

TUGAS AKHIR – TL184834

ANALISIS PENGARUH RASIO KATALIS:CPO DAN JENIS KATALIS (γ -AL₂O₃, HZSM-5, ZEOLIT USY) PADA PROSES CATALYTIC CRACKING CPO TERHADAP YIELD DAN VISKOSITAS BIOGASOLINE

HARIS AL HAMDI
NRP. 02511940000041

Dosen Pembimbing
Dr. Widyastuti, S.Si., M.Si.
NIP. 197906202006042001
Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Si., Ph.D.
NIP. 197801132002121003

Program Studi Teknik Material
Departemen Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2023



TUGAS AKHIR – TL184834

**ANALISIS PENGARUH KATALIS: CPO DAN JENIS KATALIS
(γ - Al_2O_3 , HZSM-5, ZEOLIT USY) PADA PROSES
CATALYTIC CRACKING CPO TERHADAP *YIELD* DAN
*VISKOSITAS BIOGASOLINE***

HARIS AL HAMDI
NRP. 02511940000041

Dosen Pembimbing
Dr. Widyastuti, S.Si., M.Si.
NIP. 197906202006042001
Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Si., Ph.D.
NIP. 197801132002121003

Program Studi Teknik Material
Departemen Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2023

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



FINAL PROJECT – TL184834

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF CATALYST COMPOSITION AND TYPE OF CATALYST (γ -Al₂O₃, HZSM-5, ZEOLITE USY) IN THE CATALYTIC CRACKING PROCESS OF CPO ON YIELD AND VISCOSITY OF BIOGASOLINE

HARIS AL HAMDI
NRP. 02511940000041

Advisor
Dr. Widyastuti, S.Si., M.Si.
NIP. 197906202006042001
Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Si., Ph.D.
NIP. 197801132002121003

Study Program of Material Engineering
Department of Materials and Metallurgical Engineering
Faculty of Industrial Technology and Systems Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2023

(This page is intentionally blank)

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS PENGARUH RASIO KATALIS:CPO DAN JENIS KATALIS (γ -Al₂O₃, HZSM-5, ZEOLIT USY) PADA PROSES *CATALYTIC CRACKING* CPO TERHADAP *YIELD* DAN *VISKOSITAS BIOGASOLINE*

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat
memperoleh gelar Sarjana Teknik pada
Program Studi S-1 Teknik Material
Departemen Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember


Oleh : **HARIS AL HAMDI**
NRP. 0251194000041

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :


1. Dr. Widyastuti, S.Si., M.Si.

 Pembimbing

2. Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Si., Ph.D.

 Ko-Pembimbing

3. Haniffudin Nurdiansah, S.T., M.T.

 Penguji

4. Azzah Dyah Pramata, S.T., M.T., M.Eng., PhD .

 Penguji

SURABAYA
Juli, 2023

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

APPROVAL SHEET

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF RATIO CATALYST:CPO AND TYPE OF CATALYST (γ -Al₂O₃, HZSM-5, AND ZEOLITE USY) IN THE CATALYTIC CRACKING PROCESS OF CPO ON YIELD AND VISCOSITY OF BIOGASOLINE

FINAL PROJECT

Submitted to fulfill one of the requirements
for obtaining a degree of bachelor of engineering at
Undergraduate Study Program of Material Engineering
Department of Materials and Metallurgical Engineering
Faculty of Industrial Technology and Systems Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

By : **HARIS AL HAMDI**
NRP. 02511940000041

Approved by Final Project Examiner Team :

1. Dr. Widyastuti, S.Si., M.Si.



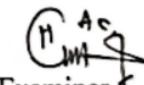
Advisor

2. Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Si., Ph.D.



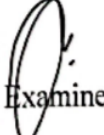
Co-Advisor

3. Haniffudin Nurdiansah, S.T., M.T.



Examiner

4. Azzah Dyah Pramata, S.T., M.T., M.Eng., PhD .



Examiner

SURABAYA
July, 2023

(This page is intentionally blank)

PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama mahasiswa/NRP : Haris Al Hamdi /02511940000041
Departemen : Teknik Material dan Metalurgi FTIRS-ITS
Dosen Pembimbing/NIP : Dr. Widyastuti, S.Si., M.Si./197906202006042001
Dosen Ko-Pembimbing/NIP : Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Si., Ph.D./
197801132002121003

dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul “ANALISIS PENGARUH RASIO KATALIS:CPO DAN JENIS KATALIS (γ -Al₂O₃, HZSM-5, ZEOLIT USY) PADA PROSES *CATALYTIC CRACKING* CPO TERHADAP *YIELD* DAN *VISKOSITAS BIOGASOLINE*” adalah hasil karya sendiri, bersifat orisinal, dan ditulis dengan mengikuti kaidah penulisan ilmiah.

Bilamana di kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

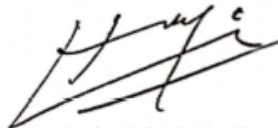
Surabaya, 3 Juli 2023

Mengetahui
Dosen Pembimbing



(Dr. Widyastuti, S.Si., M.Si)
NIP. 197906202006042001

Mahasiswa



(Haris Al Hamdi)
NRP. 02511940000041

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

STATEMENT OF ORIGINALITY

The undersigned below:

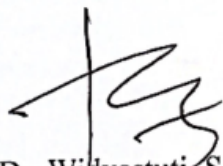
Name of student/NRP : Haris Al Hamdi / 02511940000041
Departement : Materials and Metallurgical Engineering INDSYS-ITS
Advisor/NIP : Dr. Widyastuti, S.Si., M.Si./197906202006042001
Co-Advisor/NIP : Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Si., Ph.D./197801132002121003

hereby declare that the Final Project with the title of “ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF CATALYST COMPOSITION AND TYPE OF CATALYST (γ -Al₂O₃, HZSM-5, AND ZEOLITE USY) IN THE CATALYTIC CRACKING PROCESS OF CPO ON YIELD AND VISCOSITY OF BIOGASOLINE” is the result of my own work, is original, and is written by following the rules of scientific writing..


If in the future there is a discrepancy with this statement, then I am willing to accept sanctions in accordance with the provisions that apply at Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, July 3th 2023

Acknowledged
Advisor


(Dr. Widyastuti, S.Si., M.Si)
NIP. 197906202006042001

Student


(Haris Al Hamdi)
NRP.02511940000041

(This page is intentionally blank)

**ANALISIS PENGARUH RASIO KATALIS:CPO DAN JENIS KATALIS (γ -Al₂O₃,
HZSM-5, ZEOLIT USY) PADA PROSES CATALYTIC CRACKING CPO TERHADAP
YIELD DAN VISKOSITAS BIOGASOLINE**

Nama Mahasiswa / NRP : Haris Al Hamdi / 0251194000041
Departemen : Teknik Material dan Metalurgi FTIRS-ITS
Dosen Pembimbing : Dr. Widyastuti, S.Si., M.Si.
Dosen Ko-Pembimbing : Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Si., Ph.D.

Abstrak

Bahan bakar fosil merupakan salah satu sumber energi yang berfungsi sebagai energi penggerak alat transportasi sehari-hari yang angka kebutuhannya terus mengalami peningkatan dari tahun ke tahun namun berbanding terbalik dengan jumlah produksi minyak bumi di Indonesia yang cenderung mengalami penurunan selama sepuluh tahun terakhir karena sumur-sumur utama produksi minyak bumi umurnya sudah tua sehingga berpotensi terjadi kelangkaan bahan bakar fosil. Untuk mengatasi hal tersebut, salah satu inovasi yang dapat dikembangkan adalah dengan meningkatkan produksi bahan bakar alternatif biogasoline dari *Crude Palm Oil* (CPO). Metode pada penelitian ini menggunakan *catalytic cracking* sehingga dapat merengkah hidrokarbon kompleks dari CPO menjadi hidrokarbon yang lebih sederhana dan sesuai dengan bensin. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis pengaruh rasio katalis:cpo dan jenis katalis terhadap *yield* dan viskositas *biogasoline* menggunakan katalis γ -Al₂O₃, HZSM, USY. Dalam penelitian ini, proses *catalytic cracking* dilakukan menggunakan alat destilasi dan sumber energi menggunakan *heating mantle* dengan variasi katalis γ -Al₂O₃, HZSM, USY dan rasio 1:125, 1:100, 1:75, 1:50. Sampel yang telah diperoleh akan diuji dengan beberapa pengujian seperti *Fourier Transform Infra Red* (FTIR), *Gas Chromatography – Mass Spectroscopy* (GC-MS) dan juga viskositas. Diperoleh hasil analisis bahwa semakin tinggi rasio katalis:cpo semakin menurunkan nilai *yield biogasoline* dan viskositas dari *biogasoline*. Nilai *yield biogasoline* tertinggi diperoleh ketika menggunakan USY dengan rasio katalis 1:125 yaitu sebesar 17,09%. Sedangkan untuk nilai viskositas terendah adalah sebesar 1,86 Cst yang diperoleh menggunakan γ -Al₂O₃ dengan rasio katalis 1:125.

