroma khas kelapa. Menurut standar internasional yang dikeluarkan oleh APCC (*Asian Pacific Coconut Community*) bahwa kandungan asam laurat VCO adalah 43 – 53%; kandungan asam lemak bebas sangat rendah yaitu 0,5%; serta kadar airnya mencapai 0,1 – 0,5%. Komposisi asam lemak tertinggi dalam minyak kelapa murni adalah asam laurat yang berfungsi memberi gizi serta melindungi tubuh dari penyakit menular dan penyakit degenerative (Pontoh Julius dkk, 2011).

Minyak kelapa berdasarkan kandungan asam lemak digolongkan ke dalam minyak asam laurat, karena kandungan asam lauratnya paling besar jika dibandingkan dengan asam lemak lainnya. Berdasarkan tingkat kejenuhannya yang dinyatakan dengan bilangan iod (*iodine value*), maka minyak kelapa dapat dimasukkan ke dalam golongan non drying oils, karena bilangan iod minyak kelapa tersebut berkisar antara 7,5 - 10,5. Minyak kelapa mengandung 84% trigliserida dengan tiga molekul asam jenuh, 12% trigliserida dengan dua asam lemak jenuh, dan 4% trigliserida dengan satu asam lemak jenuh (Ketaren, 1986).

Komponen yang terkandung dalam minyak kelapa sangat menentukan mutu dari minyak kelapa itu sendiri. Komposisi minyak kelapa dipengaruhi oleh faktor genetika dan faktor perlakuan pada saat panen (Ketaren, 1986). Secara umum komposisi minyak kelapa dapat disajikan pada table **II.3**

Tabel II.3 Komposisi Trigliserida dalam Minyak Kelapa

Trigliserida	Jumlah (%)
Tripalmitin	3 – 5
Dipalmito – Stearine	1 – 3
Oleo – Miristopalmitin	0 – 5
Oleo - Dipalmitin	21 – 43

Oleo – Palmitostearine	10 – 11
Palmito – Diolein	32 – 48
Stearo – Diolein	0 – 6
Linoleo – Diolein	3 – 12

Sumber : Nurhida, 2004

Tabel II.4 Komposisi Asam Lemak Minyak Kelapa

Asam Lemak	Rumus Kimia	Jumlah (%)
Asam Lemak Jenuh:		
Asam kaproat	$C_5H_{11}COOH$	0,0 – 0,8
Asam kaprilat	$C_7H_{17}COOH$	5,5 – 9,5
Asam kaprat	$C_9H_{19}COOH$	4,5 – 9,5
Asam laurat	$C_{11}H_{23}COOH$	44 – 52
Asam miristat	$C_{13}H_{27}COOH$	13 – 19
Asam palmitate	$C_{15}H_{31}COOH$	7,5 – 10,5
Asam stearat	$C_{17}H_{35}COOH$	1,0 – 3,0
Asam arachidat	$C_{19}H_{39}COOH$	0,0 – 0,4
Asam Lemak Tidak Jenuh:		
Asam palmitoleat	$C_{15}H_{29}COOH$	0,0 – 0,3
Asam oleat	$C_{17}H_{33}COOH$	5 – 8
Asam linoleat	$C_{17}H_{31}COOH$	1,5 - 2,5

Sumber : Ketaren, 1986

II.4 Bahan Bakar Minyak

Bahan bakar fosil merupakan bahan bakar yang diperoleh dari fosil (minyak mentah), minyak mentah ini diproses pada suatu kilang minyak menghasilkan produk *petroleum* yang bias langsung digunakan maupun sebagai bahan baku bagi industri petrokimia. Produk utama yang dihasilkan dari kilang minyak tersebut adalah *gasoline*, *kerosene* dan minyak diesel. Minyak bumi memiliki komponen utama yakni hidrokarbon dengan berbagai tipe seperti *normal paraffin*, *isoparaffin*, *naphthene*, *aromatic*, *multi ring naphthen* dan *multi ring aromatic*. Paraffin yang memiliki rumus umum C_nH_{2n+2} terdiri dari rantai lurus (normal) dan cabang (iso). Senyawa aromatik memiliki jumlah atom C berjumlah 5-6 C_nH_{2n-6} dan naphtha C_nH_{2n} . Produk bahan bakar juga dapat didefinisikan berdasarkan rantai hidrokarbon (HC) atau jumlah atom karbon (C), seperti: Lights (C1-C4), Naptha (C5-C9), Kerosin (C10-C14), *Gasoil* (C15-C23), Heavy residu (>C24),

II.4.1 Bensin (*Gasoline*)

Gasoline adalah campuran hidrokarbon yang sangat kompleks yang terdiri dari senyawa karbon C_5 sampai C_8 dengan daerah didih ASTM antara 40-180°C dan digunakan sebagai bahan bakar mesin pembakaran dalam (*internal combustion engine*).

Bensin atau gasoline ini berwarna kuning mudah sekali terbakar dan uap atau campurannya diudara sangat mudah meledak, uapnya lebih berat daripada uap udara dan jika terjadi kebakaran dapat mudah meluas, dapat menghasilkan muatan elektrostatis jika mengalami pengadukan.

Untuk menaikkan angka oktan bensin, biasanya ditambahkan TEL (*tetra ethyl lead*) dan MBTE (*metyl butyl tertier ether*) atau aditif lainnya. Ada beberapa jenis bensin, yang didasarkan angka oktannya, seperti di Indonesia dikenal bensin premium dengan angka oktan 88

(RON 88) dan bensin Premix dengan angka oktan 92 (RON 92). Bensin ini digunakan sebagai bahan bakar motor- motor berbusi. Spesifikasi Bensin dijelaskan pada **Tabel II.5** sesuai dengan SK Dirjen Migas No.3674K/24/DJM/2006

Tabel II.5 Standar dan Mutu (Spesifikasi) Bahan Bakar Bensin 88

No	Karakteristik	Satuan	Batasan		Metode Uji	
			Min	Maks	AST	Lain M
1.	Bilangan Oktana Angka Oktana Riset (RON)	RON	88,0	-	D2699	
2.	Stabilitas Oksidasi	menit	360	-	D525	
3.	Kandungan Sulfur	% m/m	-	0,05	D 2622 atau D 4294 atau D 7039	
4.	Kandungan Timbal (Pb)	g/l	0,013		D3237	
			Injeksi Timbal tidak diijinkan			
5.	Kandungan Logam (Mangan, Besi)	mg/l	Tidak terlacak		D 3831 atau D 5185	UO P 391
6.	Kandungan Oksigen	%m/m	-	2,7	D 4815 atau D 6839	

					atau D 5599
7.	Kandungan Olefin	% v/v	Dilaporkan		D 1319 atau D 6839 atau D 6730
8.	Kandungan Aromatik	% v/v			D 1319 atau D 6839 atau D 6730
9.	Kandungan Benzena	% v/v			D 5580 atau D 6839 atau D 6730 atau D 3606
10	Distilasi :				D 86
	10% vol. penguapan	°C	-	74	
	50% vol.penguapan	°C	75	125	
	90% vol. penguapan	°C	-	180	
	Titik didih akhir Residu	% vol	-	2,0	
11	Sedimen	mg/l	-	1	D 5452

12	Unwashed gum	mg/100m l	-	70	D 381
13	Washed gum	mg/100m l	-	5	D 381
14	Tekanan Uap	kPa	45	69	D 5191 atau D 323
15	Berat Jenis (pada suhu 15 °C)	kg/m ³	715	770	D 4052 atau 1298
16	Korosi tembaga bilah	menit		Kelas 1	D 130
17	Sulfur Mercaptan	% massa	-	0,002	D 3227
18	Penampilan visual			Jernih dan terang	
19	Bau			Dapat dipasarkan	
20	Warna			Kuning	
21	Kandungan pewarna		-	0,13	

Sumber : SK Dirjen Migas No.2674 K/24/DJM/2006

II.4.2 Minyak Tanah (*Kerosin*)

Kerosine adalah fraksi minyak bumi yang lebih berat dari gasoline dengan jumlah atom C antara 9-12 dan mempunyai daerah didih antara 180-260 °C. Penggunaan utama kerosin sebagai bahan bakar lampu penerangan. Spesifikasi sifat kerosin berdasarkan keputusan SK Dirjen Migas No.21 K/72/DDJm/1990 menetapkan batas minimum *flash point* 100°F dan *smoke point* 16

mm dengan *specific gravity* pada 60/60°F maksimum 0,835.

Tabel II.6 Standar dan Mutu (Spesifikasi) Minyak Tanah

No	Karakteristik	Satuan	Batasan MFO-1		Batasan MFO-2		Metode uji ASTM
			Min.	Maks.	Min	Maks.	
1	Densitas (suhu 15°C)	kg/m ³	-	991	-	1	Densitas (suhu 15°C)
2	Viskositas kinematik (suhu 50°C)	mm ² /s	-	180	-	2	Viskositas kinematik (suhu 50°C)
3	Kandungan sulfur	% m/m	-	4.5	-	3	Kandungan sulfur
4	Titik tuang	°C	-	30	-	4	Titik tuang
5	Titik nyala	°C	-	-	-	5	Titik nyala
6	Residu karbon	% m/m	60	16	60	6	Residu karbon
7	Kandungan abu	% m/m	-	0.1	-	7	Kandungan abu
8	Sedimen total	% m/m	-	0.1	-	8	Sedimen total
9	Kandungan air	% v/v	-	1	-	9	Kandungan air
10	vanadium	mg/kg	-	200	-	10	vanadium
11	Aluminium + silikon	mg/m ³	-	80	-	11	Aluminium + silikon

Sumber : SK Dirjen Migas No.2674 K/24/DJM/2006

II.4.3 Bahan Bakar Diesel

Bahan bakar diesel adalah faksi minyak bumi dengan jumlah bilangan atom C antara 13-19 dengan daerah didih pada suhu 175-350 °C. Bahan bakar mesin diesel sebagian besar terdiri dari senyawa hidrokarbon dan senyawa non-hidrokarbon. Senyawa hidrokarbon yang dapat ditemukan dalam bahan bakar diesel antara lain parafinik, naftenik, olefin, dan aromatic. Untuk senyawa non-hidrokarbon terdiri dari senyawa yang mengandung unsur non-logam yaitu S, N, O dan unsur logam seperti vanadium, nikel dan besi.

Kualitas dari bahan bakar diesel dinyatakan dengan angka setana (*cetane number*) yang dapat diperoleh dari perbandingan antara keterlambatan menyala bahan bakar pembanding (*reference fuels*) dimana menggunakan senyawa setana atau n-heksadekan (C₁₆H₃₄) sebagai bahan bakar pembanding (Hardjono, 2000).

Tabel II. 7 Standar dan Mutu (Spesifikasi) Bahan Bakar Diesel

No	Karakteristik	Satuan	Batasan		Metode uji	
			Min.	Maks.	ASTM	Lain-lain
1	Bilangan cetana		48	-	D 614	
2	Berat jenis (suhu 15°C)	kg/m ³	815	860	D 1298 atau D 4052	
3	Viskositas (suhu 40°C)	mm ² /s	2	4,5	D 445	

4	Kandungan sulfur (Pb)	% m/m		0,35 0,3 0,25 0,05 0,005	D 2622 atau D 5453 atau D 4294 atau D 7039	
5	Distilasi: 90% vol.penguapan	°C	-	370	D 86	UOP 391
6	Titik nyala	°C	52	-	D 93	
7	Titik tuang	°C	-	18	D 97	
8	Residu karbon	% m/m	-	0,1	D 4530 atau D 189	
9	Kandungan air	mm/k g	-	50	D 6304	
10	<i>Biological growth</i>	kg/m ³	Nihil			
11	Kandungan FAME	% v/v	-	-		
12	Kandungan metanol	% v/v	Tak terdeteksi	D 4815	D 4815	
13	Korosi bilah tembaga	menit	-	Kelas 1	D 130	
14	Kandungan abu	% m/m	-	0,01	D 482	

15	Kandungan sedimen	% m/m	-	0,01	D 473
16	Bilangan asam kuat	mg KOH/ g	-	0	D 664
17	Bilangan asam total	mg KOH/ g	-	0,6	D 664
18	Penampilan visual	Jernih, terang			
19	Warna	No. AST M		3	D 1500
20	Lubricity	micro n	-	460	D 6079

Sumber : SK Dirjen Migas No.2674 K/24/DJM/2006

II.5 Perengkahan (*cracking*) Minyak Nabati

Perengkahan (*Cracking*) adalah suatu proses pemutusan senyawa hidrokarbon rantai panjang menjadi senyawa perengkahan menghasilkan senyawa seperti metan, etan, propan, butan, *gasoline*, *kerosene* serta *diesel*. Bahan baku yang biasa digunakan dalam proses perengkahan adalah minyak bumi dan residu (Clark, 2017), dalam proses perengkahan terdapat 3 bagian, yaitu *thermal cracking*, *catalytic cracking* dan *hydrocracking*.

Tabel II.8 Perbandingan Proses Perengkahan

Proses Perengkahan	Kondisi Operasi	Katalis
<i>Thermal Cracking</i>	T= 800°C ; P= 700 kPa	Tanpa katalis
<i>Catalytic Cracking</i>	T= 450°-510°C ; P= 70-138 kPa	umumnya zeolit
<i>Hydrocracking</i>	T= 400°-815°C ; P= 6895-13790 kPa	Zeolit dan hydrogen

Sumber : Cleveland dan Szostak, 2014

II.5.1 Perengkahan Termal (*Thermal Cracking*)

Proses perengkahan termal (*thermal cracking*) adalah suatu proses pemecahan rantai *hydrocarbon* dari senyawa rantai panjang menjadi *hydrocarbon* dengan rantai lebih pendek melalui bantuan panas. Panas yang digunakan dalam proses ini menggunakan *steam cracking* yaitu uap yang memiliki suhu tinggi. Kelemahan pada proses ini yaitu rekasi berjalan lambat dan rantai karbon bahan baku akan terengkah secara acak, sehingga selektivitasnya tidak dapat dikontrol, dan konversinya sangat rendah. Kondisi operasi pada *thermal cracking* yaitu pada suhu 800°C dan tekanan 700 kPa. Proses perengkahan termal bertujuan untuk mendapatkan fraksi minyak dengan *boiling range* yang lebih rendah dari feed (umpan)(Bakhshi & Adjaye, 1985).

II.5.2 Perengkahan Katalitik (*Catalytic Cracking*)

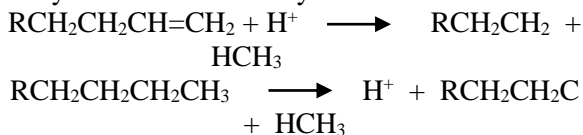
Catalytic cracking adalah suatu cara yang digunakan untuk memecah hidrokarbon kompleks menjadi molekul yang lebih sederhana. Perengkahan berkatalis ini dilakukan dengan menggunakan katalis pada kondisi temperature tertentu. Katalis yang digunakan dalam proses perengkahan pada umumnya adalah katalis logam yang dimodifikasi dengan suatu bahan pengemban. Proses ini menghasilkan produk dengan kualitas yang lebih baik, tergantung pada jenis katalis yang digunakan. Dalam sejarah katalis, sintesa ZSM-5 oleh Mobil Oil menjadi terobosan yang penting karena katalis ini mempunyai keasaman dan selektivitas bentuk yang kuat. Suhu yang digunakan pada metode ini antara 450 – 510°C dan tekanan 70 – 138 kPa (Setiadi & A.W., 2006)

Keuntungan dari perengkahan katalitik adalah bahwa reaksi enzimatik atau reaksi transesterifikasi yang digunakan untuk memproduksi biofuel membutuhkan waktu reaksi yang lama sedangkan perengkahan katalitik dapat digunakan untuk memproduksi kerosin, gasoline, dan diesel dengan cara yang lebih cepat (Ong dkk, 2010).

II.5.3 Perengkahan Hidro (*Hydro Cracking*)

Merupakan kombinasi dari perengkahan katalitik dan hidrogenasi. H₂ akan meminimalkan terbentuknya kokas (*coke*), sehingga umur katalis lebih panjang. *Hydrocracking* merupakan kombinasi antara cracking dan hidrogenasi untuk menghasilkan senyawa yang jenuh. Reaksi tersebut dilakukan pada tekanan yang tinggi dan suhu yang lebih rendah. Keuntungan lain dari *hydrocracking* ini adalah bahwa reaksi berlangsung bertahap, mulai dari hidrogenasi hingga dilanjutkan proses *cracking* (Nugroho, et al., 2014).

Cracking merupakan reaksi pemutusan ikatan tunggal antar C-C yang melibatkan katalis. Katalis yang digunakan biasanya berupa padatan asam semisal zeolit atau silika alumina. Reaksi ini terjadi melalui mekanisme perengkahan ion karbonium. Mula-mula katalis yang bersifat asam menambahkan proton ke molekul olefin atau menarik ion hidrida dari alkana sehingga menyebabkan terbentuknya ion karbonium:

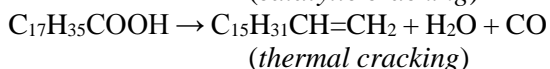
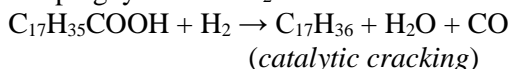


Hidrogenasi adalah reaksi adisi hydrogen (H_2) pada gugus etilenik atau ikatan rangkap. Reaksi hidrogenasi ini dilakukan dengan menggunakan gas hydrogen dan penambahan serbuk nikel (Ni) dan besi (Fe) sebagai katalis. Kegunaan reaksi hidrogenasi adalah untuk menjenuhkan ikatan rangkap menjadi ikatan tunggal pada rantai karbonnya. Agar hidrogenasi dapat berlangsung, gas hidrogen, bahan yang akan dihidrogenasi, dan katalis padat harus ada pada temperatur yang sesuai. Reaksi hidrogenasi pada umumnya menggunakan logam-logam transisi sebagai katalis. Pemilihan logam sebagai katalis disesuaikan pada senyawa yang akan direduksi dan kondisi reaksi hidrogenasinya.

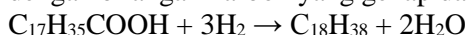
Hydrocracking minyak nabati memungkinkan tranformasi dari trigliserida menjadi hidrokarbon. Selama reaksi hidrogenasi, molekul trigliserida dari minyak nabati kemudian dikonversi menjadi molekul-molekul yang lebih kecil seperti digliserida, monogliserida, asam karboksilat, dan senyawa yang mengandung oksigen. Produk tersebut kemudian ditransformasi menjadi hidrokarbon dengan tiga reaksi yang berbeda, yaitu dekarboksilasi, dekarbonilasi, dan hidrideoksigenasi. Tiga reaksi yang paling penting berlangsung selama *hydrocracking* minyak nabati, yaitu:

1. Reaksi dekarboksilasi, reaksi yang mengarah ke penghapusan kelompok karboksilat dan menghasilkan karbon dioksida (CO_2).
$$C_{17}H_{35}COOH \rightarrow C_{17}H_{36} + CO_2$$
2. Reaksi dekarbonilasi, reaksi yang menghasilkan hidrokarbon utama dengan

bilangan karbon yang ganjil. Produk sampingnya adalah H₂O dan CO.



3. Reaksi hidrideoksigenasi (reduksi), reaksi yang menghasilkan hidrokarbon utama dengan bilangan karbon yang genap dan air.