Kata Kunci: *Biogasoline, HZSM-5, USY, Viskositas, γ -Al₂O₃.*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF CATALYST COMPOSITION AND TYPE OF CATALYST (γ -Al₂O₃, HZSM-5, AND ZEOLITE USY) IN THE CATALYTIC CRACKING PROCESS OF CPO ON YIELD AND VISCOSITY OF BIOGASOLINE

Student Name / NRP : Haris Al Hamdi / 0251194000041
Departement : Material and Metallurgical Engineering INDSYS-ITS
Advisor : Dr. Widyastuti, S.Si., M.Si.
Co-Advisor : Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Si., Ph.D.

Abstract

Fossil fuels are one of the energy sources that serve as the driving force for daily transportation needs, with their demand increasing year by year. However, this is in contrast to the declining production of crude oil in Indonesia over the past ten years, mainly due to aging oil wells, which could potentially lead to a scarcity of fossil fuels. To address this issue, one innovative solution that can be developed is to increase the production of alternative fuel, biogasoline, from Crude Palm Oil (CPO). The method used in this research is catalytic cracking, which allows for the conversion of complex hydrocarbons from CPO into simpler hydrocarbons suitable for gasoline. The objective of this research is to analyze the influence of catalyst composition and type on the yield and viscosity of biogasoline using γ -Al₂O₃, HZSM, and USY catalysts. In this study, the catalytic cracking process is conducted using a distillation apparatus, and the energy source is provided by a heating mantle, with variations in γ -Al₂O₃, HZSM, and USY catalysts and compositions of 1:125, 1:100, 1:75, 1:50. The obtained samples will undergo several tests such as Fourier Transform Infrared (FTIR) analysis, Gas Chromatography – Mass Spectroscopy (GC-MS), and viscosity measurement. The analysis results show that an increase in catalyst composition leads to a decrease in liquid yield and viscosity of biogasoline. The highest biogasoline yield is obtained when using USY catalyst with a 1:125 catalyst ratio, which is 17.09%. Meanwhile, the lowest viscosity value of 1.86 cSt is achieved using γ -Al₂O₃ catalyst with a 1:125 catalyst ratio.

Keywords: *Biogasoline, HZSM-5, USY, Viscosity, γ -Al₂O₃.*

(This page is intentionally blank)

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur atas kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian tugas akhir dengan judul, “ANALISIS PENGARUH RASIO KATALIS:CPO DAN JENIS KATALIS (γ -Al₂O₃, HZSM-5, ZEOLIT USY) PADA PROSES *CATALYTIC CRACKING* CPO TERHADAP *YIELD* DAN *VISKOSITAS BIOGASOLINE*”. terselesaikannya laporan tugas akhir ini tidak luput dari dukungan, bantuan, motivasi serta partisipasi dari semua pihak, untuk itu penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M..Si., Ph.D., selaku Kepala Departemen Teknik Material dan Metalurgi FT-IRS ITS
2. Ibu Dr. Widyastuti, S.Si., M.Si. dan Bapak Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M..Si., Ph.D selaku dosen pembimbing tugas akhir atas segala ilmu dan bimbingan yang telah diberikan selama pelaksanaan tugas akhir hingga laporan selesai.
3. Bapak Prof. DR. Ir. Sulistijono, DEA, selaku dosen wali penulis yang senantiasa memberikan arahan selama masa perkuliahan.

Penulis menyadari bahwa penyusunan laporan ini masih jauh dari kata sempurna. Untuk itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari pembaca. Semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi penulis dan semua pihak terkait.

Surabaya, 3 Juli 2023
Penulis

Haris Al Hamdi

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR ISI

| | |
|---|--------------|
| HALAMAN JUDUL | 1 |
| ABSTRAK | xiii |
| ABSTRACT | xv |
| KATA PENGANTAR | xvii |
| DAFTAR ISI | xix |
| DAFTAR GAMBAR | xxi |
| DAFTAR TABEL | xxiii |
| BAB I PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang..... | 1 |
| 1.2 Perumusan Masalah..... | 2 |
| 1.3 Batasan Masalah | 2 |
| 1.4 Tujuan Penelitian..... | 2 |
| 1.5 Manfaat Penelitian..... | 2 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA | 3 |
| 2.1 Kelapa Sawit..... | 3 |
| 2.2 <i>Biogasoline</i> | 6 |
| 2.3 Metode Pengolahan CPO | 8 |
| 2.4 Katalis..... | 11 |
| 2.4.1 γ -Al ₂ O ₃ | 12 |
| 2.4.2 Zeolite USY (<i>Ultra-Stable Y</i>) | 13 |
| 2.4.3 HZSM-5..... | 14 |
| 2.5 Penelitian Pendahuluan | 16 |
| BAB III METODOLOGI | 19 |
| 3.1 Diagram Alir..... | 19 |
| 3.2 Alat Penelitian | 19 |
| 3.3 Bahan Penelitian | 22 |
| 3.4 Metode Penelitian | 23 |
| 3.5 Pengujian | 24 |
| 3.6 Rancangan Penelitian | 28 |
| BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN | 29 |
| 4.1 Karakterisasi <i>Raw Material</i> | 29 |
| 4.1.1 CPO | 29 |
| 4.1.2 γ -Al ₂ O ₃ | 31 |
| 4.1.3 HZSM-5..... | 35 |
| 4.1.4 USY | 39 |
| 4.2 Hasil <i>Catalytic Cracking</i> | 42 |
| 4.3 Pengaruh Rasio Katalis:CPO dan Jenis Katalis terhadap <i>Yield Biogasoline</i> | 46 |
| 4.4 Pengaruh Rasio Katalis:CPO dan Jenis Katalis terhadap Viskositas <i>Biogasoline</i> | 48 |
| 4.5 Tabulasi Hasil..... | 50 |
| BAB V KESIMPULAN DAN SARAN | 51 |
| 5.1 Kesimpulan..... | 51 |
| 5.2 Saran | 51 |
| DAFTAR PUSTAKA | 53 |
| LAMPIRAN | 59 |
| UCAPAN TERIMAKASIH | 69 |
| BIODATA PENULIS | 71 |