II.6 Katalis dan Material Pendukung

Katalis adalah suatu senyawa kimia yang menyebabkan reaksi menjadi lebih cepat untuk mencapai kesetimbangan tanpa mengalami perubahan kimiawi diakhir reaksi. Katalis tidak mengubah nilai kesetimbangan dan berperan dalam menurunkan energi aktivitas. Dalam penurunan energi aktivasi ini, maka energy minimum yang dibutuhkan untuk terjadinya tumbukan berkurang sehingga terjadinya reaksi berjalan cepat (Gates, 1992). Katalis pada umumnya mempunyai sifat-sifat sebagai berikut: aktivitas, selektivitas, umur, regenerasi dan kekuatan mekanik. Secara umum katalis mempunyai 2 fungsi yaitu mempercepat reaksi menuju kesetimbangan atau fungsi aktivitas dan meningkatkan hasil reaksi yang dikehendaki atau fungsi selektivitas (Nasikin, et al., 2010). Katalis memiliki beberapa parameter yang harus diperhatikan untuk menilai kualitas suatu katalis sebagai berikut:

1. Aktifitas, yaitu kemampuan katalis untuk mengkonversi reaktan menjadi produk yang diinginkan.
2. Selektifitas, yaitu kemampuan katalis untuk mempercepat suatu reaksi diantara beberapa reaksi yang terjadi sehingga produk yang diinginkan dapat diperoleh dengan produk samping seminimal mungkin.
3. Stabilitas, yaitu lamanya katalis memiliki aktifitas dan selektifitas seperti keadaan semula.
4. Yield, yaitu jumlah produk tertentu untuk setiap satuan reaktan yang terkonsumsi.

5. Kemudahan diregenerasi, yaitu proses pengembalian aktifitas dan selektifitas katalis pada keadaan semula.

II.6.1 Penggolongan Katalis

1. Katalis Homogen

Katalis homogen adalah katalis yang berada pada fasa yang sama dengan reaktannya. Kekurangan katalis ini adalah pemisahan yang sulit dari media reaksi.

2. Katalis Heterogen

Katalis heterogen adalah katalis yang mempunyai fasa yang berbeda dengan reaktannya. Persyaratan dari suatu katalis heterogen adalah bahwa pereaksi gas diadsorpsi oleh katalis. Pada umumnya katalis heterogen berbentuk padatan dan memiliki permukaan metal aktif.

Pada katalis heterogen terdapat beberapa komponen penyusun. Komponen tersebut dibagi menjadi 3 yaitu senyawa aktif, penyangga dan promotor.

1. Senyawa aktif

Senyawa aktif adalah senyawa yang mengatur terjadinya reaksi kimia pada katalis, sehingga dapat merubah reaktan menjadi produk. Beberapa contoh senyawa yang dapat berfungsi sebagai senyawa aktif yaitu logam dalam bentuk murninya atau dalam bentuk oksidanya, seperti Ni (nikel), Pt (platina) dll (Richardson, 2015).

2. Penyangga

Penyangga atau support merupakan komponen terbesar

pada katalis yang mempunyai fungsi sebagai tempat untuk mendistribusikan senyawa aktif ke pori-pori bahan penyangga secara merata sehingga terjadi dispersi senyawa aktif yang merata. Bahan penyangga mempunyai sifat inert sehingga tidak mempengaruhi reaksi yang terjadi pada katalis dan tahan terhadap panas pada proses kimia di industri (Richardson, 2015).

3. Promotor

Promotor merupakan bahan yang di gunakan sebagai aditif untuk meningkatkan aktivitas katalis dengan menjaga dispersi fasa aktif dan meningkatkan stabilitas termal dari pendukung serta mampu meningkatkan selektivitas (Richardson, 2015).

II.6.2 Pemilihan Katalis

Pemilihan katalis untuk proses dapat didasarkan pada beberapa hal berikut:

- Aktifitas, selektivitas, stabilitas, kekuatan mekanik dari katalis
- Kondisi proses
- Mudah diregenerasi
- Komposisi feed
- Penggunaan promotor

II.6.3 Pembuatan Katalis

Tujuan utama dari suatu metode preparasi adalah untuk mendistribusikan fasa aktif (metal)

dengan cara yang paling efisien (misalnya dalam bentuk terdispersi, yaitu untuk memperoleh luas permukaan spesifik yang besar dan juga aktivitas maksimum persatuan berat dari senyawa aktif) pada permukaan padatan penyangga (Calvin H, 2006).

Pembuatan katalis pada umumnya menggunakan metode impregnasi dan metode presipitasi (Calvin H, 2006).

1. Proses pembuatan katalis dengan metode impregnasi.

Salah satu metode dalam preparasi katalis adalah impregnasi. Impregnasi adalah preparasi katalis dengan mengadsorpsikan garam precursor yang mengandung akti logam didalam larutan kepada padatan pengemban. Banyak katalis yang disintesis dengan metode ini. Metode ini merupakan teknik preparasi katalis yang paling sering digunakan daripada metode lainnya. Salah satu yang mendasari pemilihan metode impregnasi adalah bahwa didalam pengemban tidak terdapat anion atau kation yang dapat dipertukarkan. Metode tersebut bergantung pada kation logam yang ingin diembankan. Untuk ion kompleks yang sukar mengalami pertukaran kation, maka metode yang tepat adalah impregnasi. Setelah diimpregnasi, langkah selanjutnya adalah pengeringan dan pemanasan pada suhu tinggi (kalsinasi), sehingga terjadi dekomposisi precursor menjadi spesi aktif. Menurut teknik pembuatannya, preparasi katalis dengan metode impregnasi dibagi menjadi dua metode impregnasi, yaitu:

- a. Impregnasi basah (*wet impregnation*), pada impregnasi basah ,penambahan jumlah larutan precursor fasa aktif lebih besar dari 1.5 kali volume pori penyangga. Metode ini dapat menghasilkan deposisi precursor fasa aktif yang lebih banyak pada bagian luar penyangga setelah dilakukan proses pengeringan dan juga menghasilkan distribusi fasa aktif pada bagian luar penyangga. Distribusi ini bermanfaat untuk mengurangi penetrasi reaktan kedalam katalis, sehingga dapat meningkatkan aktifasi katalis.
- b. Impregnasi kering (*dry impregnation*), pada impregnasi kering penambahan jumlah larutan precursor fasa aktif kurang dari 1.2 volume pori penyangga.
- c. *Incipient wetness impregnation*. Pada metode ini, jumlah larutan precursor aktif (impregnan) yang ditambahkan sama dengan jumlah volume penyangga. keuntungan dari metode ini adalah akurat dalam mengontrol komponen aktif yang akan digabungkan dalam katalis, kelemahannya sulit melakukan pembuatan dengan % berat komponen aktif yang besar.

(Calvin H, 2006)

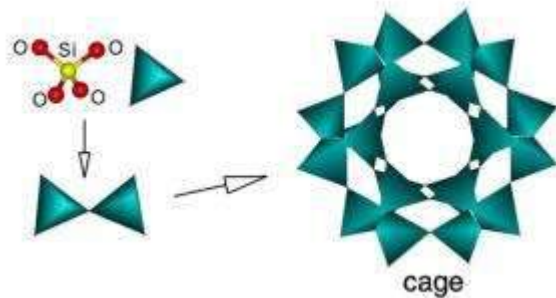
2. Proses pembuatan katalis dengan metode presipitasi.

Secara umum prosedur presipitasi adalah mengontakkan larutan garam logam dengan larutan alkali, ammonium hidroksida atau logam karbonat. Dasar pemilihan senyawa yang akan digunakan dalam metode presipitasi berdasarkan pada kemudahan perolehannya dan sifat kelarutannya dalam air (Calvin H, 2006).

II.7 Zeolit

Zeolit adalah mineral dengan struktur Kristal aluminasilika yang berbentuk rangka (*framework*) tiga dimensi, mempunyai rongga dan saluran serta mengandung ion-ion logam seperti Na, K, Mg, Ca, dan Fe serta molekul air (Setiadi, 2005). Pemanfaatan Zeolit sangat luas seperti sebagai adsorben, penukar ion, dan katalis. Kemampuan zeolit sebagai katalis berkaitan dengan tersedianya pusat-pusat aktif dalam saluran antar zeolit (Bhatia & Subhash, 2000). Bila zeolit digunakan pada proses katalitik maka akan terjadi difusi molekul ke dalam ruang kosong antar kristal dan reaksi kimia juga terjadi di permukaan tersebut. Zeolit merupakan katalis yang cukup efektif digunakan pada proses perengkahan, isomerisasi, dan alkilasi hidrokarbon.

Secara empirik rumus struktur zeolit berdasarkan unit terkecil dinyatakan $M_{x/n}(AlO_2)_x(SiO_2)_y \cdot mH_2O$ dengan M sebagai kation penetral yang bervalensi n dan suku yang berada didalam kurung adalah rumus molekul dari kerangka zeolite. Komposisi zeolite berpengaruh pada sifat permukaannya.



Gambar II.1 Struktur Zeolit

(Susianto dkk, 2009)

Zeolit merupakan polimer anorganik yang tersusun dari unit perulangan SiO_4 dan AlO_4 sehingga membentuk jaringan tetrahedral tiga dimensi yang didalamnya terbentuk saluran-saluran pori dan rongga-rongga yang tersusun secara beraturan .

Perubahan rasio Si/Al pada suatu material akan mempengaruhi sifat dari material tersebut. Semakin tinggi rasio Si/Al suatu material maka material tersebut semakin bersifat hidrofobik. Dealuminasi adalah metode komersial yang paling penting untuk mendapatkan jumlah Al yang diinginkan. Kenaikan rasio Si/Al akan memberikan pengaruh terhadap sifat-sifat zeolit seperti berikut ini:

1. Terjadinya perubahan medan magnet elektrostatik dalam zeolit, sehingga mempengaruhi interaksi adsorpsi zeolit. Zeolit bersilika rendah akan bersifat hidrofilik sementara zeolit bersilika tinggi bersifat hidrofobik (dan lipofilik).
2. Zeolit bersilika rendah (zeolit A dan X) dapat stabil pada temperatur 800-900 °K, sedangkan zeolit bersilika tinggi (H-ZSM 5) stabil hingga temperatur 1300 °K
3. Zeolit bersilika rendah mudah rusak pada pH kurang dari 4, sedangkan zeolit bersilika tinggi lebih stabil dalam lingkungan asam kuat.
4. Kekuatan asam akan meningkat, sedangkan sisi Asam Bronsted akan berkurang dengan naiknya rasio Si/Al. Kekuatan asam ini disebabkan oleh posisi aluminium dalam kerangka lebih terisolasi. Semakin banyak kandungan Al dalam *framework* zeolit (rasio Si/Al menurun) akan menyebabkan kekuatan atau total situs asam zeolit menurun. Sehingga dapat dinyatakan bahwa dealuminasi akan menyebabkan peningkatan keasaman zeolit. Keasaman yang dimaksud adalah kekuatan asam

terdapat pada permukaan zeolit atau banyaknya situs asam yang terdapat pada permukaan zeolit.

Beberapa zeolit telah ditemukan dan dikenal sekitar 40 jenis zeolit merupakan zeolit alam dan lebih dari 150 jenis zeolit berhasil disintesa. Dari jumlah tersebut hanya sejumlah kecil saja yang diaplikasikan secara komersial. Pada **Tabel II.8** dapat dilihat beberapa zeolit hasil sintesa dengan beberapa aplikasinya.

Tabel II.9 Properti dari Zeolit Sintesis

Tipe zeolit	Dimensi ukuran pori (Å)	Ratio Si/Al	Aplikasi
Zeolit A	4.1	2-5	Pembuatan detergen
Faujasite	7.4	3-6	Perengkahan berkatalis, <i>hydrocracking</i>
ZSM-5	5.2 x 5.8	30-200	<i>Isomerasi xylene</i> , alkilasi benzene, <i>catalytic cracking</i> , <i>catalyst dewaxing</i> , conversi methanol
Mordenite	6.7 x 7.0	10-12	Hydro-isomerasi, <i>dewaxing</i>

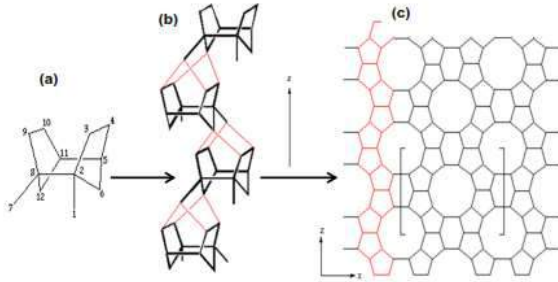
Sumber : Susianto dkk, 2009

II.7.1 Zeolit ZSM-5

Zeolit sintetis jenis HZSM-5 dikembangkan oleh peneliti-peneliti *Mobile Oil Corp* sekitar tahun 1960. Zeolit HZSM-5 dikenal sebagai jenis zeolit sintetis yang mempunyai permukaan inti asam dan struktur jaringan pori

yang luas serta homogen. Struktur kerangka jenis bahan alumina silica tersebut terbentuk dari bahan dasar pembangun berupa tetrahedron atom silikon atau aluminium. Kemampuan HZSM-5 untuk mempercepat berbagai jenis reaksi sangat berkaitan dengan rasio keasamannya dan parameter penting HZSM-5 yang bias dikontrol dengan rasio Ni/Fe. Namun beragamnya variasi Ni/Fe ini sama sekali tidak akan mempengaruhi struktur kerangka HZSM-5 tetapi diharapkan menyebabkan pertukaran dalam asam dan distribusi kekuatan asam (Bhatia & Subhash, 2000).

Zeolit yang digunakan didalam perengkahan berkatalis adalah zeolite tipe-tipe X, Y dan ZSM-5. ZSM-5 sendiri adalah zeolite dengan kandungan silica tinggi dengan komposisi ideal tiap unit selnya dapat di formulasikan sebagai $H_n[Al_nSi_{96n}O_{192}]16H_2O$ dan umumnya n berharga 3. Berdasarkan hasil analisa BET, volume pori rata-rata HZSM-5 sebesar 0,2071 cm^3/g . Pada katalis ZSM-5 tetahedral SiO_4 bergabung membentuk cincin dengan anggota 5 atom O atau disebut pentasil. Pentasil-pentasil akan bergabung membentuk sebuah lapisan dengan kerangka masing-masing pori beranggotakan 8 pentasil dan 2 heksasil, sehingga membentuk pori pada kisaran 5.1 x 5.6 A dan 5.4 x 5.6 A (Susianto dkk, 2009). Kedua pori yang dihasilkan dari bentukan kerangka ini, satu sel parallel pori dan satu sel yang lain akan tegak lurus terhadap pori tersebut serta kerangka kelok-kelok.



Gambar II.2 Struktur zeolit ZSM-5 terdiri dari unit pentasil

(Flanigen, 1991)

Zeolit yang digunakan dalam perengkahan berkatalis adalah zeolite tipe X,Y dan ZSM-5. Zeolit tipe X dan Y mempunyai struktur kristal yang sama. Zeolit X mempunyai perbandingan Si/Al lebih rendah dari zeolite Y. Disamping itu zeolite X mempunyai stabilitas termal dan hidrotermal yang lebih rendah dari zeolite Y. Zeolit ZSM-5 merupakan katalis yang dapat meningkatkan yield olefin dan oktan. Dibandingkan dengan silica-alumina, zeolite Y memiliki beberapa keunggulan yaitu aktivitas lebih tinggi, stabilitas kimiawi, termal dan hidrotermal lebih baik, perolehan bensin lebih tinggi, perolehan kokas dan gas lebih rendah, kekuatan fisik lebih baik dan ketahanan terhadap kontaminan juga lebih baik.

(Susianto, dkk. 2009)

II.8 Logam Transisi sebagai Katalis

Logam transisi merupakan material padat yang memiliki sifat karakteristik secara kimiawi. Keadaan yang menentukan sifat-sifat kimia dan sifat-sifat fisika unsur golongan transisi yaitu belum terisi sepenuhnya orbital *d* oleh elektron. Logam Ni termasuk dalam logam transisi yang memiliki sifat karakteristik secara

kimia. Belum terisi sepenuhnya orbital d oleh electron Ni mengakibatkan terjadinya interaksi antara orbital d dengan orbital s dan p sehingga menyebabkan keadaan elektron terdegenerasi. Pada keadaan ini mempunyai energi yang rendah dan aktifitasnya tinggi dalam pembentukan dan pemutusan ikatan.

Unsur-unsur transisi mempunyai sifat-sifat tertentu yaitu:

1. Semua unsur transisi adalah logam
2. Hampir semua unsur transisi bersifat keras, kuat, titik lelehnya tinggi, titik didih tinggi serta penghantar panas dan listrik yang baik
3. Unsur transisi dapat membentuk campuran satu dengan lain dan dengan unsur yang mirip logam
4. Banyak diantaranya cukup elektropositif sehingga dapat larut dalam asam mineral, walau beberapa diantaranya bersifat mulia sehingga tidak terpengaruh oleh asam
5. Senyawa unsur transisi umumnya berwarna dengan valensi yang beragam dan memiliki beberapa macam valensi
6. Karena kulit yang terisi electron sebagian, maka unsur ini kebanyakan bersifat paramagnetik

Logam transisi golongan VIII B yang diimpregnasikan pada pengemban yang memiliki luas permukaan spesifik dan stabilitas termal akan memberikan aktivitas katalitik tinggi dengan menyediakan situs aktif. Logam transisi golongan V, VI dan VII dalam bentuk oksidanya memberikan kemampuan untuk membuat penambahan nukleofilik pada kisi atom oksigennya (Campbell, 1998)

Beberapa kasus pada logam transisi yang memiliki berbagai valensi dapat membentuk suatu senyawa intermediet yang tidak stabil, pada kasus lain, logam transisi memberikan reaksi permukaan yang sesuai, sehingga banyak logam-logam unsur transisi dan senyawanya bersifat katalitik.

II.8.1 Logam Ni

Nikel (Ni) adalah unsur logam transisi yang terdapat pada orbital d pada system periodik unsur. Unsur logam Ni mempunyai orbital atom 3d yang belum penuh, maka sesuai aturan Hund terdapat electron-elektron yang belum berpasangan pada orbital d. Keadaan ini mengakibatkan orbital d reaktif dalam pembentukan senyawa intermediet antar reaktan dengan menurunkan energy aktivasi reaksi dan meningkatkan laju reaksi. Keadaan dengan orbital d yang belum terisi penuh ini akan menentukan sifat-sifat nikel, misalnya sifat-sifat magnetic, struktur padatan dan kemampuannya membentuk senyawa kompleks. Fenomena ini menjadikan logam Ni sangat berperan dalam berbagai reaksi katalitik.

Keunggulan Ni sebagai katalis adalah ikatan yang dibentuk antar Ni dengan reaktan relatif lemah sehingga produk reaksi mudah terlepas dari permukaan katalis. Dengan demikian proses reaksi dapat berlangsung lebih cepat meskipun produk reaksi memiliki range panjang rantai karbon yang cukup lebar (Savitri, 2016)

II.8.2 Logam Fe

Besi merupakan logam dengan tingkat kelimpahan yang tinggi di bumi, pengolahannya relatif mudah dan murah serta mempunyai sifat-sifat yang menguntungkan karena mudah dimodifikasi. Karena itu besi telah menjadi alternatif katalis yang ideal dalam penelitian di laboratorium maupun industri (Angasa, 2011).

Material besi (Fe) diketahui telah banyak digunakan sebagai katalis heterogen dalam sintesis NH_3 (amonia). Ertl (1983) telah melakukan sintesis NH_3 menggunakan katalis Fe pada temperatur 450-550 °C. Awalnya digunakan bentuk oksida besi

$\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ sebagai katalis dalam proses sintesis. Perkembangan selanjutnya diketahui faktor yang berpengaruh terhadap aktivitas katalitik Fe adalah sifat kemagnetan/momen magnetik permukaan yang diwakilkan oleh bidang permukaan kristalografi logam Fe (Stibor, 2001).

Leng dkk (1999) menggunakan katalis HZSM-5 dengan minyak sawit pada reaktor mikro fix-bed dengan kondisi operasi temperatur 380-420 °C dan tekanan 0,1 Mpa. Hasilnya menunjukkan hidrokarbon seperti *gasoline*, *kerosene*, dan diesel telah dihasilkan. Pada suhu 400 °C, 40 wt % dari *gasoline* telah tercapai. Sun dkk (2016) telah menggunakan katalis Fe/ZSM-5 dengan proses katalitik pirolisis. Katalis Fe/ZSM-5 menunjukkan aktivitas yang baik dalam mengkonversi senyawa oksigenat dan menghasilkan senyawa monosiklik aromatik hidrokarbon (MAH) dengan menggunakan temperatur sebesar 500-600°C.

Diantara logam, besi dikenal sebagai senyawa yang cukup menguntungkan di bidang katalitik berdasarkan aktivitas baiknya pada reaksi hidrogenasi dan juga ekonomis (Sun dkk, 2016). Pengaruh zeolit yang dimodifikasi dengan logam Fe, Zr, dan Co diteliti oleh Li dkk (2016). Dihasilkan katalis ZSM-5 yang dimodifikasi Fe adalah yang paling efektif dalam proses peningkatan hidrokarbon aromatik dari biofuel yang dihasilkan.

II.9 Kinetika Reaksi Katalitik

II.9.1 Penentuan Orde Reaksi

1 Metode Integral

Metode analisa integral merupakan suatu cara untuk memperkirakan persamaan reaksi dengan menggunakan integral dan

membandingkan perkiraan grafik dengan data yang diperoleh dari percobaan.

Dengan menganggap reaksi dengan jumlah gas H₂ yang berlebihan, maka bias dianggap konsentrasi gas tetap selama reaksi, maka persamaan menjadi:

$$-r_A = -\frac{dC_A}{dt} = k' \cdot C_A^m \quad (2.1)$$

Dengan $k' = k \cdot C_B^n$, apabila $m=1$ maka,

$$r = -\frac{dC_A}{dt} = k' \cdot C_A \quad (2.2)$$

Hasil integrasi dari waktu $t=0$ hingga $t=t$ dengan $C_A=C_{A0}$ hingga $C_A=C_A$ adalah sebagai berikut :

$$-\ln \frac{C_A}{C_{A0}} = kt \quad (2.3)$$

Apabila perbandingan A yang bereaksi dengan A mula-mula dinyatakan sebagai konversi (x) maka dapat dinyatakan :

$$C_A = C_{A0} - C_{A0}X = C_{A0}(1-x) \quad (2.4)$$

$$-\ln \frac{C_A}{C_{A0}} = 1 - x \quad (2.5)$$

Maka persamaan (2.5) dapat dinyatakan :

$$-\ln(1 - x) = k.t \quad (2.6)$$

(Levenspiel, 1972)

Apabila dibuat grafik hubungan $-\ln \frac{C_A}{C_{A0}}$ versus t atau $-\ln(1 - x)$ versus t akan mendekati garis lurus dan konstanta kecepatan reaksinya adalah gradient dari garis tersebut. Tetapi, apabila bukan garis lurus maka dicoba orde reaksi yang lain (Febriarista, 2015).

2 Metode Analisis Differensial

Metode differensial dilakukan dengan mengevaluasi seluruh term dalam persamaan kecepatan reaksi yang berbentuk differensial dan

menguji kesesuaian bentuk persamaan kecepatan reaksi yang ditinjau dengan data-data yang diperoleh berdasarkan percobaan. Harga-harga parameter kinetiknya dapat ditentukan melalui prosedur atau teknik linierisasi terhadap model persamaan kinetika yang ditinjau.

Jika ada 2 model persamaan kinetika yang ditinjau:

$$1. \text{ Bentuk : } -r_A = -\frac{dC_A}{dt} = k' \cdot C_A^m \quad (2.7)$$

Bentuk ini dapat dilinierisasi menjadi :

$$\log\left(-\frac{dC_A}{dt}\right) = \log k + n \cdot \log C_A \text{ atau : } \log(-r_A) = \log k + n \cdot \log C_A$$

$$2. \text{ Bentuk: } -r_A = -\frac{dC_A}{dt} = \frac{k_1 C_A}{1 + k_2 C_A} \quad (2.8)$$

Bentuk ini dapat dilinierisasi menjadi :

$$a \quad \frac{1}{-\frac{dC_A}{dt}} = \frac{k_2}{k_1} + \frac{1}{k_1} \frac{1}{C_A} \text{ atau : } \frac{1}{-r_A} = \frac{k_2}{k_1} + \frac{1}{k_1} \frac{1}{C_A}$$

$$b \quad -\frac{dC_A}{dt} = \frac{k_1}{k_2} + \frac{1}{k_2} \frac{dC_A}{dt} \text{ atau : } -r_A = \frac{k_1}{k_2} + \frac{1}{k_2} \frac{(-r_A)}{C_A}$$

Harga $-\frac{dC_A}{dt}$ evaluasi menggunakan metode menarik garis-garis singgung pada grafik C_A vs t pada beberapa harga C_A yang dipilih. Garis-garis singgung dibuat pada titik-titik data yang bersesuaian. Kemudian membuat plot grafik antara $\log\left(-\frac{dC_A}{dt}\right)$ vs $\log C_A$ sehingga berdasarkan regresi linier yang sesuai didapatkan slope berupa orde reaksi dan intercept berupa $\log k$. Logaritma bilangan dasar 10 (log) dapat saling digantikan dengan logaritma bilangan dasar natural (ln).

(Febriarista, 2015)

Salah satu faktor yang dapat mempercepat laju reaksi adalah konsentrasi. Menemukan orde reaksi merupakan salah satu cara memperkirakan sejauh mana konsentrasi zat pereaksi mempengaruhi laju reaksi tertentu.

Secara kuantitatif, kecepatan reaksi kimia ditentukan oleh orde reaksi, yaitu jumlah dari eksponen konsentrasi pada persamaan kecepatan reaksi.

Misal suatu reaksi $A \rightarrow B$, maka persamaan umum kinetika: $\frac{dA}{dt} = -kA^n$ (2.9)

dA/dt = laju reaksi A

k = konstanta laju reaksi A

A = konsentrasi A

N = orde reaksi

1. Orde Reaksi Nol

Pada orde reaksi nol, kecepatan reaksi tidak tergantung pada konsentrasi reaktan. Dimana tidak terjadi perubahan laju reaksi berapapun perubahan konsentrasi pereaksi. Persamaan laju reaksi orde nol dinyatakan sebagai berikut :

$$-\frac{dA}{dt} = -k_0 \quad (2.10)$$

$$A - A_0 = -k_0 \cdot t \quad (2.11)$$

A = konsentrasi zat pada waktu t

A_0 = konsentrasi zat mula-mula

2. Orde Reaksi Satu

Pada orde reaksi satu, kecepatan reaksi berbanding lurus dengan konsentrasi reaktan. Dimana perubahan konsentrasi pereaksi 2 kali menyebabkan laju reaksi lebih cepat 2 kali.

Persamaan laju reaksi orde nol dinyatakan sebagai berikut :

$$-\frac{dA}{dt} = -k_1 A \quad (2.12)$$

$$-\ln \frac{A_0}{A} = k_1 (t - t_0) \quad (2.13)$$

Bila $t = 0$ maka $A = A_0$

$$\ln A = \ln A_0 - k_1 \cdot t \quad (2.14)$$

$$A = A_0 e^{-k_1 t} \quad (2.15)$$

Waktu paruh adalah waktu yang dibutuhkan agar konsentrasi reaktan hanya tinggal setengahnya. Pada orde reaksi satu, waktu paruh dinyatakan sebagai :

$$k_1 = \frac{1}{t_{1/2}} \ln \frac{1}{\frac{1}{2}} = \frac{0,693}{t_{1/2}} \quad (2.16)$$

3. Orde Reaksi Dua

Persamaan laju reaksi untuk orde dua dinyatakan sebagai berikut :

$$-\frac{dA}{dt} = -k_2 A^2 \quad (2.17)$$

$$-\frac{dA}{A^2} = -k_2 t \quad (2.18)$$

$$\frac{1}{A} - \frac{1}{A_0} = k_2 (t - t_0) \quad (2.19)$$

Waktu paruh untuk orde dua dinyatakan sebagai berikut:

$$t_{1/2} = \frac{1}{k_2(A_0)} \quad (2.20)$$

Dimana laju perubahan konsentrasi pereaksi 2 kali menyebabkan laju reaksi lebih cepat 4 kali.

(Febriarista, 2015)

II.9.2 Pengaruh Temperatur Terhadap Laju Reaksi

Pengaruh suhu terhadap laju reaksi dapat dinyatakan dengan persamaan Arrhenius $k = k_0 e^{-E/RT}$ (Levelspiel, 1999). Kenaikan temperature berbanding lurus dengan kenaikan laju reaksi dengan k_0 adalah factor frekuensi, E adalah energi aktivasi,

R adalah tetapan gas umum dan T adalah temperatur. Pada konsentrasi yang sama tetapi dengan dua temperature yang berbeda, Arrhenius menyatakan:

$$\ln \frac{r_2}{r_1} = \ln \frac{k_2}{k_1} = \frac{E}{R} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right) \quad (2.21)$$

Energi aktivasi (E) dan faktor frekuensi (k_o) dapat ditentukan secara eksperimen dengan melakukan variasi reaksi pada berbagai suhu.

(Susianto,dkk. 2009)

Pengaruh temperature terhadap laju reaksi dapat diketahui dengan mengplot ln k dengan 1/T. Dimana k adalah konstanta laju reaksi dan T adalah temperature. Dari grafik ln k vs 1/T tersebut akan diperoleh harga E. Hubungan energy aktivasi dengan laju reaksi adalah berbanding terbalik. Semakin besar energy aktivasi maka laju reaksinya semakin lambat karena energy minimum untuk terjadi reaksi semakin besar. Faktor yang mempengaruhi energy aktivasi yaitu suhu (T), faktor eksponensial (k_o). Semakin kecil harga ln k maka harga 1/T rata-rata semakin besar. Ini membuktikan bahwa semakin tinggi temperature maka energy aktivasi akan semakin kecil dan semakin sedikit waktu yang diperlukan sehingga akan memperbesar laju reaksi.

(Febriarista, 2015)

II.10 Penelitian Terdahulu

Berdasarkan penelitian dari Budianto yang berjudul “*Biofuel Production From Candlenut Oil Using Catalytic Cracking Process With Zn/HZSM-5 Catalyst*” menggunakan HZSM-5 sebagai basis katalis dengan logam Zn untuk menghasilkan *biofuel* dari minyak kemiri dan minyak kelapa sawit melalui proses *catalytic cracking*. Hasil yang didapatkan adalah *biofuel* dari minyak kemiri memiliki selektivitas *biofuel* lebih tinggi dibandingkan dari kelapa sawit. Selektivitas *biofuel* tertinggi adalah 80,75% pada suhu 325°C dengan laju aliran nitrogen dari 60 ml / menit. Jumlah *cetane number biofuel* adalah 74,8. Berdasarkan hasil tersebut, Zn / HZSM-5 sangat direkomendasikan untuk produksi *biofuel* dari minyak kemiri (Budianto dkk. 2014). Penelitian dari Achamd Roesyadi yang berjudul “*The Catalyst*

Selectivity to Cracking Product of Palm Oil” mencoba melakukan impregnasi logam transisi (Ni,Cu,Zn) ke dalam HZSM-5 untuk meningkatkan *site active* dari katalis tersebut, dari penelitian ini diketahui pada temperatur 450°C dan laju gas N₂ 130 ml/min untuk katalis HZSM-5 yield *gasoline* 17,11% *kerosene* 14,89% dan *diesel* 10,86%. Untuk katalis Ni/HZSM-5 yield *gasoline* 17,55% *kerosene* 13,48% dan *diesel* 5,84%. Untuk katalis Cu/HZSM-5 yield *gasoline* 18,05% *kerosene* 13,30% dan *diesel* 5,72%. Untuk katalis Zn/HZSM-5 yield *gasoline* 29,38% *kerosene* 12,86% dan *diesel* 4,78% (Roesyadi dkk. 2012).

Pioch et, al (1993) melakukan penelitian tentang perengkahan berkatalis minyak kelapa menggunakan katalis standard petroleum SiO₂/Al₂O₃ pada suhu 450 °C menghasilkan gas, liquid, dan padatan dengan berat molekul yang lebih rendah. Fase organik yang terembunkan difraksinasi untuk menghasilkan biogasoline dan biodiesel.

Leng dkk (1999) menggunakan katalis HZSM-5 dengan minyak sawit pada reaktor mikro fix-bed dengan kondisi operasi temperatur 380-420 °C dan tekanan 0,1 Mpa. Hasilnya menunjukkan hidrokarbon seperti *gasoline*, *kerosene*, dan diesel telah dihasilkan. Pada suhu 400 °C, 40 wt % dari *gasoline* telah tercapai. Sun dkk (2016) telah menggunakan katalis Fe/ZSM-5 dengan proses katalitik pirolisis. Katalis Fe/ZSM-5 menunjukkan aktivitas yang baik dalam mengkonversi senyawa oksigenat dan menghasilkan senyawa monosiklik aromatik hidrokarbon (MAH) dengan menggunakan temperatur sebesar 500-600°C.

Katalis asam seperti ZSM-5 zeolit telah diselidiki sebagai bahan untuk peningkatan bio-minyak karena kemampuannya untuk mengubah komposisi minyak dengan efektif dengan mengurangi kandungan oksigen melalui reaksi deoksigenasi. Selain itu, katalis ZSM-5 juga menghasilkan peningkatan jumlah spesies aromatik dan fraksi organik yang dapat ditingkatkan menjadi bahan bakar tipe diesel dan bernilai. Di antara logam, besi dikenal sebagai senyawa yang cukup menguntungkan di bidang katalitik berdasarkan aktivitas baiknya pada reaksi hidrogenasi dan

juga ekonomis (Sun dkk, 2016). Pengaruh zeolit yang dimodifikasi dengan logam Fe, Zr, dan Co diteliti oleh Li dkk (2016). Dihasilkan katalis ZSM-5 yang dimodifikasi Fe adalah yang paling efektif dalam proses peningkatan hidrokarbon aromatik dari biofuel yang dihasilkan.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Dalam pembuatan biofuel dari minyak kelapa melalui proses *Hydrocracking* dengan menggunakan katalis Ni-Fe/HZSM-5 dilakukan persiapan sebagai berikut:

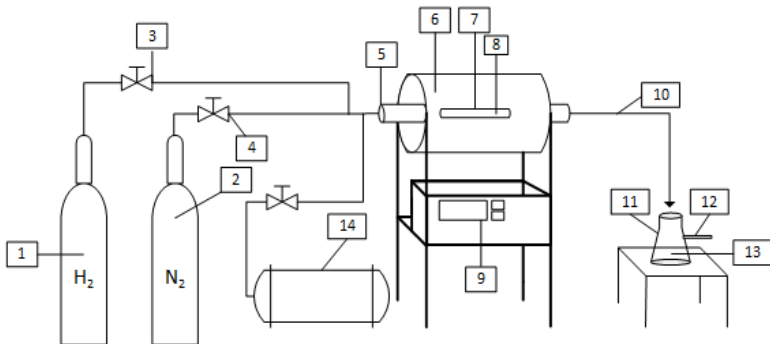
III.1. Bahan dan Alat

III.1.1. Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu minyak kelapa sebagai minyak nabati, gas H₂, gas N₂, NH₄-ZSM-5 CBV8014 yang diproduksi oleh, Zeolyst International dalam bentuk serbuk/powder sebagai bahan pembuatan katalis HZSM-5, Ni(NO₃)₂.6H₂O (CAS NO : 13478-00-7) yang diproduksi oleh EMD Millipore Corporation, dan Fe(NO₃)₂.9H₂O (CAS NO : 7782-61-8) yang diproduksi oleh EMD Millipore Corporation

III.1.2. Alat

1. Peralatan Kalsinasi

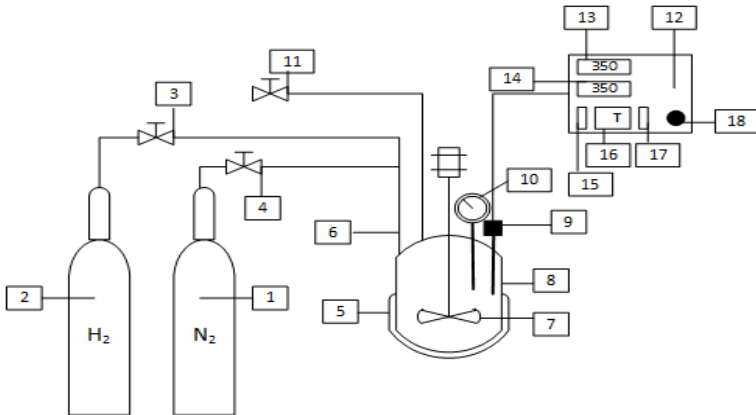


Gambar III.1 Peralatan Kalsinasi

Keterangan Gambar:

- | | |
|--|---------------------------------|
| 1. Tabung gas H ₂ | 8. Katalis |
| 2. Tabung gas N ₂ | 9. <i>Panel control furnace</i> |
| 3. <i>Valve tube gas H₂</i> | 10. <i>Tube gas outlet</i> |
| 4. <i>Valve tube gas N₂</i> | 11. <i>Vakuum flash</i> |
| 5. Reaktor kalsinasi | 12. Gas keluar |
| 6. <i>Furnace</i> | 13. Air |
| 7. <i>Nucelle</i> | 14. Kompresor |

2. Peralatan *Hydrocracking*



Gambar III.2 Peralatan Proses *Hydrocracking*

Keterangan Gambar:

- | | |
|--|---|
| 1. Tabung gas N ₂ | 10. Indikator tekanan reaktor |
| 2. Tabung gas H ₂ | 11. <i>Pressure release control</i> |
| 3. <i>Valve tube gas N₂</i> | 12. <i>Panel control heater-reaktor</i> |
| 4. <i>Valve tube gas H₂</i> | 13. <i>Display suhu reaktor</i> |
| 5. <i>Heater</i> | 14. <i>Display suhu setpoint</i> |
| 6. <i>Tube reaktor gas N₂/H₂</i> | 15. <i>Tombol ON panel control heater-reaktor</i> |

- | | |
|------------------------|--|
| 7. Pengaduk | 16. Tombol ON heater |
| 8. Reaktor | 17. Tombol ON pengaduk |
| 9. <i>Thermocouple</i> | 18. Tombol pengatur kecepatan pengaduk |

III.2. Variabel yang Digunakan

III.2.1. Variabel Tetap

- Bahan baku : Minyak kelapa
 Jenis katalis : Ni-Fe/HZSM-5
 Massa katalis total : 2 gram/200 ml volume sampel
 Volume minyak kelapa : 200 ml
 Tekanan : 10 bar
 Kondisi Operasi Katalis:
 Persentase loading Ni-Fe terhadap katalis total = 10%
 Perbandingan logam Ni-Fe = (1:1)

III.2.2. Variabel Bebas

Kondisi Operasi Proses *Hydrocracking* dalam studi kinetika

- Suhu reaksi (°C) = 350, 375, dan 400
- Waktu reaksi (menit) = 0, 30, 60, 90, dan 120

III.3. Parameter yang Dianalisa

III.3.1. Bahan Baku Minyak Kelapa

Gas Chromatography Mass Spectrofotometer (GC-MS).

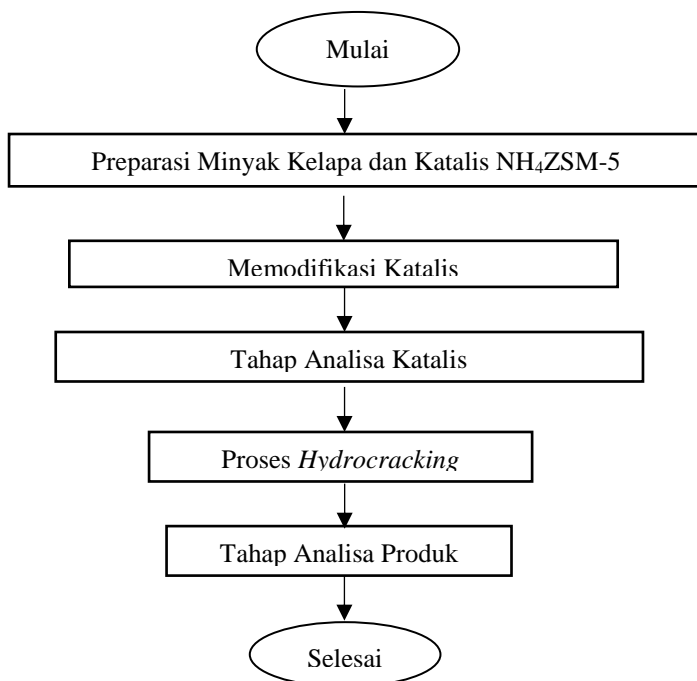
III.3.2. Katalis Ni-Zn/HZSM-5

X-Ray Diffraction (XRD), *Brunauer Emmet Teller* (BET), *Scanning Electron Microscope* (SEM) dan *Energy Dispersion X-Ray Spectroscopy* (EDX).