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

| | |
|---|----|
| Gambar 2. 1 Struktur buah kelapa sawit | 3 |
| Gambar 2. 2 Neraca massa pengolahan kelapa sawit | 4 |
| Gambar 2. 3 Pemutusan rantai pada <i>catalytic cracking</i> | 11 |
| Gambar 2. 4 Ilustrasi proses <i>catalytic cracking</i> | 11 |
| Gambar 2. 5 Transformasi fasa falumina | 12 |
| Gambar 2. 6 Sel γ -Al ₂ O ₃ tipe spinel | 13 |
| Gambar 2.7 Struktur kubik zeolite Y | 14 |
| Gambar 2.8 Mekanisme cracking dengan zeolite HZSM-5 | 15 |
| Gambar 3. 1 Diagram alir proses <i>catalytic cracking</i> CPO | 19 |
| Gambar 3. 2 Neraca digital analitik | 20 |
| Gambar 3. 3 Labu distilat | 20 |
| Gambar 3. 4 Labu distilasi | 20 |
| Gambar 3. 5 Kondensor | 20 |
| Gambar 3. 6 <i>Heating mantle</i> | 21 |
| Gambar 3. 7 Pompa air | 21 |
| Gambar 3. 8 Selang | 21 |
| Gambar 3. 9 <i>Container</i> | 21 |
| Gambar 3. 10 CPO | 22 |
| Gambar 3. 11 Katalis γ -Al ₂ O ₃ | 22 |
| Gambar 3. 12 Katalis HZSM-5 | 22 |
| Gambar 3. 13 Katalis zeolit USY | 23 |
| Gambar 3. 14 Air | 23 |
| Gambar 3. 15 <i>Grease</i> | 23 |
| Gambar 3. 16 Skema alat <i>catalytic cracking</i> | 24 |
| Gambar 3. 17 Alat uji FTIR | 24 |
| Gambar 3. 18 Alat uji XRD | 25 |
| Gambar 3. 19 Mesin SEM-EDX Zeiss EVO MA 10 | 26 |
| Gambar 3. 20 Alat uji BET | 27 |
| Gambar 3. 21 Alat uji GCMS | 27 |
| Gambar 3. 22 Alat uji viskositas (<i>viscometer bath</i>) | 28 |
| Gambar 4. 1 Hasil pengujian FTIR minyak <i>Crude Palm Oil</i> (CPO) | 29 |
| Gambar 4. 2 Struktur kimia komponen asam CPO | 30 |
| Gambar 4. 3 Hasil FTIR γ -Al ₂ O ₃ | 31 |
| Gambar 4. 4 Hasil SEM γ -Al ₂ O ₃ dengan perbesaran 5000 | 32 |
| Gambar 4. 5 (a) N ₂ adsorpsi-desorpsi isotherm γ -Al ₂ O ₃ (b) Distribusi pori γ -Al ₂ O ₃ | 33 |
| Gambar 4. 6 XRD γ -Al ₂ O ₃ | 34 |
| Gambar 4. 7 FTIR HZSM-5 | 35 |
| Gambar 4. 8 SEM zeolit HZSM-5 perbesaran 10000x | 35 |
| Gambar 4. 9 (a) N ₂ adsorpsi-desorpsi isotherm HZSM-5 (b) Distribusi pori HZSM-5 | 37 |
| Gambar 4. 10 XRD HZSM-5 | 38 |
| Gambar 4. 11 Spektrum hasil pengujian FTIR USY | 39 |
| Gambar 4. 12 SEM zeolit USY perbesaran 12000x | 39 |
| Gambar 4. 13 (a) N ₂ adsorpsi-desorpsi isotherm USY (b) Distribusi pori USY | 41 |
| Gambar 4. 14 Hasil XRD USY | 42 |
| Gambar 4. 15 Hasil visual produk <i>catalytic cracking</i> CPO | 43 |
| Gambar 4. 16 FTIR variasi katalis γ -Al ₂ O ₃ | 43 |
| Gambar 4. 17 Struktur kimia senyawa 2-Tetradekena (C ₁₄ H ₂₈) | 44 |

| | | |
|---------------------|--|----|
| Gambar 4. 18 | FTIR variasi rasio katalis:cpo HZSM-5 | 44 |
| Gambar 4. 19 | Struktur kimia senyawa 1-Docosene (C ₂₂ H ₄₄)..... | 45 |
| Gambar 4. 20 | FTIR variasi rasio katalis:cpo USY..... | 45 |
| Gambar 4. 21 | Pengaruh rasio katalis:cpo dan jenis katalis terhadap <i>yield biogasoline</i> | 47 |
| Gambar 4. 22 | Pengaruh rasio katalis:cpo dan jenis katalis terhadap viskositas <i>biogasoline</i> | 49 |

DAFTAR TABEL

| | |
|---|----|
| Tabel 2. 1 Turunan kelapa sawit | 5 |
| Tabel 2. 2 Karakteristik CPO..... | 6 |
| Tabel 2. 3 Klasifikasi asam lemak pada CPO | 6 |
| Tabel 2. 4 Karakteristik fisik dan kimia bensin | 7 |
| Tabel 2. 5 Hasil uji komposisi bahan bakar dengan GC-MS..... | 8 |
| Tabel 2. 6 Perbandingan metode <i>pyrolysis</i> dan transesterifikasi..... | 9 |
| Tabel 2. 7 Karakteristik katalis homogen dan katalis heterogen | 12 |
| Tabel 2. 8 <i>Physical properties of γ-Al₂O₃</i> | 13 |
| Tabel 2. 9 Sifat tekstur dan asam zeolit USY | 14 |
| Tabel 2. 10 Spesifikasi HZSM-5 | 15 |
| Tabel 2. 11 Macam-macam katalis zeolit pada proses produksi biogasolin dengan proses <i>catalytic cracking</i> | 16 |
| Tabel 2. 12 Perbandingan karakteristik <i>biogasoline</i> dengan bensin..... | 17 |
| Tabel 3. 1 Rancangan penelitian..... | 28 |
| Tabel 4. 1 Gugus fungsi CPO hasil uji FTIR..... | 30 |
| Tabel 4. 2 Analisis GC-MS CPO..... | 30 |
| Tabel 4. 3 Kandungan unsur katalis γ -Al ₂ O ₃ dari uji EDX | 32 |
| Tabel 4. 4 Spesifikasi γ -Al ₂ O ₃ berdasarkan pengujian BET..... | 34 |
| Tabel 4. 5 Ukuran kristal γ -Al ₂ O ₃ | 34 |
| Tabel 4. 6 Kandungan unsur HZSM-5 dari uji EDX..... | 36 |
| Tabel 4. 7 Spesifikasi HZSM-5 berdasarkan pengujian BET | 37 |
| Tabel 4. 8 Ukuran kristal HZSM-5 | 38 |
| Tabel 4. 9 Kandungan unsur USY dari uji EDX | 40 |
| Tabel 4. 10 Spesifikasi Zeolit USY berdasarkan pengujian BET | 41 |
| Tabel 4. 11 Ukuran kristal USY | 42 |
| Tabel 4. 12 <i>Wavenumber</i> dan gugus fungsi variasi katalis γ -Al ₂ O ₃ | 44 |
| Tabel 4. 13 <i>Wavenumber</i> dan gugus fungsi variasi katalis HZSM-5 | 45 |
| Tabel 4. 14 <i>Wavenumber</i> dan gugus fungsi variasi katalis USY | 46 |
| Tabel 4. 15 Komposisi fraksi berdasarkan uji GC-MS..... | 48 |
| Tabel 4. 16 Perbandingan spesifikasi produk <i>catalytic cracking</i> | 50 |

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Bahan bakar fosil merupakan sumber daya alam yang terbentuk akibat adanya proses alamiah berupa pembusukan organisme yang mati jutaan tahun lalu. Sebagai salah satu sumber energi yang melimpah, bahan bakar fosil memiliki berbagai keunggulan antara lain harganya yang relatif lebih murah, menjadi bahan bakar yang diandalkan, serta memiliki produk sampingan yang bermanfaat untuk kehidupan kita seperti plastik. Bahan bakar fosil merupakan salah satu sumber energi yang berfungsi sebagai energi penggerak alat transportasi sehari-hari seperti mobil, motor, transportasi umum, dll. Namun, karena ketergantungan kita terhadap bahan bakar fosil, angka kebutuhannya terus mengalami peningkatan dari tahun ke tahun. Pada tahun 2021 sendiri jumlah konsumsi minyak di Indonesia mencapai angka 1,47 Juta barel per hari, sedangkan angka produksi minyak di Indonesia hanya mencapai 742.000 barel per hari (British Petroleum, 2022). Ketimpangan tersebut akan semakin parah seiring dengan terus bertambahnya jumlah kendaraan bermotor saat ini yang mencapai lebih dari 133 juta unit di Indonesia (BPS, 2019). Walaupun saat ini sudah muncul berbagai terobosan kendaraan listrik untuk dipasarkan ke masyarakat sebagai pengganti kendaraan bermotor, namun banyak dari masyarakat kita yang masih enggan berpindah ke kendaraan listrik. Hal tersebut diperparah dengan jumlah produksi minyak bumi Indonesia selama sepuluh tahun terakhir cenderung mengalami penurunan, yakni dari 346 juta barel (949 ribu bph) pada tahun 2009 menjadi sekitar 283 juta barel (778 ribu bph) di tahun 2018 (ESDM, 2019). Penyebab menurunnya produksi minyak bumi tersebut disebabkan karena sumur-sumur utama produksi minyak bumi umurnya sudah tua.