III.3.3. Produk Biofuel

Gas Chromatography Mass Spectrofotometer (GC-MS)

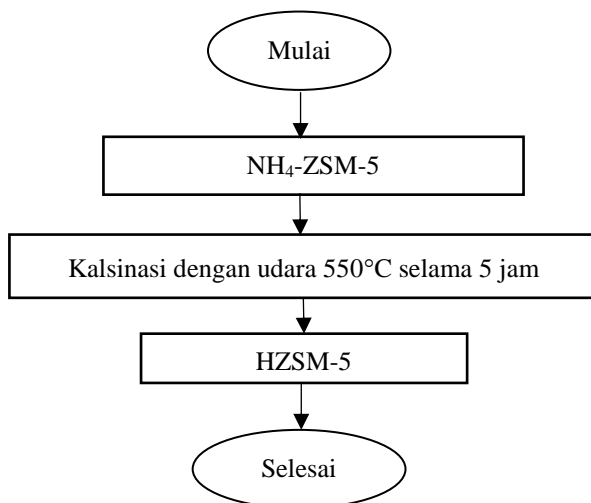
III.4. Diagram Alir Penelitian



Gambar III.3 Diagram Alir Prosedur Penelitian

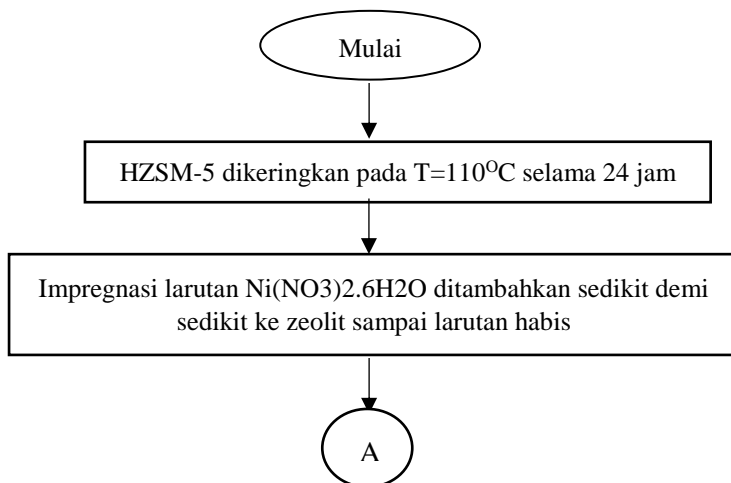
III.4.1. Pembuatan Katalis

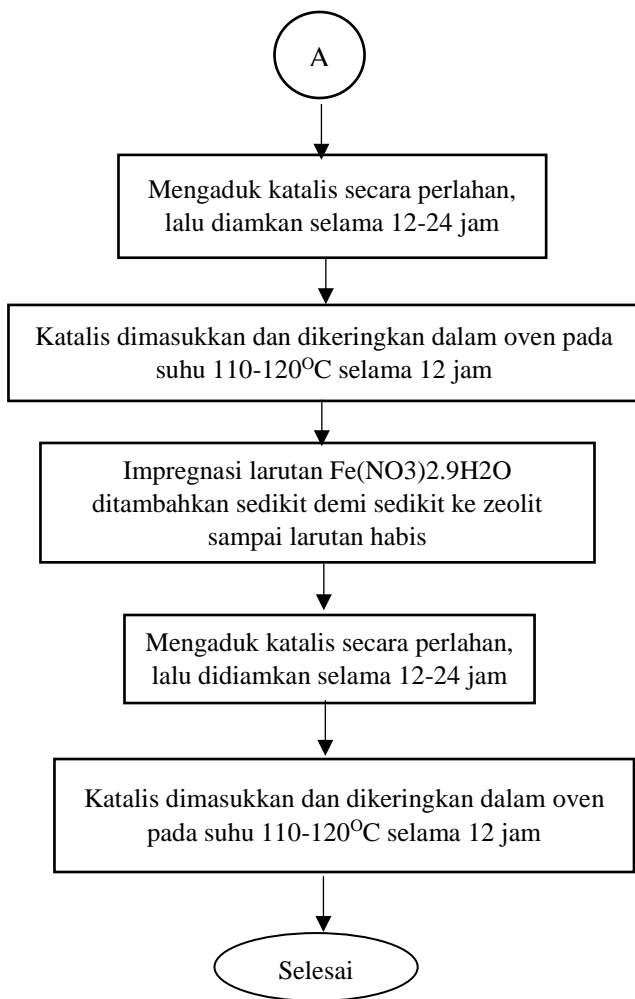
1. Preparasi katalis HZSM-5



Gambar III.4 Diagram Alir Preparasi katalis HZSM-5

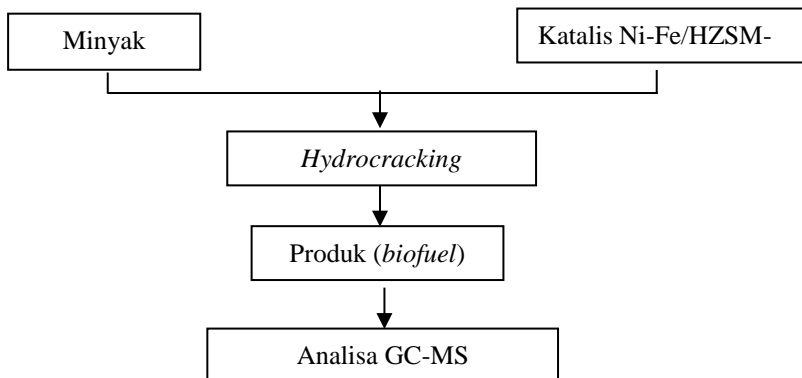
2. Impregnasi Ni dan Fe





Gambar III.5 Diagram Alir Proses Impregnasi logam Ni dan Fe

III.4.2. *Hydrocracking* Minyak Kelapa



Gambar III.6 Diagram Alir *Hydrocracking* Minyak Kelapa

III.5. Prosedur Penelitian

III.5.1. Pembuatan Katalis

A. Preparasi katalis zeolit

1. Melakukan kalsinasi pada suhu 550°C menggunakan udara selama 5 jam.

B. Impregnasi Logam

HZSM-5 sebagai *support* diimpregnasi dengan larutan garam logam yaitu $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dan $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dengan menggunakan prosedur yang dilakukan oleh Sartipi dkk (2013) dan Haber dkk (1995).

Tahapannya sebagai berikut:

1. Zeolit sintesis HZSM-5 dikeringkan 24 jam dalam oven pada suhu 110°C untuk mengurangi senyawa yang terserap pada permukaan.
2. Melakukan impregnasi larutan $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dengan cara ditambahkan sedikit demi sedikit ke zeolit sampai larutan habis.

3. Mengaduk katalis secara perlahan, agar larutan terserap seluruhnya pada permukaan zeolite HZSM-5 lalu didiamkan selama 6 jam.
4. Katalis dikeringkan dalam oven pada suhu 110-120°C selama 12 jam.
5. Melakukan impregnasi larutan $\text{Fe}(\text{NO}_3)_2 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ dengan cara ditambahkan sedikit demi sedikit ke zeolit sampai larutan habis.
6. Melakukan tahap 3 dan 4.
7. Melakukan kalsinasi dengan udara pada suhu 550°C selama 3 jam dan dilanjutkan proses reduksi dengan gas H_2 pada suhu 550°C selama 2 jam.

III.5.2. Karakterisasi Katalis

Untuk mengetahui hasil preparasi yang baik, maka perlu dilakukan karakterisasi katalis yaitu:

- Analisa SEM yang bertujuan untuk mengetahui morfologi katalis Ni-Fe/HZSM-5.
- Analisa EDX yang bertujuan untuk mengetahui komposisi logam-logam.
- Analisa BET yang bertujuan untuk mengetahui luas permukaan katalis Ni-Fe/HZSM-5.
- Analisa XRD yang bertujuan untuk mengetahui kristalinitas katalis Ni-Fe/HZSM-5.

III.5.3. Proses *Hydrocracking*

1. Menimbang 2 gram katalis.
2. Memasukkan katalis dalam reaktor perengkahan.
3. Memasukkan 200 ml bahan baku minyak kelapa kedalam tangki.
4. Mengalirkan gas N_2 ke dalam reaktor untuk menghilangkan oksigen.
5. Mengalirkan gas H_2 ke dalam reaktor sampai dengan tekanan reaktor 30 bar, kemudian menutup valve inlet hidrogen.

6. Menghidupkan heater dan pengaduk reaktor.
7. Memulai proses perengkahan dengan mengatur setting suhu proses sesuai variabel suhu yang ditetapkan.
8. Setelah mencapai suhu variabel, membiarkan reaksi berjalan selama 2 jam untuk setiap variabel suhu.
9. Mengambil sampel keluar dan menyaring sampel.
10. Menganalisa sampel dengan analisa GC-MS.
11. Percobaan diulangi untuk variabel perbandingan komposisi katalis lainnya.

III.6. Teknik Analisa Data

III.6.1. Perhitungan Yield

Parameter yang diukur adalah yield, konversi, dan selektivitas biofuel dalam %. Dengan asumsi % luas area senyawa yang didapatkan dari uji analisa GC-MS ekuivalen dengan % berat senyawa tersebut.

Yield:

$$\text{Yield gasoline} = \frac{\% \text{ kadar gasoline} \times \text{berat total produk}}{\text{berat umpan}} \times 100\%$$

$$\text{Yield kerosene} = \frac{\% \text{ kadar kerosene} \times \text{berat total produk}}{\text{berat umpan}} \times 100\%$$

$$\text{Yield gas oil} = \frac{\% \text{ kadar gas oil} \times \text{berat total produk}}{\text{berat umpan}} \times 100\%$$

Konversi :

$$\text{Konversi} = \frac{\text{mol reaktan yang bereaksi}}{\text{mol umpan}} \times 100\%$$

Selektivitas :

$$\text{Selektivitas gasoline} = \frac{\text{mol gasoline yang dihasilkan}}{\text{mol umpan yang bereaksi}} \times 100\%$$

$$\text{Selektivitas kerosene} = \frac{\text{mol kerosene yang dihasilkan}}{\text{mol umpan yang bereaksi}} \times 100\%$$

$$\text{selektivitas gas oil} = \frac{\text{mol gas oil yang dihasilkan}}{\text{mol umpan yang bereaksi}} \times 100\%$$

III.6.2. Pengolahan Data

Untuk menganalisa pengaruh variable waktu dan suhu terhadap parameter yang dianalisa, maka akan didapatkan data plot grafik antara:

1. %Konversi dan Selektifitas terhadap waktu dan suhu
2. % yield terhadap waktu dan suhu
3. $\log \frac{\partial CA}{\partial t}$ terhadap $\log(C_A)$

Dari hasil pengolahan data, akan didapatkan kesimpulan hasil data yaitu tentang pengaruh Waktu reaksi dan suhu yang paling optimal untuk menghasilkan yield, selektifitas dan konversi terbaik. Selain itu, untuk dapat mengetahui orde dan konstanta reaksi dari reaksi hydrocracking minyak kelapa menggunakan katalis Ni-Fe/HZSM-5 dengan ratio 1:1 dan loading 10%

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

IV.1. Karakteristik Minyak Kelapa (*Cocos Nucifera*)

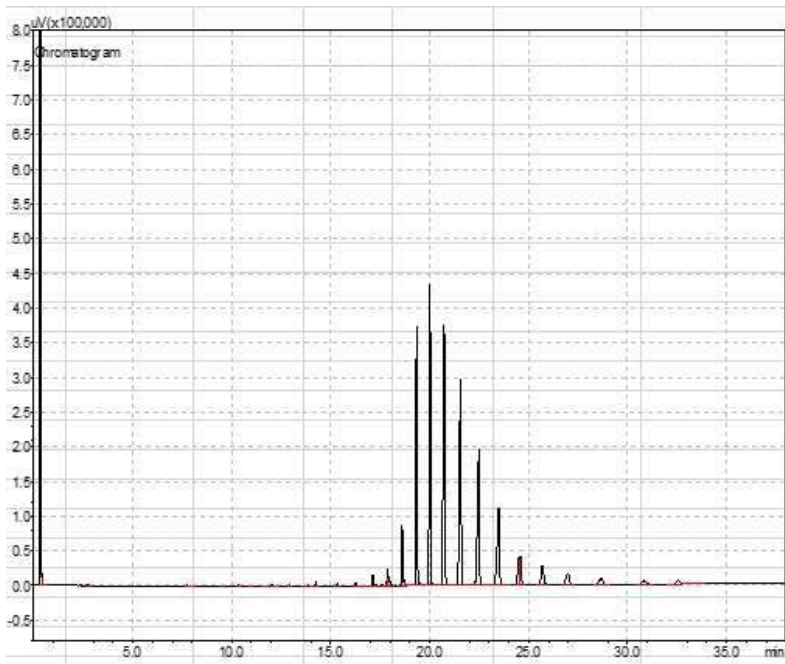
Kelapa (*Cocos nucifera*) adalah anggota tunggal dalam marga *Cocos* dari suku aren-arenan atau *Arecaceae*. Tumbuhan ini dimanfaatkan hampir semua bagiannya oleh manusia. Karakteristik minyak kelapa menurut Farmakope Indonesia IV (FI, 1995) adalah: suhu lebur 23 – 26°C, indeks bias 1,448 – 1,450 (40°C), bilangan asam maksimal 0,2/20g, bilangan Iodum 7,0 – 11,0, bilangan penyabunan 250 – 264, zat tak tersabunkan maksimal 0,8%. Menurut Standar Nasional Indonesia, minyak kelapa yang bermutu harus memenuhi syarat-syarat antara lain : kandungan air maksimal 0,5%, bilangan Iod 4.1 – 11 g/100g, bilangan Peroksida maksimal 2,0 mg Oksigen/g, asam lemak bebas maksimal 0,2%. (SNI, 2008)



Gambar IV.1 Buah dan minyak Kelapa

Pada **Gambar IV.1** menunjukkan bentuk buah kelapa dan minyak kelapa. Karakteristik minyak bintaro dilakukan dengan analisa menggunakan GC dan GCMS. GC digunakan untuk mengetahui kandungan trigliserida dalam minyak kelapa. GCMS digunakan untuk mengetahui senyawa-senyawa (asam lemak) yang menyusun minyak kelapa beserta dengan kadar dari masing-masing senyawa tersebut. Spektra GC kandungan minyak kelapa

dapat dilihat pada **Gambar IV.2** Berdasarkan hasil analisa GC dapat diketahui bahwa minyak kelapa mengandung trigliserida, dimana trigliserida merupakan kandungan terbesar dari minyak nabati. Hasil GC minyak kelapa dianalisa dengan menggunakan kolom *non polar DB-5HT (5%-phenyl)-methylpolysiloxane*.

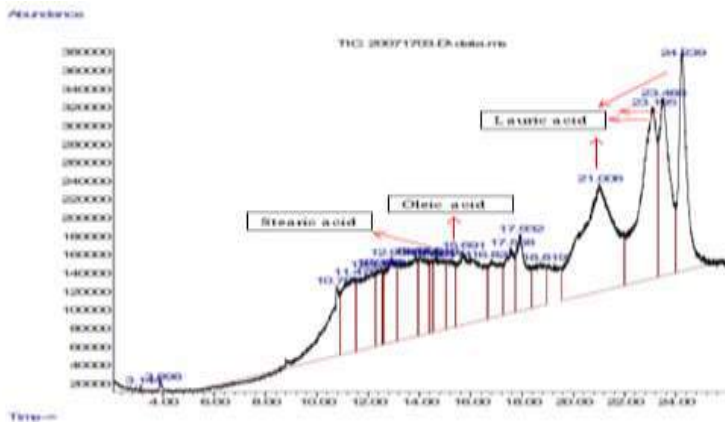


Gambar IV.2 Hasil Karakterisasi Minyak Kelapa dengan Analisis GC

Pada **Gambar IV.3** menunjukkan retention time dari trigliserida. Dimana dari trigliserida berada pada retention time 28,682 menit dengan persen area sebesar 1,294%, 30,844 menit dengan persen area sebesar 0,9826% dan 32,553 menit dengan persen area sebesar 0,6553%.

Peak#	Area	Ret. Time	Area%	Height	Name
1	151038.6	28.682	1.2941	9270.3	Triglyceride
2	114683.8	30.844	0.9826	6144.8	Triglyceride
3	76476.1	32.553	0.6553	6449.4	Triglyceride

Gambar IV.3 Komposisi Minyak Kelapa berdasarkan Hasil Analisa GC



Gambar IV.4 Hasil analisa Gas Chromatography-Mass Spectrofotometer (GC-MS) minyak kelapa

Gambar IV.4 menunjukkan bahwa trigliserida pada minyak kelapa terdiri dari beberapa komponen asam lemak yaitu, asam laurat pada retention time 21-24, asam oleat pada retention time 12-14, asam stearat pada retention time 14,6. Sementara pada **Tabel IV.1** dapat dilihat kadar masing-masing asam lemak tersebut yang didapatkan dari persentase area relatif setiap *peak* yang terdapat pada grafik hasil analisa minyak kelapa seperti pada **Gambar IV.4** Kandungan asam lemak terbesar pada minyak kelapa adalah asam laurat dan asam oleat, yaitu sebesar 52,39% dan 32,48%. Hal ini menunjukkan minyak kelapa mengandung

asam lemak tidak jenuh. Proses *hydrocracking* terhadap jenis minyak nabati ini akan memperlihatkan seberapa besar potensinya menjadi bahan bakar nabati.

Tabel IV.1 Hasil analisa komposisi minyak kelapa*

Asam Lemak	Rumus Molekul	Kadar (%)
Asam Laurat	C ₁₂ H ₂₄ O	52,39
Asam Oleat	C ₁₈ H ₃₄ O	32,48
Asam Stearat	C ₁₈ H ₃₆ O	4,05
Asam Miristat	C ₁₄ H ₂₈ O	0,2
2-octyl- Cyclopropaneoctanal	C ₁₉ H ₃₆ O	6,31

*Dianalisa dengan GCMS dengan yang menggunakan capillary column (inlet : front inlet, outlet : MSD detector)

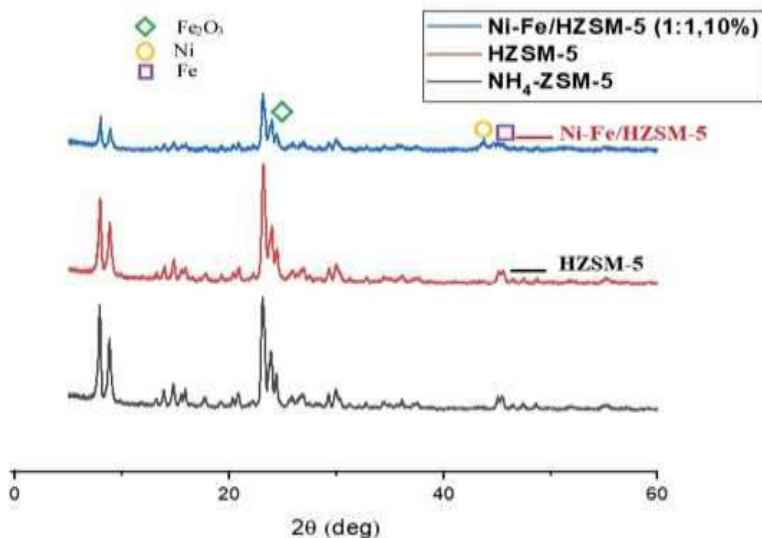
IV.2. Hasil Karakterisasi Katalis Ni-Fe/HZSM-5

Karakterisasi dari katalis menggunakan beberapa teknik analisa. Adapun karakterisasi sifat katalis Ni-Fe/HZSM-5 yang ditunjukkan pada **Gambar IV.5** dengan menggunakan metode *X-Ray Diffraction* (XRD), dimana analisa ini bertujuan untuk mengetahui fase kristal yang terbentuk akibat proses impregnasi logam nikel dan besi kedalam pori HZSM-5. Teknik analisa yang kedua ditunjukkan pada **Tabel IV.2** dengan menggunakan metode BET (*Brunauer Emmet Teller*) dan EDX (*Energy Dispersive X-Ray Analysis*). Metode BET meliputi pengukuran luas permukaan katalis sedangkan metode EDX meliputi pengukuran komposisi jumlah logam kobalt dan nikel yang berhasil diimpregnasikan kedalam *support* zeolit HZSM-5

IV.2.1. Analisa XRD Katalis Ni-Fe/HZSM-5

Hasil analisa XRD pada **Gambar IV.5** menunjukkan pola difaktogram katalis Ni-Fe/HZSM-5 bahwa struktur katalis berbentuk kristal pada sudut 2θ aktif. Peak logam Ni muncul pada 44.5° . Dan peak Fe muncul pada sudut 44.6° . Selain itu pada hasil analisa XRD juga terdapat oksida logam Fe yaitu

peak Fe_2O_3 pada $23,14^\circ$. Pada XRD pattern pada **Gambar IV.5** tersebut terlihat puncak – puncak difraksi XRD standard dari katalis HZSM-5 berada pada $2\theta = 7-8^\circ$, $23-24^\circ$ (Laizhi Sun, 2016) dan 44° .



Gambar IV.5 Difraktogram katalis Ni-Fe/HZSM-5

IV.2.2. Analisa BET dan EDX Katalis Ni-Fe/HZSM-5

Tabel IV.2 Sifat katalis Ni-Fe/HZSM-5 untuk proses *hydrocracking* minyak kelapa

Sampel Katalis	Ratio	Kadar		Surface are ^b m ² /g
	Logam Ni-Fe	logam ^a , % wt Ni	Fe	
HZSM-5	-	-	-	407.386
Ni-Fe/HZSM-5	1:1	4.45	5.27	312.909

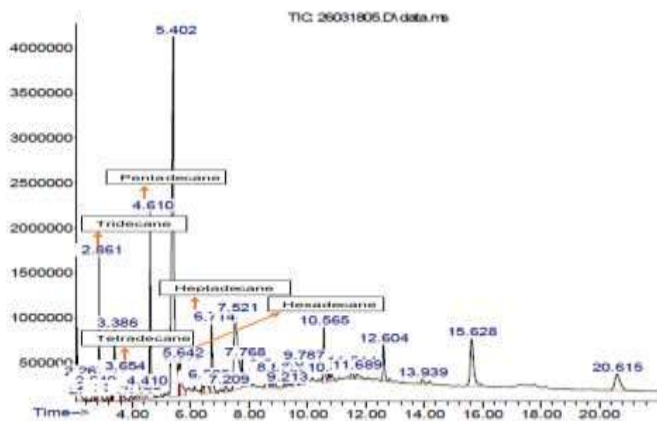
- Kadar Logam diperoleh dari analisa EDX
- Luas permukaan total hasil analisis BET

Tabel IV.2 menunjukkan luas permukaan dari zeolite HZSM-5 (hasil BET) memiliki luas permukaan yang tinggi sebesar 407,386 m²/g, sementara dengan penambahan logam Ni dan Fe pada support HZSM-5 menyebabkan menurunnya luas permukaan. Perubahan ini terjadi karena partikel logam berhasil tersebar di HZSM-5 dipermukaan dan masuk kedalam pori HZSM-5. Logam Ni memiliki peranan penting untuk aktivitas tinggi katalis Ni-Fe/HZSM-5 karena logam Ni memiliki kemampuan hidrogenasi yang tinggi dan potensi yang baik untuk memutus ikatan karbon-karbon.

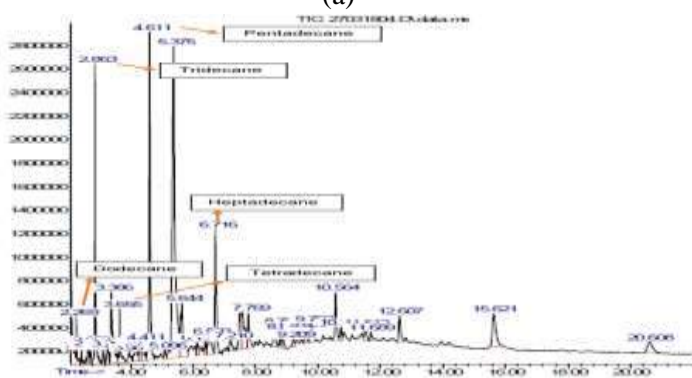
Pada **Tabel IV.2** juga menunjukkan hasil analisa dengan menggunakan metode EDX, logam nikel dan besi yang telah masuk ke dalam pori support HZSM-5 dimana bisa terlihat kadar logam nikel dan besi yang dihasilkan sudah sesuai dengan % loading dari masing-masing katalis. Adanya penambahan logam nikel dan besi ini diharapkan menghasilkan katalis bifungsional dengan sifat hidrogenasi dan *hydrocracking* yang baik (Wang dkk, 2013).

IV.3. Hasil Analisa Produk

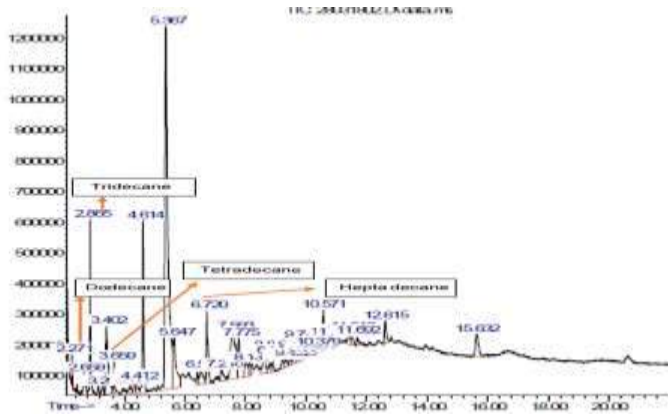
Analisa komposisi produk biofuel yang telah didapat dari proses *hydrocracking* dilakukan dengan metode *Gas Chromatography Mass Spectrofotometer* (GC-MS). Produk utama hasil analisa GC-MS dibagi menjadi 3 kelompok utama berdasarkan jumlah atom C didalam produk cair biofuel yaitu gasoline (C5-C9), kerosene (C10-C13) dan gas oil (C14-C22). **Gambar IV.6** menunjukkan hasil analisa *Gas Chromatography Mass Spectrofotometer* (GC-MS) katalis Ni-Fe/HZSM-5 (10%, 1:1) pada variable suhu (Barron dkk, 2011)



(a)



(b)



(c)

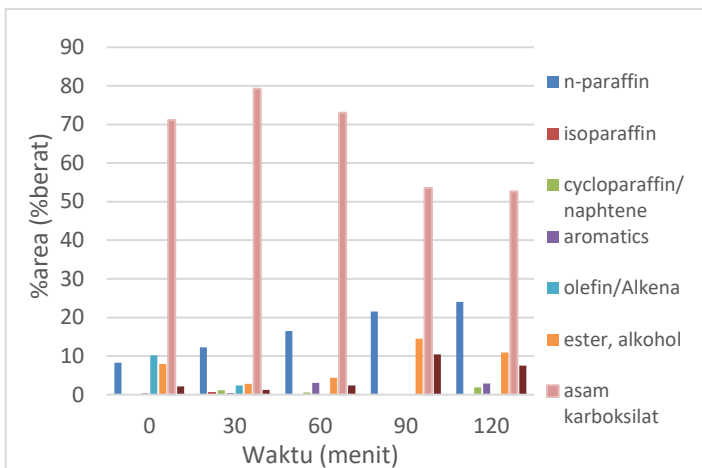
Gambar IV.6 Spektra GC-MS biofuel dengan menggunakan katalis Ni-Fe/HZSM-5 (10%,1:1) dibawah kondisi tekanan 20 bar, waktu reaksi 2 jam pada suhu (a) 350°C, (b) 375°C, (c) 400°C

Pada **Gambar IV.6** menunjukkan kromatogram komposisi biofuel dengan katalis Ni-Fe/HZSM-5 (10%, 1:1) dengan variable suhu 350°C, 375°C, 400°C. **Gambar IV.6** (a, b, dan c) memperlihatkan munculnya beberapa peak dengan intensitas yang sangat tinggi pada retention time 0-8 menit, kemunculan peak-peak dengan intensitas tinggi ini, tidak dapat terlihat pada **Gambar IV.4**, sedangkan **Gambar IV.4** memperlihatkan munculnya peak-peak dengan intensitas cukup tinggi pada retention time 20-24, komponen-komponen yang terdapat pada retention time 20-24 menit dalam minyak kelapa perlahan mulai sepenuhnya hilang selama reaksi *hydrocracking* pada **Gambar IV.6** (a, b, dan c). Ini menunjukkan bahwa senyawa-senyawa yang masih mengandung atom oksigen (seperti asam karboksilat/asam lemak, ester, aldehyd, alkohol dan keton) sudah tercracking hamper sempurna menjadi senyawa-senyawa hidrokarbon yang diinginkan dalam produk biofuel, yaitu n-paraffin, isoparaffin, aromatik, naphtene/cycloparaffin dan olefin. Proses penghilangan atom oksigen memerlukan kondisi operasi yang tepat (temperatur dan

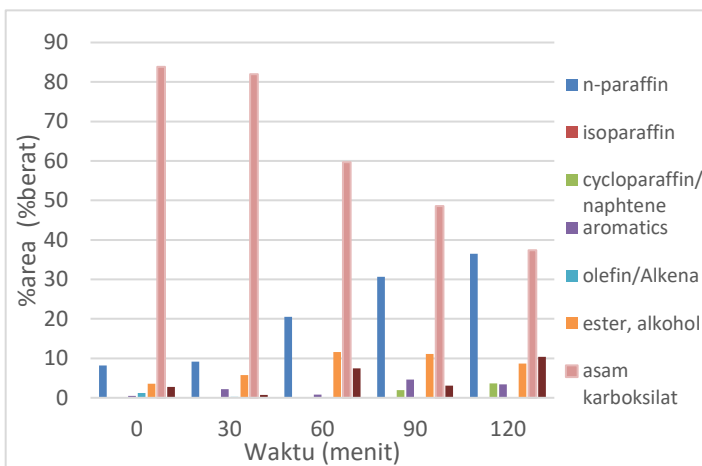
katalis) untuk mengoptimalkan rute reaksi dekarboksilasi/dekarbonilasi (HDC) dan hidrodeoksigenasi (HDO), dapat dilihat berdasarkan hasil kromatogram senyawa yang dihasilkan berupa rantai C ganjil seperti tridecane, pentadecane, dan heptadecane.

IV.3.1. Pengaruh Suhu dan Waktu Operasi Terhadap Komposisi Biofuel

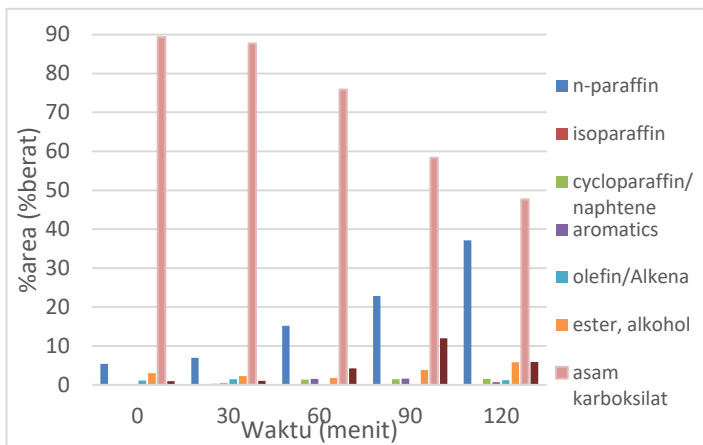
Produk hasil *hydrocracking* pada **Gambar IV.7** diklasifikasikan dalam 7 senyawa hidrokarbon. Komposisi hidrokarbon yang diharapkan dari biofuel sebagai bahan bakar dibagi menjadi kelompok senyawa n-paraffin, isoparaffin, cycloparaffin/naphthen, aromatik dan olefin. Selain itu, biofuel masih mengandung senyawa oksigenat (*oxygenated compounds*) yaitu senyawa organik lain seperti ester, alkohol, keton, eter, dan aldehid serta sisa asam karboksilat. Senyawa oksigenat inilah yang mengakibatkan sifat dari biofuel yang dihasilkan buruk. Asam berkaitan dengan keasaman yang tinggi yang menyebabkan korosif, sedangkan keton bertanggung jawab terhadap ketidakstabilan dari biofuel. Eter dan ester dapat menurunkan nilai kalor dari biofuel (Czernik dkk, 2004; Bridgwater, 2012; Iliopoulou dkk; 2012). Disamping itu, senyawa aromatik hidrokarbon merupakan produk yang diharapkan di dalam biofuel karena senyawa tersebut memiliki sifat nilai kalor yang tinggi yang terbentuk dalam jumlah kecil (Carlson dkk, 2009; Cheng dkk; 2011)



(a)



(b)



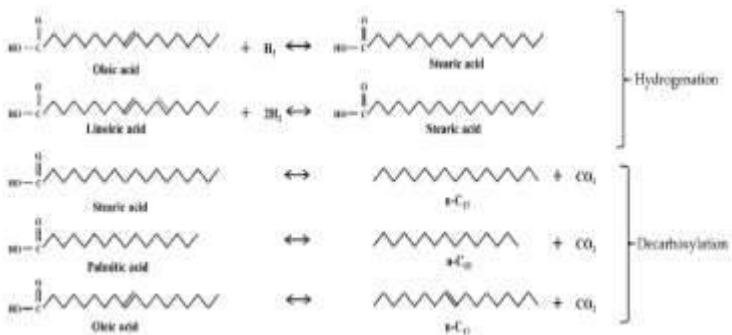
(c)

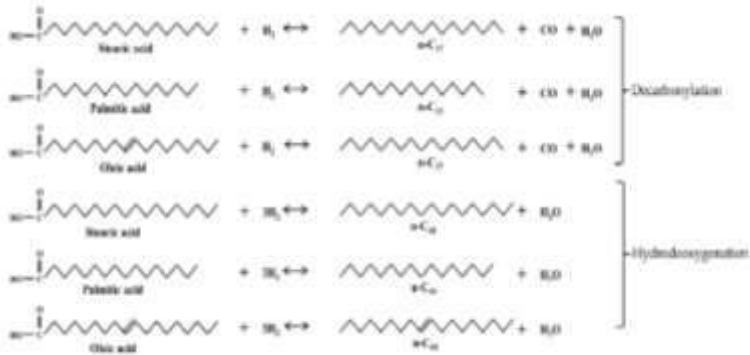
Gambar IV.7 Pengaruh waktu reaksi terhadap komposisi hidrokarbon dalam biofuel menggunakan katalis Ni-Fe/HZSM-5 (10%, 1:1) pada suhu (a) 350°C, (b) 375°C, (c) 400°C

Gambar IV.7 menunjukkan pada suhu 350°C, terdapat beberapa komposisi senyawa hidrokarbon cair yang dihasilkan, yaitu n-paraffin (8,02%), olefin (2,2%), asam karboksilat (86,91%) serta senyawa oksigenat (2,84%). Jika dibandingkan pada suhu 400°C, terjadi peningkatan pada beberapa senyawa yaitu n-paraffin (34,53%), cycloparaffin (1,14%), aromatik (1,89%) sedangkan senyawa yang lainnya mengalami penurunan seperti asam karboksilat (54,69%) untuk waktu proses selama 2 jam. Hal ini bersesuaian dengan yang dinyatakan oleh Rogelio Sotelo-Boyás dkk (2011), bahwa dengan adanya sisi asam yang kuat pada zeolit akan dapat mempromosikan reaksi isomerisasi dan siklisasi. Hingga temperatur reaksi 400°C ini, rute reaksi yang mendominasi dalam proses *hydrocracking* adalah reaksi siklisasi dan aromatisasi, Pada **Gambar IV.7** menunjukkan bahwa komposisi senyawa hidrokarbon cair yang dihasilkan semakin meningkat semakin lama nya waktu reaksi. Pengaruh

waktu reaksi pada suhu 375°C dan 400°C yaitu semakin lama waktu reaksi maka proses *hydrocracking* berjalan semakin baik dengan ditunjukkan bahwa komposisi asam karboksilat semakin berkurang juga semakin bertambah senyawa-senyawa hidrokarbon cair terutama n-paraffin. Namun, pada suhu 350°C komposisi asam karboksilat cenderung naik dari waktu 0 menit menuju 30 menit lalu cenderung turun kembali sampai waktu reaksi 120 menit (2 jam) kenaikan komposisi asam karboksilat ini dimungkinkan terjadi karena masih terdapat senyawa trigliserida yang terpecah menjadi senyawa mono gliserida atau asam karboksilat, sehingga pada suhu 350°C senyawa asam karboksilat mengalami kenaikan di waktu reaksi awal (Anindita Pramesti Putri Nugroho, dkk. 2014)

Hasil percobaan memperlihatkan bahwa komponen senyawa dalam biofuel yang dihasilkan melalui dua rute reaksi utama dalam proses transformasi trigliserida dalam minyak kelapa menjadi hidrokarbon, yaitu hidrokarbonisasi/dekarboksilasi (HDC) dan hidrokarbonisasi (HDO). Munculnya senyawa dominan C₁₁-C₁₇ menunjukkan HDC lebih mendominasi reaksi *hydrocracking* trigliserida dalam minyak kelapa sehingga gas yang dihasilkan mengandung CO dan CO₂. Berikut adalah mekanisme reaksi *hydrocracking* pada **Gambar IV.8**.



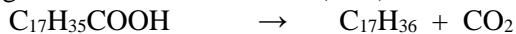


Gambar IV.8 Mekanisme Reaksi *Hydrocracking* Minyak Kelapa

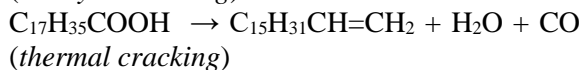
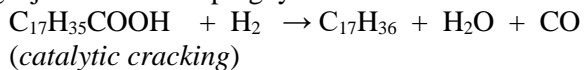
Hydrocracking minyak nabati memungkinkan tranformasi dari trigliserida menjadi hidrokarbon. Selama reaksi hidrogenasi, molekul trigliserida dari minyak nabati kemudian dikonversi menjadi molekul-molekul yang lebih kecil seperti digliserida, monogliserida, asam karboksilat, dan senyawa yang mengandung oksigen. Produk tersebut kemudian ditransformasi menjadi hidrokarbon dengan tiga reaksi yang berbeda, yaitu dekarboksilasi, dekarbonilasi, dan hidrideoksigenasi. Tiga reaksi yang paling penting berlangsung selama *hydrocracking* minyak nabati pada

Gambar IV.9, yaitu:

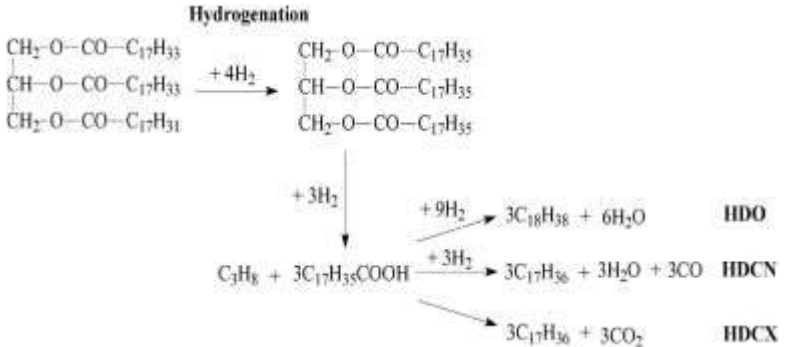
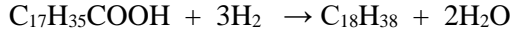
1. Reaksi dekarboksilasi, reaksi yang mengarah ke penghapusan kelompok karboksilat dan menghasilkan karbon dioksida (CO₂).