Untuk membantu mengurangi kelangkaan bahan bakar fosil, salah satu inovasi yang dapat dikembangkan adalah dengan meningkatkan produksi *biogasoline*. *Biogasoline* merupakan bahan bakar alternatif yang dapat menggantikan peran bahan bakar fosil sebagai sumber energi utama, *biogasoline* merupakan sumber energi yang dapat diperbarui (renewable) karena dihasilkan dari alam dengan jumlah yang melimpah sehingga tidak perlu khawatir akan ketersediaannya (Herawati, 2017). Terlebih lagi, Indonesia memiliki keuntungan sebagai negara produsen utama CPO dunia dengan volume produksi sebesar 23,9 juta ton CPO/tahun (Ya'cob, 2012). Sehingga produksi *biogasoline* dari CPO merupakan peluang besar yang dapat dimaksimalkan untuk menggantikan bahan bakar fosil sebagai sumber energi utama di Indonesia atau bahkan dunia. Untuk menghasilkan *biogasoline* dari CPO, proses yang lazim digunakan adalah perengkahan (*cracking*), yakni proses pemecahan senyawa hidrokarbon dengan berat molekul tinggi menjadi senyawa dengan berat molekul lebih rendah melalui pemutusan ikatan rantai karbon (C-C). Dalam penelitian kali ini, metode yang digunakan adalah metode *catalytic cracking*, yakni reaksi perengkahan menggunakan bantuan material katalis (heterogen) sebagai material yang mampu mempercepat laju reaksi untuk mencapai titik setimbang dan menghasilkan produk akhir melalui reaksi mekanisme pembentukan ion karbonium (Silalahi dkk, 2021). Dari berbagai penelitian yang telah dilakukan untuk mengoptimalkan CPO menjadi *biogasoline*, masih banyak kekurangan yang harus diatasi untuk bisa menghasilkan produk yang sesuai dengan spek bensin komersil. Salah satunya adalah total *yield* yang masih terlalu rendah dan viskositasnya masih terlalu tinggi. (Onggo, 2006).

Dari beberapa sumber penelitian sebelumnya, katalis $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ diketahui mempunyai sifat sebagai insulator panas dan insulator listrik yang baik dan tahan terhadap temperatur tinggi, serta memiliki luas permukaan yang besar (150-300 m²/g) sehingga baik untuk proses pyrolisis (Wicakso, 2010). Sedangkan katalis zeolit diketahui mempunyai bentuk kristal teratur dengan

rongga yang terhubung ke segala arah sehingga luas permukaannya sangat besar dan baik digunakan sebagai adsorben dan katalis (Haryani, 2020). Pada penelitian ini difokuskan untuk melihat pengaruh dari tiga jenis katalis yakni γ -Al₂O₃, HZSM-5, dan Zeolit USY dalam proses *catalytic cracking* CPO dengan variasi komposisi untuk mengetahui nilai viskositas dan *yield* pada *biogasoline*. Dengan hipotesis katalis USY pada komposisi 1:125 akan menghasilkan nilai viskositas terendah dan *yield* tertinggi. Sehingga akan didapatkan produk *biogasoline* yang optimal.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang ada didapatkan rumusan masalah pada penelitian ini antara lain:

1. Bagaimana pengaruh rasio katalis:cpo dan jenis katalis terhadap *yield biogasoline* yang dihasilkan
2. Bagaimana pengaruh rasio katalis:cpo dan jenis katalis terhadap viskositas *biogasoline* yang dihasilkan

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian ini agar hasil akhir yang didapatkan tidak menyimpang dari permasalahan yang ditinjau, antara lain:

1. Unsur pengotor dan faktor lingkungan diabaikan.
2. Gas yang menguap pada saat proses distilasi diabaikan.
3. Temperatur pada *heating mantle* dianggap konstan.
4. Waktu dan reaksi saat akan mencapai variasi temperatur proses diabaikan.

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang ada, tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk menganalisis pengaruh rasio katalis:cpo dan jenis katalis terhadap *yield biogasoline* yang dihasilkan.
2. Untuk menganalisis pengaruh rasio katalis:cpo dan jenis katalis terhadap viskositas *biogasoline* yang dihasilkan.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan harapan dapat menghasilkan produk *biogasoline* yang memiliki *yield* dan viskositas yang optimal dengan proses *catalytic cracking* pada CPO menggunakan katalis γ -Al₂O₃, HZSM-5, Zeolit USY. Disamping itu, penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi penelitian selanjutnya untuk mengembangkan proses produksi *biogasoline* yang dapat digunakan untuk masyarakat.

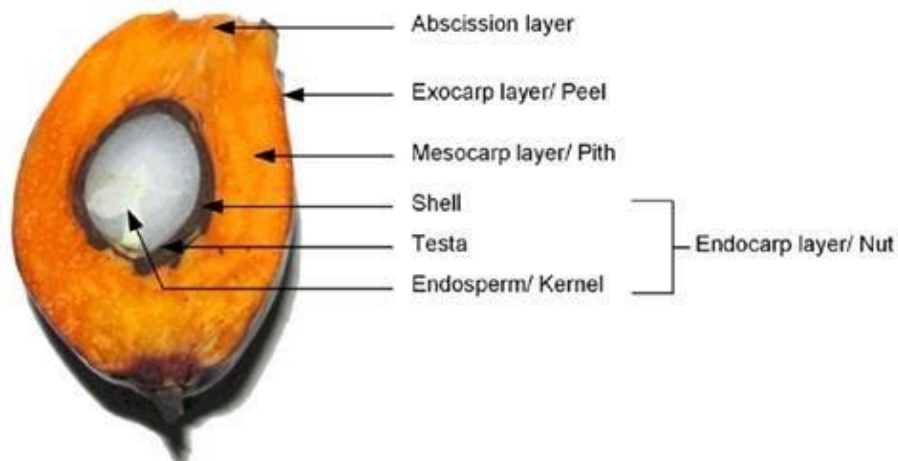
BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kelapa Sawit

Kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) merupakan tanaman industri penghasil minyak masak, minyak industri, bahan bakar (biodiesel) dan menjadi bahan baku untuk berbagai industri makanan hingga industri kimia (Lubis & Widanarko, 2011). Beberapa produk yang dihasilkan dari pengembangan minyak sawit di antaranya adalah minyak goreng, mentega, dan kue/biscuit, bahan baku penting untuk industry lain, seperti oleochemical dan bahan pembuatan biodiesel. Beberapa produk oleokimia antara lain yakni fatty acid, fatty alcohol, glycerine, metallic soap, stearic acid, methyl ester, dan stearin. Dari produk-produk tersebut muncul berbagai industri baru seperti deterjen, sabun, dan kosmetik. Industri hilir minyak sawit masih relatif kecil, padahal memberi nilai tambah yang realtif besar terutama olein dan oleochemical. (Pardamean, 2012).

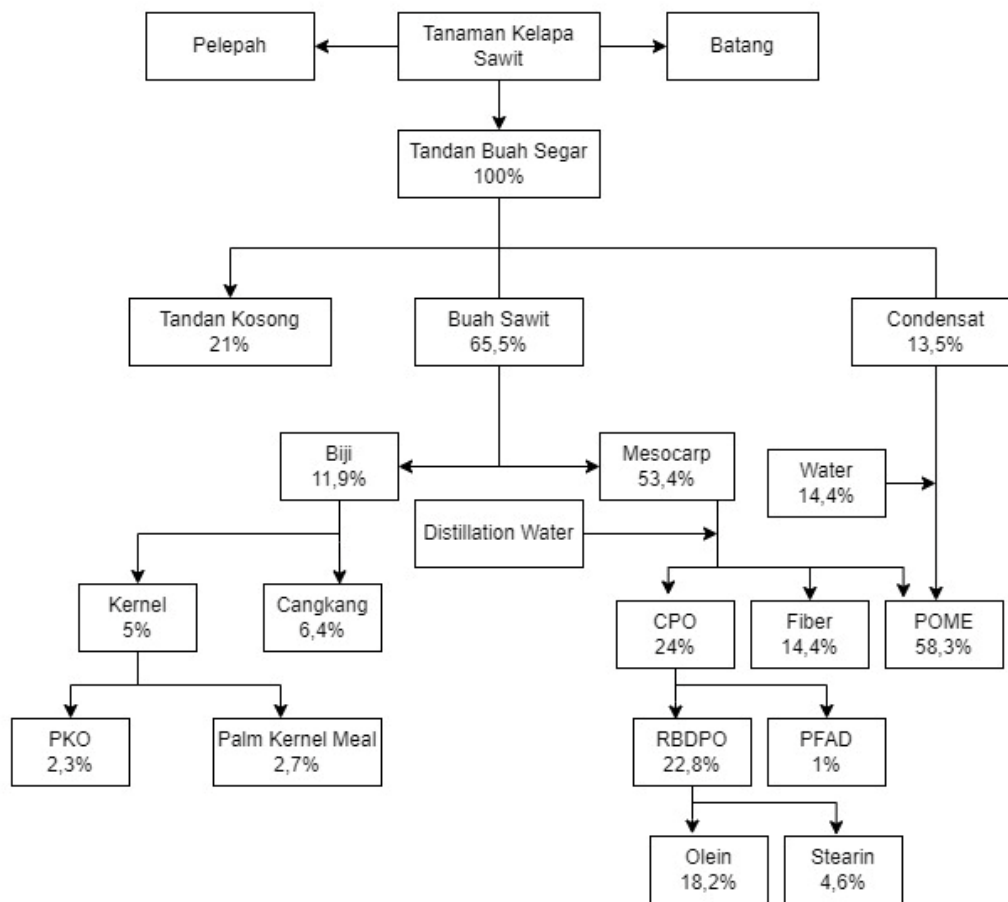
Buah sawit bentuknya bergerombol dalam tandan yang muncul dari setiap pelapah dan mempunyai warna bervariasi, dari hitam, ungu, hingga merah; bergantung pada bibit yang digunakan sementara ia terdiri dari tiga lapisan seperti pada **Gambar 2.1**.

- Eksoskarp, bagian kulit berwarna kemerahan dan licin
- Mesoskarp, serabut buah
- Endoskarp, cangkang pelindung inti, inti sawit merupakan endosperm dan embrio dengan kandungan minyak inti berkualitas tinggi



Gambar 2. 1 Struktur buah kelapa sawit (Harun et al, 2015)

Produktivitas kelapa sawit menghasilkan keuntungan besar bagi masyarakat sehingga banyak hutan dan perkebunan yang sudah terbengkalai dirubah fungsinya menjadi perkebunan kelapa sawit. Salah satu keuntungan yang dihasilkan dari kelapa sawit adalah minyak sawit, karena ia termasuk salah satu minyak nabati yang berpotensi untuk dijadikan bahan bakar sebagai pengganti bahan bakar fosil mengingat Indonesia sendiri adalah negara penghasil minyak sawit terbesar di dunia dan dalam penggunaannya di Indonesia umumnya hanya digunakan sebagai minyak goreng (Anisa, 2021). Macam-macam pengolahan dan karakteristik yang dihasilkan dari minyak sawit berturut-turut dapat dilihat pada **Gambar 2.2** dan **Tabel 2.1**.



Gambar 2. 2 Neraca massa pengolahan kelapa sawit (Hambali, 2010)

Tabel 2. 1 Turunan kelapa sawit (Hasibuan, 2012; Nugroho, 2019; Rahardja, 2019)

| Pembeda | Turunan Sawit | | | | | | | | |
|-------------|--|---|--|--|---|--|--|---|---|
| | Crude Palm Oil | RBD Palm Oil | RBD Olein | RBD Stearin | Palm Kernel Oil | Palm Kernel Fatty Acid | Palm Kernel Expeller | Palm Kernel Shell Charcoal | |
| Definisi | Minyak kelapa sawit yang masih mentah | CPO yang telah mengalami proses pemucatan, penghilangan asam lemak bebas dan bau | RBDPOil mengandung fraksi cair (olein) dan fraksi padat (stearin). RBD Olein merupakan fraksi cair dari RBDPO. | minyak fraksi padat berwarna putih kekuningan | Minyak yang diperoleh dari inti buah sawit | asam lemak dari hasil samping fraksinasi inti buah sawit | Produk sampingan berupa limbah padat dari pengolahan kernel buah sawit | produk yang berasal dari cangkang sawit | |
| Proses | Daging buah dipress agar minyak bisa keluar, lalu disaring untuk pemurnian | CPO dilakukan beberapa perlakuan - Degumming process - Bleaching process - Filtrasi - Deodorization - Kemudian, dihasilkan RBDPO | fraksi dapat dipisahkan secara fraksinasi dan umumnya dilakukan cara kering dengan tahapan proses kristalisasi dan filtrasi. | fraksinasi RBD Palm Oil atau Crude Palm Oil dan telah mengalami proses pemurnian. | Kernel buah sawit dipress dalam crusher | - | hasil sampingan ketika kernel buah sawit dipress | proses torefaksi yaitu pemanasan perlahan dengan temperatur sekitar 200-300°C tanpa oksigen | |
| Spesifikasi | Titik Leleh, (°C) | 33,2 - 38,2 | 33 - 39 | 19,8 - 23,0 | 48,8 - 57,6°C | - | - | - | |
| | Saponifikasi | 196,1 - 201,3 | 197,8 - 199,2 | 197,1 - 198,2 | 195-205 | - | - | - | |
| | Titik Kabut, (°C) | 8,5 - 11,5 | 4 - 7 | 8,5 - 11,5 | 14 - 18 | 50 | - | - | |
| | Viskositas, Cst | 39,49 - 45,83 (40°C) | 24,15 - 33,38 (50°C) | 36,47 - 42,42 (40°C) | 34,49 - 38,01 (40°C) | 4.41 ± 0.25 mm ² s - 1 | - | - | - |
| | Densitas, (g/ml) | 0,85 - 0,94 | 0,86 - 0,93 | 0,873 kg/m ³ (25°C) | 0,862 g/cm ³ | - | - | - | - |
| Kegunaan | Perlu diolah lagi agar bisa digunakan (Nugroho, 2019) (Rahardja, 2019) | Digunakan sebagai minyak goreng (Hasibuan, 2012) | Sebagai minyak goreng, minyak salad, shortening (Hasibuan, 2012) | produksi margarin/shortening, industri non pangan (sabun, lilin, plastik, pelumas), dan industri oleokimia. (Hasibuan, 2012) | Bahan baku pembuatan olekimia, perekat insectisida, makanan hewan | bahan baku sabun dan detergen, plastik, karet, kertas, lubricant | Pakan ternak | briket arang, karbon aktif, asam organik | |

Crude Palm Oil (CPO) atau minyak sawit mentah adalah minyak nabati yang didapatkan dari buah pohon kelapa sawit. CPO disebut juga minyak sawit merah karena tingginya kandungan karotenoid. Apabila CPO dilakukan pengolahan lebih lanjut maka akan menghasilkan minyak kelapa sawit yang dapat dikonsumsi dan digunakan untuk berbagai aplikasi lainnya. Antara lain untuk keperluan memasak, menggoreng, dan sebagai sumber vitamin. CPO sendiri diperoleh melalui proses *mechanical pressing* atau *solvent extraction* karena mengandung senyawa yang diinginkan dan tidak diinginkan. Senyawa yang diinginkan antara lain *triasilgliserol* (TAGs) (lipid netral) dan juga senyawa vitamin E (tokoferol dan tokotrienol), karotenoid dan pitosterol (Ngadi, 2015).

Tabel 2. 2 Karakteristik CPO (Rahardja, 2019)

| Karakteristik <i>Crude Palm Oil</i> | |
|--|------------------|
| Rumus Kimia | $C_3H_5(COOR)_3$ |
| Berat Molekul (g/mol) | 847,28 |
| Titik Beku ($^{\circ}C$) | 5 |
| Titik Didih ($^{\circ}C$) | 298 |
| <i>Specific Gravity</i> | 0,9 |
| Densitas (g/cm^3) | 0,895 |
| Viskositas (cSt) | 39,5 – 45,8 |
| Kemurnian (%) | 98 |
| Impuritas (%) | 2 |

CPO memiliki potensi sebagai sumber energi alternatif untuk menggantikan bahan bakar fosil karena mempunyai rantai karbon panjang sebagaimana rantai hidrokarbon pada bahan bakar fosil. Oleh karena itu, CPO dapat diproses untuk menghasilkan bahan bakar alternatif yakni biogasoline yang diproyeksikan sebagai bahan bakar masa depan. (Silalahi dkk, 2021). Susunan kimia yang stabil dalam minyak kelapa sawit adalah unsur C, H, dan O yang mana terdiri dari fasa solid (lemak jenuh/*saturated fatty*) dan fasa liquid (lemak tak jenuh/*unsaturated fatty*). Lemak jenuh pada minyak kelapa sawit antara lain 1% asam miristat, 45% asam palmitat, dan asam stearat. Sedangkan lemak tidak jenuh terdiri dari 39% asam oleat dan 11% asam linoleat (Rahardja, 2019). **Tabel 2.3** mengklasifikasikan jenis-jenis asam lemak pada CPO