2. Reaksi dekarbonilasi, reaksi yang menghasilkan hidrokarbon utama dengan bilangan karbon yang ganjil. Produk sampingnya adalah H₂O dan CO.



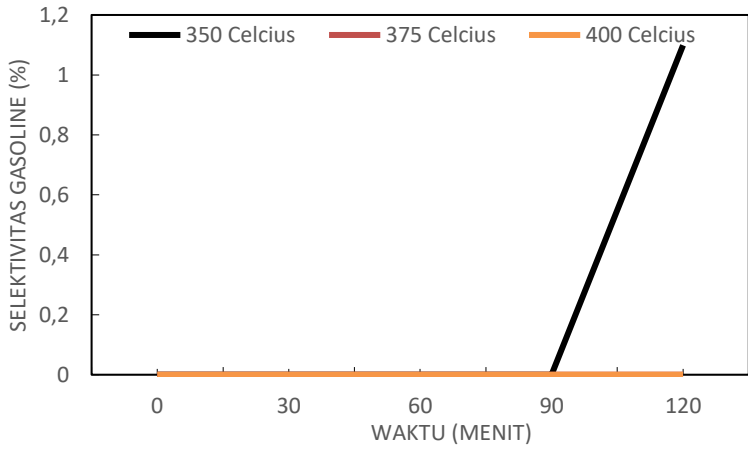
3. Reaksi hidredeoksigenasi (reduksi), reaksi yang menghasilkan hidrokarbon utama dengan bilangan karbon yang genap dan air.



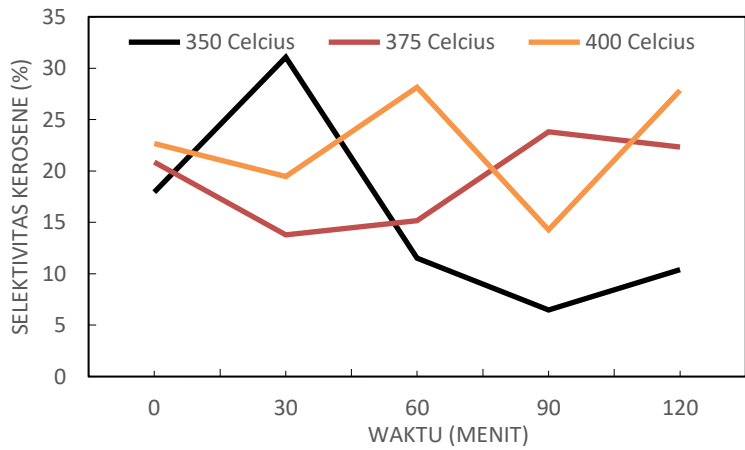
Gambar IV.9 Skema reaksi untuk konversi trigliserida menjadi hidrokarbon (Kochetkova dkk; 2016)

IV.3.2. Pengaruh Suhu dan waktu Operasi Terhadap Konversi dan Selektivitas

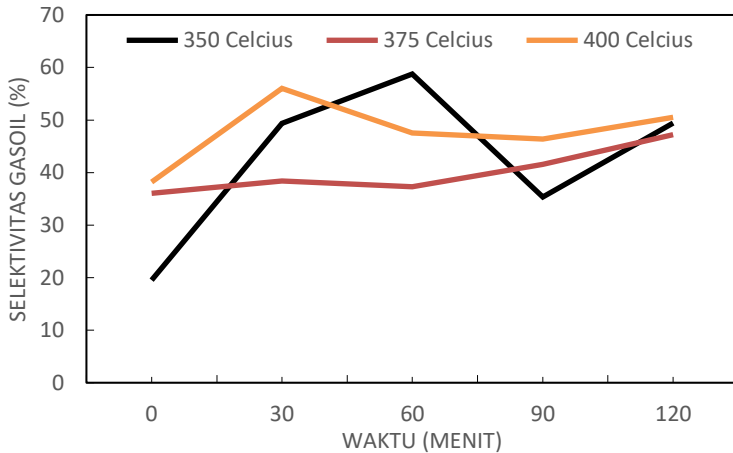
Berdasarkan komposisi senyawa hidrokarbon, yang dapat dikelompokkan berdasarkan jumlah atom C didalam produk cair biofuel yaitu gasoline (C5-C9), kerosene (C10-C13) dan gas oil (C14-C22).



(a)

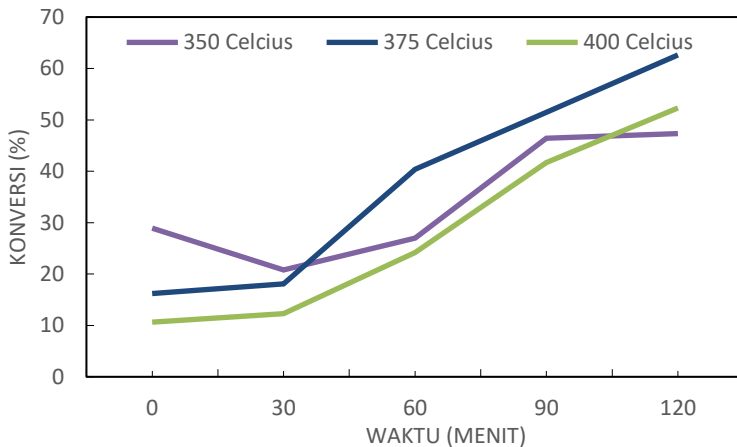


(b)



(c)

Gambar IV.10 Pengaruh waktu reaksi dan suhu reaksi terhadap Selektivitas (a) Gasoline, (b) Kerosene, (c) Gasoil dalam biofuel menggunakan katalis Ni-Fe/HZSM-5 (10%, 1:1)

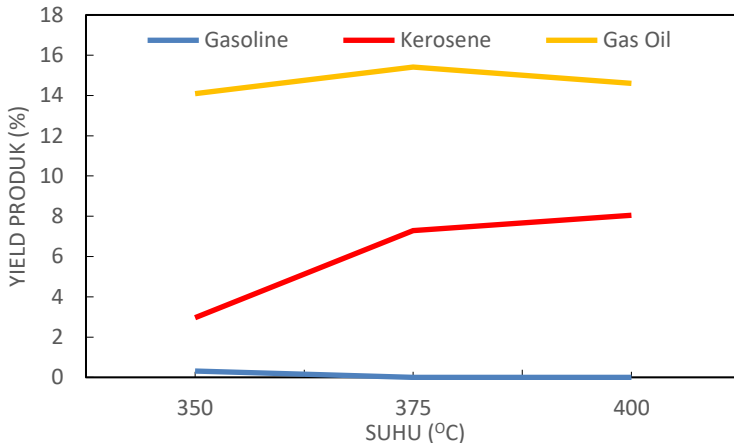


Gambar IV.11 Pengaruh waktu reaksi dan suhu reaksi terhadap Konversi produk dalam biofuel menggunakan katalis Ni-Fe/HZSM-5 (10%, 1:1)

Pada **Gambar IV.11** menunjukkan terjadinya penurunan hasil konversi pada waktu reaksi 2 jam, penurunan konversi kearah produk cair dikarenakan semakin tinggi suhu proses maka produk gas yang dihasilkan akan semakin meningkat sedangkan produk cair yang dihasilkan akan semakin turun, oleh karena itu konversi kearah produk berupa gas akan semakin naik namun konversi kearah produk cair akan semakin turun, sementara semakin lama waktu reaksi konversi yang terjadi semakin meningkat produksi biofuel yang dihasilkan. Sementara itu untuk selektivitas dari proses hydrocracking yang ditunjukkan oleh **Gambar IV.10** Selektivitas heavy hydrocarbon ($C_{14} - C_{22}$) memiliki kecenderungan menurun dengan meningkatnya suhu proses. Penurunan selektivitas heavy hydrocarbon ini terjadi karena peningkatan suhu proses mengakibatkan meningkatkannya aktivitas pemutusan rantai karbon sehingga dengan meningkatnya suhu proses produk gas dan light hydrocarbon ($C_{14} - C_{22}$) yang dihasilkan akan lebih banyak dan mengakibatkan menurunnya jumlah heavy hydrocarbon dalam produk.

IV.3.3. Pengaruh Suhu Operasi Terhadap Yield

Temperatur saat berjalannya reaksi hydrocracking merupakan salah satu pengaruh yang sangat penting terhadap yield biofuel yang dihasilkan, temperatur yang rendah akan menghasilkan komposisi biofuel kearah rantai C yang lebih panjang sehingga akan meningkatkan produksi gasoil ($C_{14}-C_{22}$), temperature sedang menghasilkan biofuel degan komposisi *middle distillate* yang tinggi, dan temperature tinggi menghasilkan lebih banyak produk berfasa gas.



Gambar IV.12 Pengaruh Temperatur Reaksi Terhadap Yield Biofuel Menggunakan Katalis Ni-Fe/HZSM-5 (10%, 1:1)

Gambar IV.12 menunjukkan yield kerosene cenderung mengalami kenaikan dengan naiknya suhu proses *hydrocracking*. Nilai yield kerosene dari 2,96 % pada suhu 350 °C naik menjadi 7,29% pada suhu 375°C. Sementara itu yield *gas oil* mengalami peningkatan dari 14,1% pada suhu 350 °C naik menjadi 15,4% pada suhu 375 °C. Dengan kata lain, yield dari kerosene dan *gasoil* mengalami kenaikan dengan naiknya suhu proses *hydrocracking*. Yield kerosene dan *gasoil* optimal pada variabel ini didapatkan pada suhu 375°C sebesar 27,5% dan 22,61%.

Hal ini menunjukkan bahwa naiknya nilai yield kerosene dan *gasoil* disebabkan karena adanya penambahan logam Ni dan Fe sehingga katalis memiliki *metal site* (sisi promotor) dimana *metal site* pada katalis ini berfungsi untuk membantu proses penjumlahan ikatan rangkap. Proses penjumlahan ikatan rangkap pada asam trigliserida merupakan proses perengkahan rantai panjang hidrokarbon menjadi rantai yang lebih pendek secara acak. Sementara itu dari hasil perengkahan senyawa rantai panjang maka terbentuklah

hidrokarbon rantai pendek yang ditunjukkan pada **Gambar IV.12** bahwa yield kerosene semakin naik. Hal ini terjadi karena adanya *thermal cracking* dan fungsi dari katalis yaitu sisi asam. Sisi asam (HZSM-5) pada katalis ini berfungsi untuk melakukan perengkahan senyawa rantai panjang menjadi senyawa rantai yang lebih pendek secara acak. Sisi asam katalis ini juga memungkinkan membentuk senyawa rantai hidrokarbon isomerisasi dan rantai siklo. (Rogelio dkk; 2013)

IV.4. Studi Kinetika Reaksi *Hydrocracking* Minyak Kelapa pada Reaktor *Batch*

IV.4.1. Penentuan Data Kinetika Reaksi

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan pengaruh suhu terhadap data kinetika reaksi, yaitu konstanta kecepatan reaksi (k) dan orde reaksi (n) yang akan diketahui dari persamaan yang diperoleh dari grafik hubungan antara $\log(-\frac{\partial C_A}{\partial t})$ dan $\log(C_A)$, dengan menggunakan metode differensial.

Metode diferensial dilakukan dengan mengevaluasi seluruh *term* dalam persamaan kecepatan reaksi yang berbentuk diferensial dan menguji kesesuaian bentuk persamaan kecepatan reaksi yang ditinjau dengan data-data yang diperoleh berdasarkan percobaan. Harga-harga parameter kinetiknya dapat ditentukan melalui prosedur atau teknik linierisasi terhadap model persamaan kinetika yang ditinjau

$$-r_A = -\frac{\partial C_A}{\partial t} = k C_A^n$$

Bentuk ini dapat dilinierisasi menjadi $\log -\frac{\partial C_A}{\partial t} = \log k + n \log C_A$ atau $\log(-r_A) = \log k + n \log C_A$. Berdasarkan metode differensial sederhana, agar data kinetik n dan k -nya dapat, maka dapat melakukan pendekatan yakni dengan mengambil pendekatan harga: $-\frac{\Delta C_A}{\Delta t} = \frac{C_{AO} - C_{A1}}{t_1 - 0}$ sebagai $-\frac{\partial C_A}{\partial t}$, dan C_A rata-rata (\bar{C}_A) sebagai C_A pada dua

pasangan data yang berdekatan, langkah pertama yang dilakukan untuk menentukan data kinetika reaksi adalah menentukan *limiting reactan*. *limiting reactan* yang dipilih yaitu FFA(*Free Fatty Acid*), dengan reaksi berjalan:



Dalam penelitian ini belum dapat ditentukan data hasil pengujian reaktan R yaitu *triglyceride*, sehingga belum didapat data kinetika reaksi yaitu konstanta reaksi untuk reaktan R (k_1), dari hasil pengujian *Gas Chromatography Mass Spectrofotometer* (GC-MS) hanya dapat mendeteksi FFA(*Free Fatty Acid*), maka *limiting reactan* yang dipilih yaitu FFA(*Free Fatty Acid*) yang akan mendapatkan data kinetika yaitu konstanta reaksi (k_2).

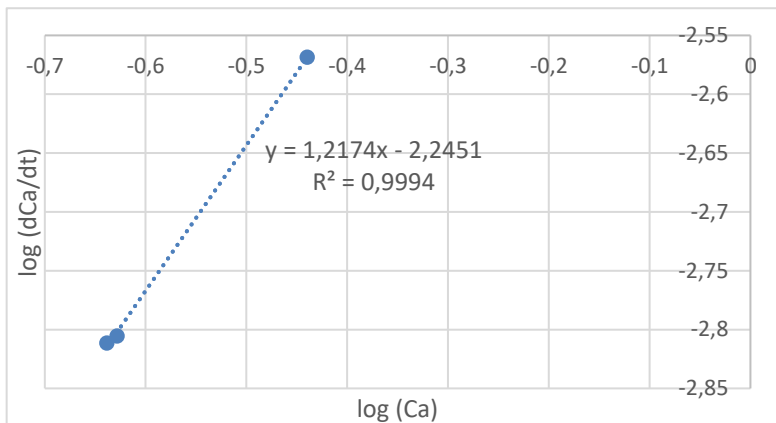
Tabel IV.3 Hasil Perhitungan dengan melakukan pendekatan harga $-\frac{\Delta C_A}{\Delta t} = \frac{C_{A0} - C_{A1}}{t_1 - 0}$ sebagai $-\frac{\partial C_A}{\partial t}$, dan C_A rata-rata (\bar{C}_A) sebagai C_A

Katalis	Suhu	t	C_A	$-\frac{\partial C_A}{\partial t}$	$\log(-\frac{\partial C_A}{\partial t})$	$\log(\bar{C}_A)$
Ni-Fe/HZSM-5 10% (1:1)	350	0	0,299			
				-0,0021	0	-0,48
		30	0,363			
				0,0016	-2,569	-0,44
		60	0,317			
				0,0027	-2,806	-0,628
		90	0,235			
				0,0002	-2,81	-0,638
		120	0,229			

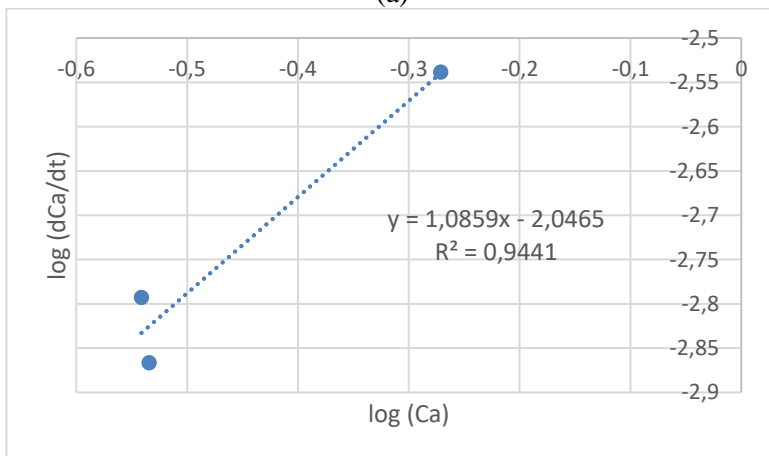
375	0	0,347			
			0,0004	-3,437	-0,271
	30	0,336			
			0,0029	-2,539	-0,534
	60	0,249			
			0,0014	-2,867	-0,541
	90	0,208			
			0,0016	-2,792	-0,735
400	120	0,159			
	0	0,364			
			0,0002	-3,112	-0,393
	30	0,356			
			0,0012	-2,627	-0,27
	60	0,321			
			0,0025	-3,199	-0,678
	90	0,245			
		0,0015	-3,833	-0,851	
	120	0,201			

Berdasarkan **Tabel IV.3** hasil perhitungan $\log(-\frac{\partial C_A}{\partial t})$ dan $\log(\bar{C}_A)$ dengan menggunakan pendekatan harga $-\frac{\Delta C_A}{\Delta t} = \frac{C_{A0} - C_{A1}}{t_1 - 0}$ sebagai $-\frac{\partial C_A}{\partial t}$, dan C_A rata-rata (\bar{C}_A) sebagai C_A pada dua pasangan data yang berdekatan. kemudian di plotkan dalam grafik antara $\log(-\frac{\partial C_A}{\partial t})$ vs $\log(C_A)$, sesuai dengan metode differensial, orde reaksi dan konstanta reaksi akan didapatkan dengan menggunakan berdasarkan model persamaan reaksi yang telah dilinearisasikan menjadi $\log -\frac{\partial C_A}{\partial t} = \log k + n \log C_A$ atau $\log(-r_A) = \log k + n \log C_A$, sehingga pada **Gambar IV.10**

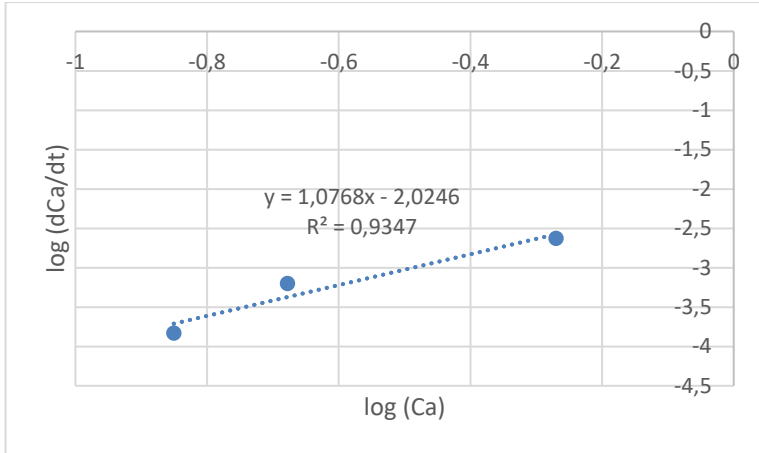
akan didapatkan persamaan garis dengan slope berupa orde reaksi (n) dan intercept berupa log konstanta reaksi (log (k))



(a)



(b)



(c)

Gambar IV.13 Plot $\log\left(-\frac{\partial C_A}{\partial t}\right)$ vs $\log(C_A)$ menggunakan katalis Ni-Fe/HZSM-5 pada suhu reaksi (a) 350°C, (b) 375°C, (c) 400°C

Gambar IV.13 menunjukkan plot grafik antara $\log\left(-\frac{\partial C_A}{\partial t}\right)$ vs $\log(C_A)$, dari grafik tersebut didapatkan persamaan garis yaitu:

$$Y = 1,2174 X - 2,2451$$

maka, didapatkan nilai dari suhu 350°C:

$$\text{Slope} = n = 1,2$$

$$\text{Intercept} = \log k = -2,2451$$

$$k = 0,0057$$

$$Y = 1,0859 X - 2,0465$$

maka, didapatkan nilai dari suhu 375°C:

$$\text{Slope} = n = 1,09 = 1,1$$

$$\text{Intercept} = \log k = -2,0465$$

$$k = 0,009$$

$$Y = 1,0768 X - 2,0246$$

maka, didapatkan nilai dari suhu 400°C:

$$\text{Slope} = n = 1,08 = 1,1$$

$$\text{Intercept} = \log k = -2,0246$$

$$k = 0,00945$$

Dengan demikian, dapat dilihat bahwa harga konstanta Terdapat kecenderungan kenaikan nilai konstanta kecepatan reaksi rantai karbon pembentukan biofuel dengan menurunnya kandungan asam lemak dalam biofuel. Hal tersebut dapat dijelaskan melalui mekanisme reaksi hydrocracking, memungkinkan transformasi dari trigliserida menjadi hidrokarbon. Selama reaksi hidrogenasi, molekul trigliserida dari minyak nabati kemudian dikonversi menjadi molekul-molekul yang lebih kecil seperti digliserida, monogliserida, asam karboksilat, dan senyawa yang mengandung oksigen. Produk tersebut kemudian ditransformasi menjadi hidrokarbon, yaitu hidrodekarbonilasi/dekarboksilasi (HDC) dan hidrodeoksigenasi (HDO). FFA (Free Fatty Acid) sebagai limiting reaktan, dengan munculnya senyawa dominan C11-C17 dalam produk menunjukkan HDC lebih mendominasi reaksi hydrocracking trigliserida dalam minyak kelapa Akibat reaksi bertahap tersebut maka konstanta reaksi semakin naik dengan kenaikan suhu.(Badar, 2011)

Pengambilan data kinetika dipengaruhi oleh katalis dan menghasilkan beberapa fase, sehingga system reaksi heterogen. Pada reaksi heterogen, kecepatan reaksi proses *hydrocracking* minyak kelapa dengan menggunakan katalis Ni-Fe/HZSM-5 berdasarkan pada volume fluida reaksi, percobaan yang dilakukan dengan massa katalis yang sama yaitu 2 gram/ 200 ml volume sampel, sehingga tidak terjadi perubahan signifikan pada data kinetika karena tidak terdapat variasi massa katalis, pada penelitian ini sebagai studi data kinetika awal yang sederhana.