Tabel 2. 3 Klasifikasi asam lemak pada CPO (Nugroho, 2019)

| Asam Lemak | Jumlah Atom C | Persentase |
|------------------|---------------|------------|
| Asam Laurat | C12:0 | 0,2 % |
| Asam Miristat | C14:0 | 1,1 % |
| Asam Palmitat | C16:0 | 44 % |
| Asam Palmitoleat | C16:1 | 0,1 % |
| Asam stearat | C18:0 | 4,5 % |
| Asam Oleat | C18:1 | 39,2 % |
| Asam Linoleat | C18:2 | 10,1 % |
| Asam Linolenat | C18:3 | 0,4 % |
| Asam Arakidonat | C20:0 | 0,4 % |

2.2 *Biogasoline*

Biogasoline merupakan bahan bakar hasil dari sumber energi yang dapat diperbarui (*renewable*) karena terbuat dari bahan yang terdapat di alam sehingga tidak perlu khawatir akan

keterbatasan sumber dayanya. *Biogasoline* bertujuan memberikan keamanan energi yang dibutuhkan dan menjaga lingkungan yang lebih bersih dan aman dengan biaya operasional yang relatif lebih murah. Hal ini yang menjadikannya menarik bagi konsumen. Namun, untuk memastikan *biogasoline* menjadi produk komersil sesuai standar pada **Tabel 2.4**, perlu dilakukan riset lebih lanjut untuk menentukan katalis dan desain reaktor yang tepat (Hassan, 2015).

Tabel 2. 4 Karakteristik fisik dan kimia bensin

| Parameter | Nilai | Metode Uji | Referensi |
|-------------------------------------|-----------|------------|--|
| <i>Sulphur</i> (mg/kg) | 150 max | ASTM D2622 | |
| <i>Oxygen</i> (%) | 2,7 max | ASTM D4815 | |
| <i>Olefins</i> (%) | 10 max | ASTM D1319 | (<i>Worldwide Fuel Charters</i> , 2019) |
| <i>Aromatics</i> (%) | 35 max | ASTM D6839 | |
| <i>Benzene</i> (%) | 1 max | ASTM D5580 | |
| <i>Density</i> (kg/m ³) | 715 - 770 | ASTM D4052 | |
| RON | 88-91 | ASTM D2699 | |
| <i>Viscosity</i> (cSt) | < 1 | ASTM D445 | (<i>Shell Petroleum Canada</i> , 1999) |

Dalam menentukan presentases *yield biogasoline* harus terdapat fraksi bensin yang dapat menentukan kemurnian dari *biogasoline* tersebut. Fraksi bensin ini tersusun atas rantai lurus hidrokarbon dengan rumus kimia C_nH_{2n+2}, dari C₅ hingga C₁₁ (Rahayu, 2013). Untuk menentukan *yield biogasoline*, digunakanlah **Persamaan 2.1** sebagai berikut:

$$\text{Selectivity of gasoline (\%)} : \frac{\% \text{ gasoline (C5-C11)} \times m \text{ akhir}}{m \text{ awal} - m \text{ residu}} \times 100\% \quad (2.1)$$

Di sisi lain sifat viskositas juga penting dalam syarat mutu bensin. Viskositas ini berpengaruh terhadap kualitas pembakaran di mesin. Viskositas yang terlalu tinggi mengakibatkan atomisasi yang tidak tepat sehingga pembakaran menjadi tidak sempurna (Sidheshware, 2022). Viskositas diukur sesuai standar ASTM D445 yang menjelaskan mengenai metode untuk menentukan viskositas kinematik dengan mengukur waktu aliran volume cairan di bawah gravitasi melalui kalibrasi viskometer kapiler kaca. Nilai viskositas digunakan untuk menunjukkan hambatan gesek antara molekul di dalam aliran fluida dan juga untuk mencerminkan fluiditas minyak (Zhu, 2012).

Biogasoline dapat diperoleh melalui proses mengubah ukuran dan struktur dari senyawa hidrokarbon tersebut. Panjang molekul hidrokarbon yang berbeda akan mempengaruhi sifat dari hidrokarbon tersebut. Dalam hal ini CH₄ (metana) adalah molekul yang paling ringan, molekul hidrokarbon akan semakin berat dengan bertambahnya atom C dalam rantai tersebut (Herawati, 2017). Berdasarkan hasil uji GCMS pada bahan bakar komersil pertalite dan premium, keduanya terdiri dari campuran berbagai jenis hidrokarbon, termasuk senyawa parafin, naphtena, olefin, dan aromatik. Kelompok senyawa ini memiliki perbedaan dalam kandungan hidrogennya jika dibandingkan dengan kelompok senyawa lainnya seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 2.5**.

Tabel 2. 5 Hasil uji komposisi bahan bakar dengan GC-MS (Luthfi et al, 2018)

| Kandungan Komponen Penyusun | Pertalite | Premium |
|--|------------|---------|
| | Komposisi% | |
| Heptane, 2,6-dimethyl- | 0,24 | 0,26 |
| Heptane, 2,5-dimethyl- | 0,72 | 0,76 |
| 3-Heptene, 4-ethyl- | 0,20 | 0 |
| 7-Methyl-1,3,5 Cycloheptatriene | 26,42 | 21,09 |
| Nonane, 4,5-dimethyl- | 1,70 | 1,74 |
| Octane, 3-dimethyl- | 1,04 | 1,13 |
| -Methyl-1,3,5-Cycloheptatriene | 8,31 | 0 |
| Cyclohexane, 1-ethyl-4-methyl-, trans- | 0,22 | 0,25 |
| Nonane | 0,54 | 0,56 |
| Benzene, (1-methylethyl)- | 0,60 | 0,55 |
| Benzene, propyl- | 2,19 | 2,11 |
| Cyclohexane, 1,2,4-Tris(Methylene)- | 7,77 | 7,73 |
| Benzene, 1,2,3-Trimethyl- | 3,90 | 4,02 |
| Benzene, 1,3,5-trymethyl- | 4,63 | 4,45 |
| Benzene, 1-ethyl-3-methyl- | 2,94 | 2,82 |
| Nonane. 2-methyl- | 0,32 | 0,27 |
| Cyclohexane, 1,2,4-Tris (Methylene) | 11,68 | 11,70 |
| 1H-INDENE, 2,3 DIHYDRO- | 0,99 | 0,97 |
| Benzene, 1,2-diethyl- | 0,68 | 0,63 |
| Benzene, 1-methyl-3-propyl- | 1,89 | 1,73 |
| Benzene, 1-methyl-2-propyl- | 1,31 | 1,19 |
| Benzene, 2-ethyl-1,4-Dimethyl- | 2,19 | 2,13 |
| Benzene, 1-methyl-3-propyl- | 0,49 | 0,37 |
| Benzene, 1-ethyl-2,3-dimethyl- | 1,69 | 1,64 |
| Benzene, 1-methyl-2-(1-methylethyl)- | 1,38 | 1,32 |
| 1H-INDENE, 2,3-DIHYDRO-1-Methyl- | 0,59 | 0,60 |
| Benzene, 2-Ethyl-1,4-Dimethyl- | 2,83 | 2,68 |
| Benzene, 1,2,4,5-tetramethyl- | 3,53 | 3,26 |
| Benzene, 1-ethenyl-3-ethyl- | 0,45 | 0,43 |
| Benzene, 1-ethenyl-4-ethyl- | 0,76 | 0,77 |
| Bezene, 1,3-diethyl-5-methyl | 0,32 | 0,34 |
| Benzene, 1-methyl-4-(1-methyethyl)- | 0,81 | 0,81 |
| Azulene | 1,52 | 1,20 |
| Naphtalene, 2-methyl- | 1,96 | 1,36 |
| Tripropylene | 0,19 | 0 |
| Cyclopentene, 1-Ethenyl-3-Methylene | 6,61 | 0 |
| Nonane, 3-methyl- | 0,27 | 0 |
| Benzene, 1,2,4-Trimethyl- | 2,78 | 0 |

2.3 Metode Pengolahan CPO

Proses untuk memproduksi biogasoline dapat dilakukan dengan beberapa metode pengolahan. Namun dari berbagai metode pengolahan tersebut terdapat 2 metode pengolahan yang paling sering digunakan yakni pyrolisis dan transesterifikasi. Sementara, berdasarkan

perbandingan yang terdapat pada **Tabel 2.6** metode *pyrolysis* memiliki beberapa kelebihan yang tidak ditemukan pada metode transesterifikasi antara lain, prosesnya lebih efektif, *wasteless*, bebas polusi dan tidak memerlukan proses yang terlalu lama. Sehingga, pada penelitian kali ini metode *pyrolysis* dipilih untuk memproduksi biogasoline berbahan dasar CPO.

Tabel 2. 6 Perbandingan metode *Pyrolysis* dan Transesterifikasi

| | <i>Pyrolysis (Catalytic Cracking)</i> | Transesterifikasi |
|-------------------------|--|---|
| Mekanisme | Memecah rantai hidrokarbon kompleks menjadi molekul yang lebih sederhana dengan bantuan katalis | Proses konversi kimia senyawa trigliserida dengan alkohol menjadi alkil-ester dengan bantuan katalis |
| Parameter proses | <ul style="list-style-type: none"> - Waktu Reaksi - Temperatur Reaksi - Laju alir gas umpan - Jenis Katalis | <ul style="list-style-type: none"> - Jenis pelarut - Rasio Komposisi pelarut - Jenis katalis - Temperatur (°C) - Waktu reaksi (s) - <i>Agitation speed</i> (rpm) |
| Kelebihan | <ul style="list-style-type: none"> - Prosesnya efektif, - sederhana (tidak perlu dicuci, dikeringkan atau disaring), - tidak boros, - bebas polusi | <ul style="list-style-type: none"> - Konversi tinggi - Biaya relatif rendah, - Sifat produk lebih mendekati petro-diesel, - Dapat diterapkan untuk produksi skala industri |
| Kekurangan | <ul style="list-style-type: none"> - temperatur tinggi - peralatan mahal - menghasilkan kemurnian biodiesel yang rendah | <ul style="list-style-type: none"> - Perlu asam lemak bebas rendah (FFA) dan kandungan air dalam bahan baku, - Langkah pemurnian terlalu luas, - Banyak air limbah. - Proses lebih lama |
| Kegunaan | Mengkonversi minyak nabati menjadi fraksi karbon ringan (<i>light hydrocarbon</i>)/biogasoline | Digunakan untuk memproduksi biodiesel dari berbagai bahan baku |
| Referensi | <i>Nurjannah, dkk (2010); Sihombing, dkk (2017); Zahan (2018)</i> | <i>Thangarasu (2019); Zahan (2018); Baskar, dkk (2019)</i> |

Selain berbagai jenis dari metode *pyrolysis* yang dapat digunakan untuk memproduksi biogasoline, sebenarnya ada metode lain yang juga bisa digunakan yakni reaksi transesterifikasi. Transesterifikasi sendiri merupakan proses pembuatan biodiesel (*metil ester*) dengan penambahan asam fosfat yang nilai keasamannya yang cukup tinggi, sehingga perlu diturunkan dengan cara esterifikasi yang mana asam lemak bebas bereaksi dengan alkohol membentuk ester. (Alamsyah, 2011). Namun, penelitian (Negm dkk, 2018) menyebutkan bahwa transesterifikasi memiliki beberapa kelemahan antara lain, membutuhkan pencampuran dengan bahan bakar diesel yang tidak ekonomis, dan juga proses reaksinya (dekomposisi termal) membutuhkan temperatur yang cukup tinggi 600-900 °C. Sehingga, pada penelitian kali ini metode *pyrolysis* dipilih untuk memproduksi biogasoline berbahan dasar CPO.

Pyrolysis adalah proses pemanasan suatu zat dengan oksigen terbatas sehingga terjadi penguraian komponen-komponen penyusun. Pada proses *pyrolysis* energi panas mendorong terjadinya oksidasi sehingga molekul karbon yang kompleks dapat terurai. (Ridhuan, 2019). Temperatur dalam proses *pyrolysis* berbeda-beda tiap bahannya dan sangat berpengaruh untuk memberikan hasil optimal. Fungsi temperatur dalam proses *pyrolysis* adalah untuk memberikan panas yang dibutuhkan untuk menguraikan ikatan kimia dari biomassa. Peningkatan temperatur memberikan efek positif terhadap hasil bio-oil, akan tetapi pemberian temperatur

yang sangat tinggi ($>600^{\circ}\text{C}$) memberikan efek yang berlawanan yaitu penurunan jumlah bio-oil tetapi meningkatkan jumlah gas yang dihasilkan (Hu, 2019)

Secara umum, terdapat tiga jenis *pyrolysis* yang sering digunakan yaitu *thermal cracking*, *hydrocracking*, dan *catalytic cracking*.

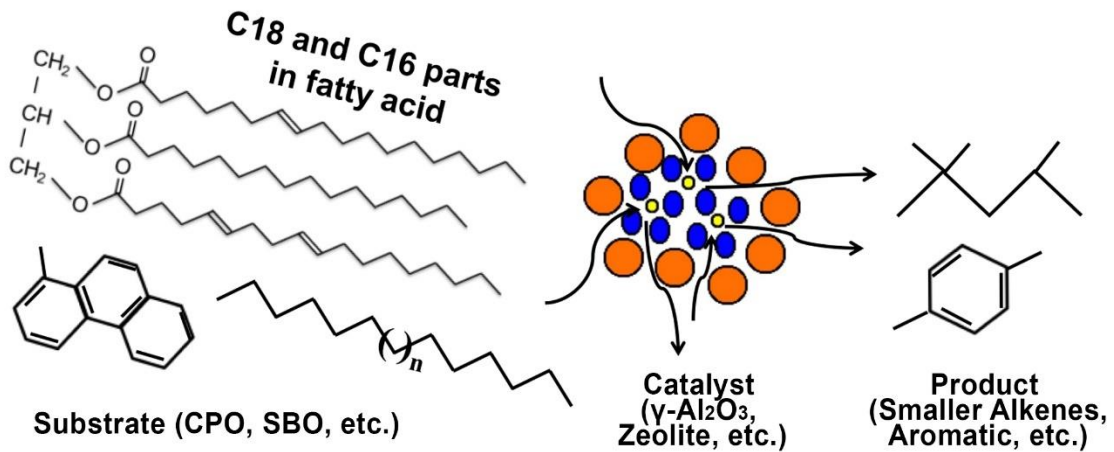
a) *Thermal cracking* adalah salah satu metode pyrolysis dengan cara memanaskan tanpa adanya oksigen. Hidrokarbon mulai dari etana, propana, n-butana, nafta, dan minyak gas digunakan sebagai bahan baku dalam proses pyrolysis untuk menghasilkan etilena ditambah berbagai macam produk sampingan, termasuk propilena, butadiena, senyawa aromatik, dan hidrogen (Crynes et al., 2003). Dari proses ini, akan diperoleh hasil berupa arang, minyak dari proses kondensasi gas seperti parafin, isoparafin, olefin, naphthene, dan aromatik serta beberapa gas lain yang tidak bisa terkondensasi (Nindita, 2015). Proses ini biasanya dilakukan pada temperatur sekitar $425\text{-}650^{\circ}\text{C}$ tanpa menggunakan katalis sehingga menghasilkan fragmen radikal bebas yang cenderung akan mengalami oligomerisasi. Hasilnya, hidrokarbon akan mengalami perengkahan termal akibat hasil dari pembentukan fragmen tersebut pada temperatur tinggi (Yolanda, 2018).

b) *Hydrocracking* banyak digunakan dalam penyulingan minyak bumi untuk mengubah fraksi minyak berat (yang mungkin termasuk residu) menjadi hidrokarbon dengan berat molekul lebih rendah melalui pemutusan ikatan C-C. Katalis yang digunakan untuk perengkahan hidro bersifat bifungsional, karena terdiri dari fungsi dehidrogenasi-hidrogenasi yang disediakan oleh logam, dan fungsi asam yang diberikan oleh pendukung (Corma & Martínez, 2005).

c) *Catalytic cracking* merupakan salah satu proses terpenting yang telah diterapkan dalam penyulingan minyak bumi karena memungkinkan penggunaan fraksi minyak mentah yang jauh lebih besar serta mengubah bahan dengan berat molekul relatif tinggi menjadi bahan bakar oktan tinggi (Ross, 2019). Proses perengkahan katalitik bertujuan untuk memecahkan rantai karbon yang cukup panjang menjadi suatu molekul dengan rantai karbon yang lebih pendek dengan bantuan katalis (Sihombing et al., 2014).