IV.4.2. Perhitungan Energi Aktivasi

Energi aktivasi dihitung dengan persamaan arhenius:

$$k = A \exp\left(\frac{E_a}{RT}\right)$$
$$\ln k = -\frac{E_a}{R} \frac{1}{T} + \ln A$$

Keterangan:

E_a = energi aktivasi (J/mol)

A = factor frekuensi tumbukan (L/mol.s)

k = konstanta laju reaksi (menit⁻¹)

R = konstanta gas (8,314 J/mol K)

T = suhu (K)

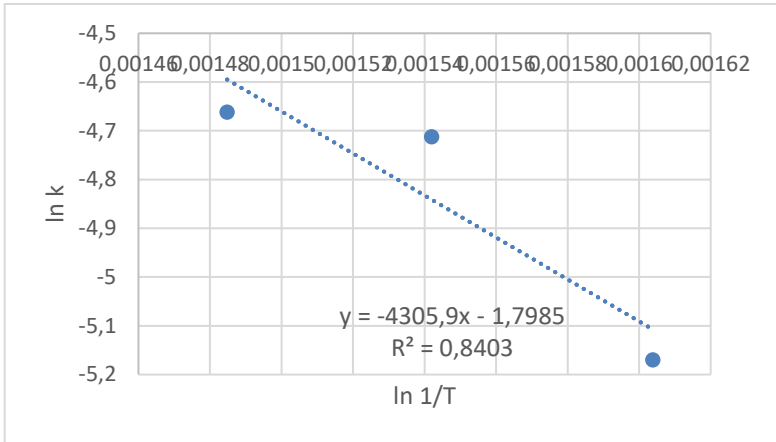
Dimana $-\frac{E_a}{R}$ sebagai slope dan $\ln A$ sebagai intercept

Dapat dihitung besar energi aktivasi sebagai slope dari plot grafik $\ln k$ vs $\frac{1}{T}$ sebagai berikut:

Tabel IV.4 Perhitungan Energi Aktivasi dengan Persamaan Arhenius pada Variable Suhu 350^o - 400^oC

Katalis	Suhu	Orde	$k \left[\left(\frac{\text{liter}}{\text{mol}} \right)^{0,1} \text{ min} \right]$	1/T	ln k
Ni-Fe/HZSM-5 10% (1:1)	350	1,2	0,0057	0,0016	-5,17
	375	1,1	0,009	0,0015	-4,71
	400	1,1	0,0094	0,0015	-4,66

Dari perhitungan ini diperoleh grafik hubungan $\ln k$ vs $\frac{1}{T}$ sebagai berikut



Gambar IV.11 Plot $\ln k$ vs $\frac{1}{T}$ menggunakan katalis Ni-Fe/HZSM-5

Dengan persamaan yang didapatkan:

$$Y = -4305,9 X - 1,7985$$

Maka, nilai dari:

$$\ln A = -1,7985$$

$$A = 0,1655$$

$$\text{Slope} = -\frac{E_a}{R} = -4305,9$$

$$R = 8,314$$

$$E_A = 35799,25 \text{ J/mol} = 35,799 \text{ KJ/mol}$$

Sehingga diperoleh energi aktivasi dari proses hydrocracking biofuel dari minyak kelapa dengan menggunakan katalis Ni-Fe/HZSM-5 (10%, 1:1) adalah sebesar 35,799 kJ/mol. Faktor-faktor yang mempengaruhi laju reaksi, yaitu: konsentrasi katalis, suhu dan luas permukaan katalis. Semakin meningkatnya konsentrasi katalis yang digunakan, maka molekul yang tersusun akan lebih rapat sehingga mudah terjadi tumbukan dan laju reaksi akan

semakin cepat. Semakin tinggi suhu yang digunakan, maka molekul bergerak semakin cepat, sehingga energi kinetik bertambah yang menyebabkan energi aktivasi cepat terlampaui dan laju reaksi akan semakin cepat. Semakin kecil ukuran suatu partikel dalam jumlah massa yang sama, maka luas bidang kontakannya semakin besar dan semakin besar luas permukaan pereaksi maka laju reaksi akan semakin besar (Lukic I,dkk, 2009, Chen Y H, dkk, 2011, Choedkiatsakul I, dkk, 2015)

BAB V

KESIMPULAN

1. Katalis Ni-Fe/HZSM-5 dapat dibuat dengan menggunakan metode *incipient wetness impregnation*.
2. Surface area HZSM-5 yang dihasilkan sebesar 407,386 m²/g. Sedangkan setelah proses impregnasi logam Ni dan Fe menyebabkan penurunan nilai *surface area* pada katalis Ni-Fe/HZSM-5 loading 10% ratio 1:1 sebesar 312,909 m²/g.
3. Yield gasoline muncul pada suhu 350°C sebesar 0,863%, sedangkan yield gas oil dan kerosene pada proses pembuatan biofuel mencapai nilai terbesar 68,576% dan 37,789% pada suhu 400°C dengan menggunakan katalis Ni-Fe/HZSM-5 10% (1:1). Komposisi gas oil dan kerosene semakin meningkat dengan meningkatnya suhu reaksi. Komposisi biofuel yang dihasilkan terdiri dari senyawa n-paraffin seperti dodekana, tridekana, heptadekana, pentadekana. *Yield* biofuel meningkat seiring dengan meningkatnya suhu reaksi pada *hydrocracking* dari 350°C sampai 400°C.
4. Dari perhitungan didapatkan orde reaksi sangat mendekati 1, dan semakin meningkat suhu reaksi maka konstanta laju reaksi juga akan semakin bertambah, pada suhu 350°C, 375°C, 400°C masing-masing diperoleh konstanta laju reaksi, yaitu 0,0057 [(liter/mol)^{0,1}menit]; 0,009 [(liter/mol)^{0,1}menit]; 0,00945 [(liter/mol)^{0,1}menit]
5. Harga energi aktivasi untuk proses *Hydrocracking* minyak kelapa dengan menggunakan katalis Ni-Fe/HZSM-5 loading 10% ratio 1:1 sebesar 35,799 kJ/mol.

DAFTAR PUSTAKA

- Angasa Eka. (2011). *Sintesis Material Besi Pendukung $ZnAl_2O_4$ ($Fe/Zn Al_2O_4$) dan Karakterisasinya* Vol. 4, No.2. J.Ris.Kim
- Barron CA, Melo-Banda J, Dominguez EJ, Hernandez ME, Silva RR, Reyes TA, et al. (2011), “*Catalytic hydrocracking of vegetable oil for agrofuels production using Ni-Mo, Ni-W, Pt and TFA catalysts supported on SBA-15*”, *Catal Today* ;166:102-10.
- Bhatia & Subhash, 2000. *Zeolite Catalysis: Principles and Application*. Florida: CRC Press, inc, Boca Raton.
- Burners, G., Buochy, C., Guillon, E. & Martens, J., 2011. *Hydrocracking Reaction Pathways of 2,6,10,14-tetramethylpentadecane Model Molecule on Bifunction Silica-Alumina and Ultrastable Y zeolite Catalyst*. *Journal of Catalysis*, pp. 145-154.
- Calvin H. Bartholomew. (2016). *Fundamentals of Industrial Catalytic Processes*. John Wiley & Sons, Inc. Hoboken, New Jersey.
- Campbell CT. (1986). *Chlorine Promoters in Selective Ethylene Epoxidation Over Ag(111)- A comparison with Ag(110)*. *J Cat* 99: 28-38
- Carlson T. R., Tompsett G. A., Conner W. C., Huber G. W. (2009), “*Aromatic production from catalytic fast pyrolysis of biomass-derived feedstocks*”. *Top Cataly*. 52:241-52.
- Chen Y H, Huang Y H, Lin R H, Shang N C, Chang C Y, Chang C C, Chiang P C, Hu C Y. *Biodiesel production in a rotating packed bed using $K/\gamma-Al_2O_3$ solid catalyst*. 2011. *Journal of The Taiwan Institute of Chemical Engineers*. Vol 42. hal 937- 944.
- Chen,dkk. (2015). “*Catalytic Cracking of Tar from Biomass Gasification over a HZSM-5-Supported Ni-MgO*

- Catalyst*". School of Environmental Science and Engineering, State Key Laboratory of Engines, Tianjin University, Tianjin 300072, People's Republic of China;
- Choedkiatsakul I, Ngaosuwan K, Assabumrungrat S, Tabasso S, Cravotto G. *Integrated flow reactor that combines high-shear mixing and microwave irradiation for biodiesel production*. 2015. *Biomass and Bioenergy*. Vol 77. hal 186-191.
- Czernik S, Bridgwater AV. (2004), *Overview of application of biomass fast pyrolysis oil*. *Energy Fuel*, 18:590-8.
- Direktorat Jenderal Minyak dan Gas Bumi, 2017. *Rencana Strategis 2015-2019*. [Online] Available at: <http://www.migas.esdm.go.id/>
- Febriarista Dina. (2015). *Studi Kinetika Degradasi Selulose dari Rumput Laut Menjadi Monosakarida dengan Katalis Asam*. ITS : Departemen Teknik Kimia.
- Ferdian, H. (2012). *Uji Aktivitas dan Selektivitas Katalis Ni/H5NZA dalam Proses Hidrorengkahan Metil Ester Minyak Kelapa Sawit (MEPO) menjadi Senyawa Hidrokarbon Fraksi Pendek*. Jember: Universitas Jember.
- Gates, B., 1992. *Catalytic Chemistry*. New York: John Wiley and Sons, Inc.
- Ilham, Badar Anggawijaya, Christine Indira Rinai Pangesti, dan Fariha Hundagi. 2011. *Pengaruh Suhu Operasi Terhadap Konversi, Nilai Konstanta Kecepatan reaksi (k), dan Aras Kesetimbangan Reaksi (K) pada Hidrolisa Minyak Jarak*. Universitas Diponegoro. Semarang
- Ketaren, S. (1986). *Pengantar Teknologi Minyak dan Lemak Pangan*. Depok: Universitas Indonesia.
- Levespiel, O. (1999). *Chemical Reaction Engineering 3rd Edition*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Lukic I, Krstic J, Jovanovic D, Skala D. *Alumina/silica supported K₂CO₃ as a catalyst for biodiesel synthesis from sunflower oil*. 2009. *Bioresource Technology*. Vol 100. hal 4690-4696.

- Nasikin, M., Susanto, B., Hirsaman, M. & Wijanarko, A., 2010. *Biogasoline from Palm Oil by Simultaneous Cracking and Hydrogenation Reaction Over Nimo/Zeolite Catalyst 5th ed.* Penang: IDOST Publication.
- Nugroho, Pramesti, A., Fitriyanto, D. & Roesyadi, A., 2014. Pembuatan Biofuel dari Minyak Kelapa Sawit melalui Proses Hydrocracking dengan Katalis Ni-Mg/ γ -Al₂O₃. *Jurnal Teknik POMITS Vol.3, No.2*, pp. 117-121.
- Othmer, K. (1995). *Encyciodpedia of Chemica Technology Fourth Edition Vol. 26*. New York: John Wiley 8'Sons,.
- Ong, C., Mahlia, I., Masjuki, H. & Norhasyima, S., 2011. Comparison of Palm Oil, *Jatropha curcas* and *Calophyllum inophyllum* for Biodiesel. *A review, Renewable and Sustainable Energy Reviews*, pp. 3501-3515.
- Peraturan Direktorat Jenderal Minyak dan Gas Bumi, No.002/DM/Migas/1979 tentang Spesifikasi Bahan Bakar Minyak
- Richardson, J.T. (2015). *Principles of Catalyst Development. The effects of brief mindfulness intervention on acute pain experience : An examination of individual difference(Vol.1)*.
<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Rismawati & Mahfud, 2015. Efektifitas Katalis Co/Mo pada Hydrocracking Minyak Nyamplung. *Reaktor*, Volume 15, pp. 268-273.
- Rogelio, S. B., Liu Y, Minowa T. (2013), “*Production of Green Diesel by Hydrocracking of Canola Oil on Ni-Mo/ γ -Al₂O₃ and Pt-Zeolitic Based Catalyst*”.
- Savitri, Agung Setia dan Isalmi Aziz. 2016. *Pembuatan Katalis Asam (Ni/ γ -Al₂O₃) dan Katalis Basa (Mg/ γ -Al₂O₃) untuk Aplikasi Pembuatan Biodiesel dari Bahan Baku Minyak*

- Jelantah*. Jurnal Kimia VALENSI: Jurnal Penelitian dan Pengembangan Ilmu Kimia, 2(1), 1-10.
- Setiadi, 2005. *Uji Kinerja Katalis ZSM-5 dalam Konversi Aseton menjadi Hidrokarbon Aromatik*. Serpong, Simposium dan Kongres Teknologi Katalis Indonesia.
- Setiadi & A.W., B., 2006. Kinerja Katalis Zeolit Sintetik ZMS-5- Al_2O_3 dalam Reaksi Perengkahan Minyak Kelapa Sawit Menjadi Hidrokarbon Fraksi Gasoline. *Jurnal Zeolit Indonesia*, Volume 5, pp. 89-95.
- Standar Nasional Indonesia, SNI 01-3751-2000, ICS 67.060, Badan Standardisasi Nasional
- Susianto; Achmad Roesyadi, Ignatius Gunardi. (2009). *Studi Kinetika Proses Perengkahan Asam Oleat menjadi Biofuel*. Surabaya: Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Warta Penelitian dan Pengembangan Pertanian Vol.30 No.4, 2008. *Biodiesel: Energi Terbarukan Ramah Lingkungan*. [Online] Available at: www.pustaka.litbang.pertanian.go.id [Accessed 21 Januari 2018].

APPENDIKS A

PERHITUNGAN PEMBUATAN KATALIS Ni-Fe/HZSM-5

Perhitungan Ni-Fe/HZSM-5 Loading 10% (1:1)

Katalis total	= 12 gram
Loading logam	= 10% wt
Ratio Ni-Fe	= 1:1
Berat logam gram	= 0,1 x 12 gram = 1,2 gram
Berat HZSM-5 gram	= (12 – 1,2) gram = 10,8 gram
Berat logam Ni gram	= $\frac{1}{2}$ x 1,2 gram = 0,6 gram
Berat logam Fe gram	= $\frac{1}{2}$ x 1,2 gram = 0,6 gram
BM Ni(NO ₃) ₂ .6H ₂ O	= 290,79 g/mol
Ar Ni	= 58,7 g/mol
BM Fe(NO ₃) ₃ .9H ₂ O	= 403,95 g/gmol
Ar Fe	= 56 g/mol
Berat Ni(NO ₃) ₂ .6H ₂ O (98%)	= $\frac{1}{0,98}$ x $\frac{290,79}{58,7}$ x 0,6 = 3,0329 gram
Berat Fe(NO ₃) ₃ .9H ₂ O	= $\frac{1}{0,98}$ x $\frac{403,95}{56}$ x 0,6 = 4,4164 gram

- Karena metode impregnasi yang digunakan adalah dry impregnation maka volume larutan logam = volume pori HZSM-5 sehingga perlu dilakukan perhitungan larutan logam sebagai berikut

$$\text{Volume pori rata-rata HZSM-5} = 0,2071 \text{ cm}^3/\text{g}$$

$$\text{Volume larutan logam} = \text{berat HZSM-5} \times \text{Volume pori rata-rata HZSM-5}$$

$$\text{Volume pori rata-rata HZSM-5} = 11,4 \text{ gram} \times 0,2071 \text{ cm}^3/\text{g} = 2,3609 \text{ cm}^3$$

APPENDIKS B
PERHITUNGAN YIELD

Perhitungan berat minyak akhir setelah proses perengkahan dengan katalis Ni-Fe/HZSM-5

- Variabel 10% loading dengan perbandingan Ni-Fe = 1:1 pada suhu 350°C
 - Volume minyak kelapa = 200 mL
 - Densitas minyak kelapa = 0,9207 g/cm³
 - Berat minyak mula-mula = 0,9207 g/cm³ x 200 mL
 - = 184,14 gram
 - Berat botol kosong I = 118,6896 gram
 - Berat botol kosong II = 119,9116 gram
 - Berat botol kosong + produk I = 217,2893 gram
 - Berat botol kosong + produk II = 132,2101 gram
 - Berat produk cair = 110,8982 gram

Tabel B.1 Hasil Perhitungan Berat Pembentukan Produk Cair (gram/menit) dengan katalis Ni-Fe/HZSM-5

Variabel	Suhu	Berat Botol Kosong I	Berat Botol Kosong + Produk I	Berat Botol Kosong II	Berat Botol Kosong + ProdukII	Berat Produk
10% 1:1	350	118,6896	217,2893	119,9116	132,2101	110,8982
	375	118,1195	195,9355	119,0412	137,2151	95,9899
	400	119,2335	204,2307	0	0	84,9972

- Perhitungan Yield Gasoline, Kerosene dan Gas Oil dengan Katalis Ni-Fe/HZSM-5

Variabel 10% loading dengan perbandingan Ni-Fe = 1:1 pada suhu 350°C

Kadar Gasoline dalam produk biofuel

Hasil analisa GCMS (%G) = 0,52%

Kadar Kerosene dalam produk biofuel

Hasil analisa GCMS (%K) = 4,92%

Kadar Gasoil dalam produk biofuel

Hasil analisa GCMS (%S) = 23,398%

$$\text{Yield Gasoline} = \frac{\%G \times P}{M} \times 100\%$$

$$\text{Yield Kerosene} = \frac{\%K \times P}{M} \times 100\%$$

$$\text{Yield Gasoil} = \frac{\%S \times P}{M} \times 100\%$$

Dimana:

P = Produk cair setelah 120 menit (gram)

M = Massa umpan berupa minyak kelapa (gram)

$$\text{Yield Gasoline} = \frac{0,52\% \times 184,15}{110,8982} \times 100\% = 0,863\%$$

$$\text{Yield Kerosene} = \frac{4,92\% \times 184,15}{110,8982} \times 100\% = 8,169\%$$

$$\text{Yield Gasoil} = \frac{23,398\% \times 184,15}{110,8982} \times 100\% = 38,852\%$$

Variabel	Suhu	%G	%K	%S	Yield G%	Yield K%	Yield S%
10% 1:1	350	0,52	4,92	23,398	0,863	8,169	38,852
	375	0	13,979	29,567	0	26,816	56,721
	400	0	17,443	31,653	0	37,789	68,576

APPENDIKS C

PERHITUNGAN DATA KINETIKA REAKSI

Data kinetika reaksi hydrocracking dapat dihitung dengan pertama yaitu menentukan *limiting reactan*. Dalam penelitian ini, *limiting reactan* yang dipilih yaitu FFA(*Free Fatty Acid*), dengan reaksi berjalan:



Dalam penelitian ini belum dapat ditentukan data hasil pengujian reaktan A yaitu *triglyceride*, sehingga belum didapat data kinetika reaksi yaitu konstanta reaksi untuk reaktan A (k_1), dari hasil pengujian *Gas Chromatography Mass Spectrofotometer* (GC-MS) hanya dapat mendeteksi FFA(*Free Fatty Acid*), maka *limiting reactan* yang dipilih yaitu FFA(*Free Fatty Acid*) yang akan mendapatkan data kinetika yaitu konstanta reaksi (k_2).

Perhitungan Konsetrasi FFA (*Free Fatty Acid*) selama waktu reaksi proses *hydrocracking* berlangsung dengan katalis Ni-Fe/HZSM-5

Berat Molekul beberapa komponen dalam FFA:

Caprylic acid	=	144,214	Tridecylic acid	=	214,349
Pelargonic acid	=	158,241	Myristic acid	=	228,376
Capric acid	=	172,268	Palmitic acid	=	256,43
Undecylic acid	=	186,295	Stearic acid	=	284,484
Lauric acid	=	200,322			

Dari hasil perhitungan pada **Tabel B.1** appendiks B, didapatkan berat produk cair untuk dapat menentukan konsentrasi FFA

Tabel B.1 Hasil Perhitungan Berat Pembentukan Produk Cair (gram/menit) dengan katalis Ni-Fe/HZSM-5

Variabel	Suhu	Berat Botol Kosong I	Berat Botol Kosong + Produk I	Berat Botol Kosong II	Berat Botol Kosong + ProdukII	Berat Produk
10% 1:1	350	118,6896	217,2893	119,9116	132,2101	110,8982
	375	118,1195	195,9355	119,0412	137,2151	95,9899
	400	119,2335	204,2307	0	0	84,9972

- Variabel 10% loading dengan perbandingan Ni-Fe = 1:1 pada suhu 350°C pada waktu reaksi 0 menit

$$\text{Mol} = \frac{\text{Massa}}{\text{MR}} = \frac{\% \text{berat} \times \text{Berat Produk}}{\text{MR}}$$

Dengan hasil Analisa GC-MS, komponen FFA dalam variabel 10% loading dengan perbandingan Ni-Fe = 1:1 pada suhu 350°C pada waktu reaksi 0 menit, adalah:

$$\text{➤ mol caprylic acid} = \frac{4,26\% \times 110,8982}{144,214} = 2,7424$$

$$\text{➤ mol lauric acid} = \frac{38,05\% \times 110,8982}{200,322} = 21,064$$

$$\text{➤ mol myristic acid} = \frac{17,6\% \times 110,8982}{228,38} = 8,5465$$

$$\text{➤ mol palmitic acid} = \frac{11,26\% \times 110,8982}{256,43} = 4,848$$

$$\text{Mol Total FFA} = 37,201 \text{ mol}$$

$$\begin{aligned} \text{Konsetrasi FFA} &= \frac{\text{Mol total FFA}}{\text{Volume total}} = \frac{\text{Mol total FFA}}{\text{Berat Produk} / \text{Densitas}} \\ &= \frac{37,201 \text{ mol}}{110,8982 \text{ gram} / 0,89134 \text{ gram/ml}} \\ &= 0,299 \end{aligned}$$

Tabel C.1 Hasil Perhitungan Konsentrasi *limiting reactan* FFA dalam proses *hydrocracking* katalis Ni-Fe/HZSM-5

Katalis	Suhu	t	% Massa	Massa	Mol	C _A
Ni-Fe/HZSM-5 10% (1:1)	350	0	71,12	7887,08	37,20	0,299
		30	79,22	8785,36	45,19	0,363
		60	73,05	8101,11	39,39	0,317
		90	53,56	5939,71	29,27	0,235
		120	52,68	5842,12	28,60	0,230
	375	0	83,81	8044,91	38,88	0,347
		30	81,95	7866,37	37,65	0,336
		60	59,65	5725,80	27,91	0,249
		90	48,53	4658,39	23,34	0,208
		120	37,38	3588,10	17,91	0,160
	400	0	89,38	7597,05	36,69	0,364
		30	87,73	7456,80	35,95	0,357
		60	75,85	6447,04	32,4	0,321
		90	58,33	4957,89	24,76	0,246
		120	47,7	4054,37	20,32	0,201

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan pengaruh suhu terhadap data kinetika reaksi, yaitu konstanta kecepatan reaksi (k) dan orde reaksi (n) yang akan diketahui dari persamaan yang diperoleh dari grafik hubungan antara $\log\left(-\frac{\partial C_A}{\partial t}\right)$ dan $\log(C_A)$, dengan menggunakan metode differensial. Bentuk ini dapat dilinierisasi menjadi $\log\left(-\frac{\partial C_A}{\partial t}\right) = \log k + n \log C_A$ atau $\log(-r_A) = \log k + n \log C_A$. Berdasarkan metode differensial sederhana, agar data kinetik n dan k -nya dapat, maka dapat melakukan pendekatan yakni dengan mengambil pendekatan harga: $-\frac{\Delta C_A}{\Delta t} = \frac{C_{A0} - C_{A1}}{t_1 - 0}$

sebagai $-\frac{\partial C_A}{\partial t}$, dan C_A rata-rata (\bar{C}_A) sebagai C_A pada dua pasangan data yang berdekatan.

- Variabel 10% loading dengan perbandingan Ni-Fe = 1:1 pada suhu 350°C pada waktu reaksi 30 menit dan 90 menit

$$\begin{aligned}
 -\frac{\partial C_A}{\partial t} &= -\frac{\Delta C_A}{\Delta t} \\
 &= \frac{C_{A1} - C_{A2}}{t_2 - t_1} \\
 &= \frac{0,363 - 0,317}{60 - 30} \\
 &= 0,00155
 \end{aligned}$$

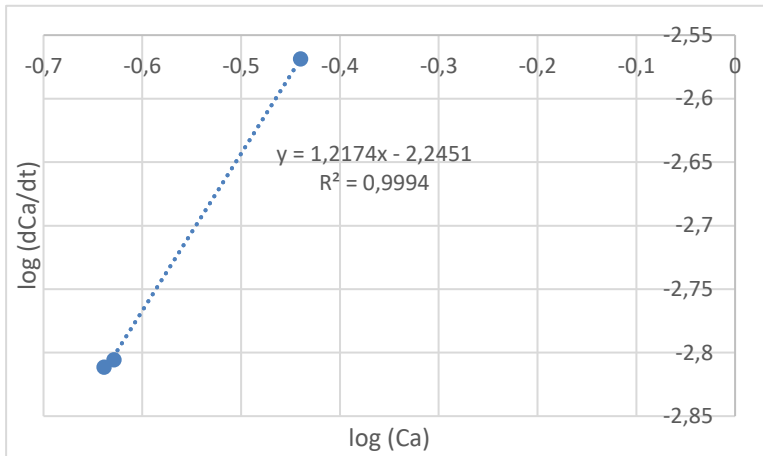
$$\begin{aligned}
 \log -\frac{\partial C_A}{\partial t} &= \log(0,00155) \\
 &= -2,569
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \log(C_A) &= \log(\bar{C}_A) \\
 &= \log\left(\frac{1}{2}(C_{A1} + C_{A2})\right) \\
 &= \log\left(\frac{1}{2}(0,363 + 0,317)\right) \\
 &= -0,44
 \end{aligned}$$

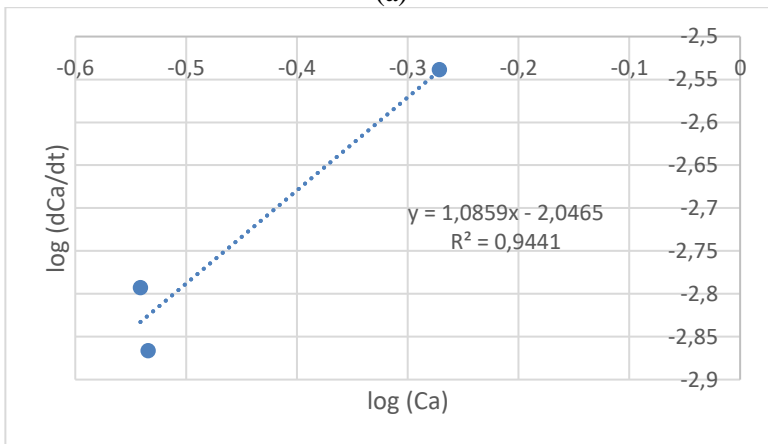
Tabel C.2 Hasil Perhitungan dengan melakukan pendekatan harga $-\frac{\Delta C_A}{\Delta t} = \frac{C_{A0} - C_{A1}}{t_1 - 0}$ sebagai $-\frac{\partial C_A}{\partial t}$, dan C_A rata-rata (\bar{C}_A) sebagai C_A

Katalis	Suhu	t	C_A	$-\frac{\partial C_A}{\partial t}$	$\log\left(-\frac{\partial C_A}{\partial t}\right)$	$\log(\bar{C}_A)$
Ni-Fe/HZS M-5 10% (1:1)	350	0	0,299			
				-0,0021	0	-0,48
		30	0,363			
				0,0016	-2,569	-0,44

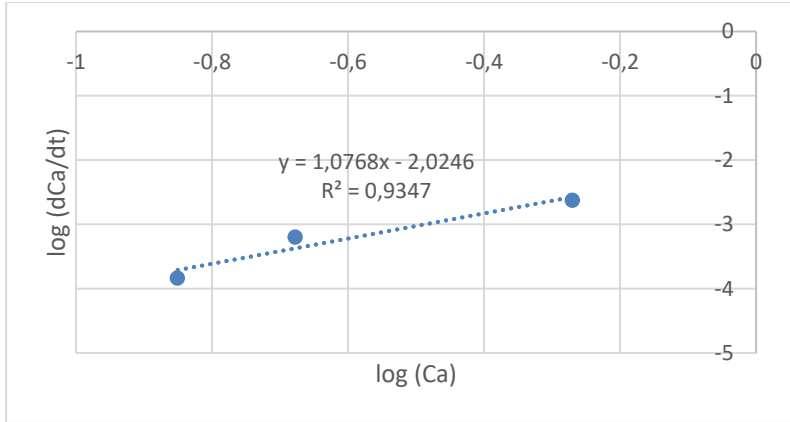
		60	0,317				
				0,0027	-2,806	-0,628	
		90	0,235				
				0,0002	-2,81	-0,638	
		120	0,229				
	375	0	0,347				
				0,0004	-3,437	-0,271	
		30	0,336				
				0,0029	-2,539	-0,534	
		60	0,249				
				0,0014	-2,867	-0,541	
		90	0,208				
				0,0016	-2,792	-0,735	
		120	0,159				
	400	0	0,364				
				0,0002	-3,112	-0,393	
		30	0,356				
				0,0012	-2,627	-0,27	
		60	0,321				
				0,0025	-3,199	-0,678	
		90	0,245				
				0,0015	-3,833	-0,851	
		120	0,201				



(a)



(b)



(c)

Gambar C.1 Plot $\log\left(-\frac{\partial C_A}{\partial t}\right)$ vs $\log(C_A)$ menggunakan katalis Ni-Fe/HZSM-5 pada suhu reaksi (a) 350°C, (b) 375°C, (c) 400°C

Dari gambar plot tersebut, pada temperature 350°C diperoleh garis persamaan linier $y = 1,2174x - 2,2451$. Sehingga, nilai slope yaitu 1,2174, dimana nilai slope adalah orde reaksi sehingga didapatkan orde reaksi pada temperature 350°C adalah 1,2 dan intercept adalah 2,2451, dimana nilai intercept adalah nilai $\log k$ sehingga didapatkan konstanta reaksi sebesar $0,0057 \left[\left(\frac{\text{liter}}{\text{mol}} \right) \text{min} \right]$. Dengan demikian didapatkan persamaan laju reaksi untuk suhu 350°C adalah $-r_A = 0,0057 C_A^{1,2} \frac{\text{mol}}{\text{gram min}}$ Begitupun dengan persamaan linier pada variable suhu lainnya.

Pengambilan data kinetika dipengaruhi oleh katalis dan menghasilkan beberapa fase, sehingga system reaksi heterogen. Pada reaksi heterogen, kecepatan reaksi proses *hydrocracking* minyak kelapa dengan menggunakan katalis Ni-Fe/HZSM-5 berdasarkan pada volume fluida reaksi, percobaan yang dilakukan dengan massa

katalis yang sama yaitu 2 gram/ 200 ml volume sampel, sehingga tidak terjadi perubahan signifikan pada data kinetika karena tidak terdapat variasi massa katalis, pada penelitian ini sebagai studi data kinetika awal yang sederhana.

Tabel C.3 Hasil Perhitungan Data Kinetika Reaksi

Katalis	Suhu	Orde	log k	$k \left[\left(\frac{\text{liter}}{\text{mol}} \right)^{0,1} \text{min} \right]$	Persamaan Laju Reaksi
Ni-Fe/HZSM-5 10% (1:1)	350	1,1	-2,2451	0,0057	$-r_A = 0,0057 C_A^{1,2}$
	375	1,2	-2,0465	0,009	$-r_A = 0,009 C_A^{1,1}$
	400	1,1	-2,0246	0,00945	$-r_A = 0,00945 C_A^{1,1}$

Dengan didapatkan nilai konstanta reaksi untuk setiap variable suhu, dengan persamaan arhenius, dapat dihitung energi aktivasi. Energi aktivasi dihitung dengan persamaan arhenius:

$$k = A \exp\left(\frac{E_a}{RT}\right)$$

$$\ln k = -\frac{E_a}{R} \frac{1}{T} + \ln A$$

Keterangan:

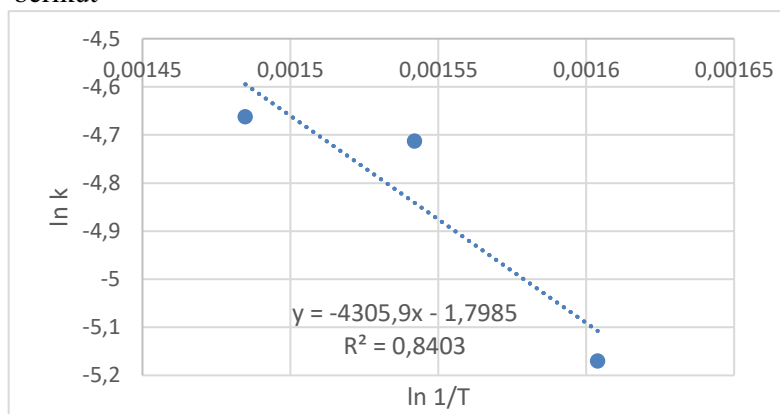
- E_a = energi aktivasi (J/mol)
- A = factor frekuensi tumbukan (L/mol.s)
- k = konstanta laju reaksi (menit⁻¹)
- R = konstanta gas (8,314 J/mol K)
- T = suhu (K)

Dimana $-\frac{E_a}{R}$ sebagai slope dan $\ln A$ sebagai intercept

Tabel C.4 Perhitungan energi aktivasi dengan persamaan arhenius pada variable suhu 350^o - 400^oC

Katalis	Suhu	Orde	$k \left[\left(\frac{\text{liter}}{\text{mol}} \right)^{0,1} \text{min} \right]$	1/T	ln k
Ni-Fe/HZSM-5 10% (1:1)	350	1,2	0,0057	0,0016	-5,17
	375	1,1	0,009	0,0015	-4,71
	400	1,1	0,0094	0,0015	-4,66

Dari perhitungan ini diperoleh grafik hubungan $\ln k$ vs $\frac{1}{T}$ sebagai berikut



Gambar C.2 Plot $\ln k$ vs $\frac{1}{T}$ menggunakan katalis Ni-Fe/HZSM-5
 Persamaan linier yang diperoleh yaitu $y = -4305,9 x - 1,7985$.
 Slope yang diperoleh adalah -4305,9 dimana merupakan nilai dari $\frac{-E_a}{R}$

Intercept:

$$\ln A = -1,7985$$

$$A = 0,1655$$

$$\text{Slope} = -\frac{E_a}{R} = -4305,9$$

$$R = 8,314$$

$$E_A = 35799,25 \text{ J/mol} = 37,799 \text{ KJ/mol}$$

Sehingg diperoleh energi aktivasi dari proses hydrocracking biofuel dari minyak kelapa dengan menggunakan katalis Ni-Fe/HZSM-5 (10%, 1:1) adalah sebesar 37,799 kJ/mol, persamaan diatas dapat diatas dapat ditulis sebagai berikut:

$$\ln k = -\frac{4305,9}{T} - 1,7985$$

BIODATA PENULIS



Putu Ayu Widya Pradnyani lahir di Denpasar, 19 Januari 1996. Penulis menempuh pendidikan formal yang dimulai di SDK Thomas Aquino, Tuka, Dalung (2002-2008), dilanjutkan sekolah menengah pertama di SMP Negeri 4 Denpasar (2008-2012), kemudian dilanjutkan pendidikan menengah atas di SMA Negeri 4 Denpasar (2012-2014). Penulis melanjutkan ke jenjang perguruan tinggi dengan mengambil jurusan S1 Teknik Kimia

Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Pada akhir studi penulis memilih laboratorium Teknik Reaksi Kimia untuk menyelesaikan tugas akhir dan skripsi. Di bawah bimbingan Ir. Ignatius Gunardi, M.T dan Firman Kurniawansyah, S.T, M.Eng, Sc, Ph.D, penulis berhasil menyelesaikan Pra-Desain Pabrik “Tepung Karaginan dari Rumput Laut dengan Metode Ekstraksi” dan skripsi yang berjudul “Produksi Biofuel Menggunakan Katalis Ni-Fe/HZSM-5 dari Minyak Kelapa” Penulis berhasil menyelesaikan pendidikan tingginya pada tahun 2018.

Email : widyapradnyani1@gmail.com

BIODATA PENULIS



Destrian Hervina, lahir di Bekasi, 20 Desember 1995. Merupakan anak ke empat dari empat bersaudara. Penulis menempuh pendidikan formal yang dimulai di SD Marsudirini Bekasi (2002-2008), dilanjutkan sekolah menengah pertama di SMP Marsudirini Bekasi (2008-2011), kemudian dilanjutkan pendidikan menengah atas di SMA Marsudirini Bekasi (2011–2014). Penulis melanjutkan ke jenjang perguruan tinggi dengan mengambil jurusan S1 Teknik Kimia di Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Pada akhir studi penulis memilih laboratorium Teknik Reaksi Kimia untuk menyelesaikan tugas akhir dan skripsi. Bersama partner dan dibawah bimbingan_Ir. Ignatius Gunardi, M.T dan Firman Kurniawansyah, S.T, M. Eng, Sc, Ph.D penulis berhasil menyelesaikan Pra-Desain Pabrik “Pabrik Tepung Karaginan Rumput Laut dengan Metode Ekstraksi” dan skripsi berjudul “Produksi Biofuel Menggunakan Katalis Ni-Fe/HZSM-5 dari Minyak Kelapa”. Penulis berhasil menyelesaikan pendidikannya pada tahun 2018.

Email: vina.destrian@gmail.com