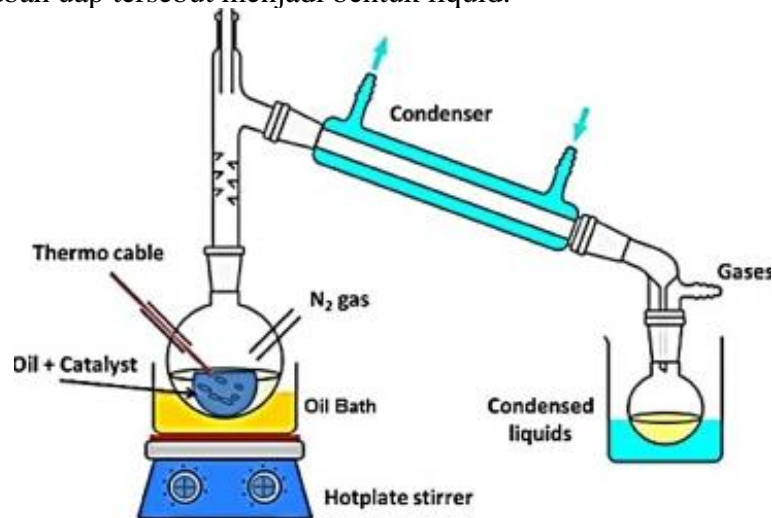
Katalis berperan penting dalam proses ini karena berfungsi untuk menurunkan energi aktivasi reaksi sehingga dapat membantu laju reaksi menjadi lebih cepat dibandingkan reaksi tanpa menggunakan katalis (Nindita, 2015). Katalis merupakan salah satu faktor terpenting dalam proses *catalytic cracking* terhadap persen konversi dari bahan baku menjadi bahan bakar nabati yang produk utamanya adalah berupa biogasolin, biokerosin, dan biodiesel (Alam et al., 2021).

Apabila dibandingkan dengan *thermal cracking* dan *hydrocracking*, penggunaan *catalytic cracking* akan lebih hemat karena dalam prosesnya membutuhkan temperatur dan tekanan yang relatif rendah. Dalam **Gambar 2.3** disajikan ilustrasi reaksi pemecahan katalitik molekul trigliserida menggunakan katalis $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$, dan zeolite. Semula trigliserida yang tersusun dari rantai C yang panjang akan menjadi produk dengan rantai C yang lebih pendek seperti senyawa alkena, senyawa alkana, dan senyawa aromatik.



Gambar 2. 3 Pemutusan rantai pada *catalytic cracking* (Ishihara, 2019)

Adapun ilustrasi proses *catalytic cracking* pada **Gambar 2.4** menunjukkan bagaimana produk akhir berupa *biogasoline* yang terdapat di bagian *condensed liquid* dapat dihasilkan dari perengkahan melalui proses pemanasan dengan temperatur tinggi yang terjadi di bagian *hotplate stirrer* lalu kemudian uapnya naik dan menuju ke bagian *condenser* berisi air yang berfungsi mengubah uap tersebut menjadi bentuk liquid.



Gambar 2. 4 Ilustrasi proses *catalytic cracking* (Negm et al, 2018)

2.4 Katalis

Katalis merupakan suatu zat yang difungsikan untuk mempercepat laju reaksi dalam reaksi kimia dan pada temperatur tertentu tanpa mengalami perubahan atau terpakai oleh reaksi itu sendiri. Katalis dapat memungkinkan reaksi berlangsung lebih cepat pada temperatur yang lebih rendah dibanding dengan reaksi tanpa katalis karena dengan menggunakan katalis energi aktivasi akan lebih rendah sehingga energi yang digunakan untuk berlangsungnya reaksi akan lebih sedikit (Purnami, 2015).

Aktivitas katalis yang tinggi dapat memberikan beberapa keuntungan seperti:

- Kecepatan reaksi sama pada ukuran reaktor yang lebih kecil.
- Kecepatan reaksi sama pada temperatur atau tekanan yang lebih rendah.

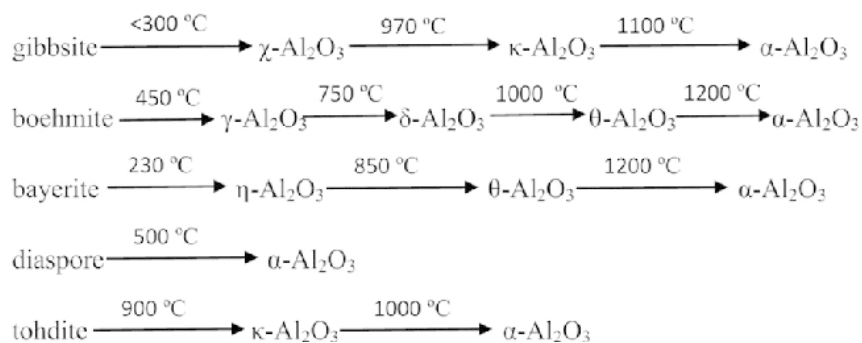
Katalis dapat dibedakan menjadi katalis homogen dan katalis heterogen yang dapat dilihat pada **Tabel 2.7**.

Tabel 2. 7 Karakteristik katalis homogen dan katalis heterogen (Pertami, 2016)

| Elemen Katalis | Homogen | Heterogen |
|-----------------------------|----------------------------------|------------------------------------|
| Pusat aktivitas | Semua atom mempunyai reaktivitas | Hanya atom pada permukaan partikel |
| Konsentrasi yang dibutuhkan | Rendah | Tinggi |
| Temperatur reaksi (°C) | 50 – 200 | 250 |
| Penggunaan | Spesifik | Luas |
| Daya tahan temperatur | Rendah | Tinggi |

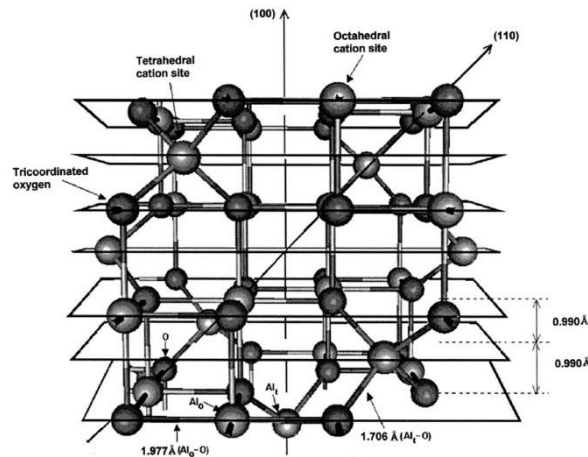
2.4.1 γ -Al₂O₃

γ -Al₂O₃ adalah salah satu nanomaterial yang paling penting dan serbaguna. Khususnya apabila digunakan sebagai katalis, ia sangat baik karena morfologinya cenderung berpori dengan ukuran kristal sangat halus dan permukaan yang luas, ditambah dengan stabilitas termal dan kimia yang baik. Ia memiliki dispersi tinggi yang menyebabkan kontak antara katalis dengan reaktan gas lebih efisien karena luas permukaannya biasanya antara 50 dan 350 m²/g. Kelebihan lain yang dimiliki γ -Al₂O₃ ini antara lain adalah, bersifat inert, stabilitas termal mencapai 700 °C yang menyebabkan ia relatif tidak reaktif dengan elemen lain pada temperatur ini sehingga tidak mengganggu dengan reaksi katalitik yang dilakukan pada permukaan katalis (Rozita, 2013). Selain itu, γ -Al₂O₃ memiliki kemurnian tinggi dan dispersi yang sangat baik serta permukaan spesifik yang tinggi, γ -Al₂O₃ menghasilkan aktivitas permukaan yang tinggi untuk pendukung katalis. Di antara transisi alumina, γ -Al₂O₃ adalah yang paling banyak digunakan untuk aplikasi dalam katalisis dan adsorpsi (Paranjpe, 2017). Karena karakteristik tersebut, γ -Al₂O₃ menjadi salah satu yang paling penting diantara katalis nanomaterial yang digunakan sebagai material pendukung untuk katalis heterogen. γ -Al₂O₃ biasanya didapatkan melalui reaksi dehidrasi thermal yang bentuk awalnya adalah *boehmite* (γ -AlOOH) dengan hasil akhir hexagonal α -Al₂O₃ seperti yang dapat dilihat pada **Gambar 2.5** berikut.



Gambar 2. 5 Transformasi fasa falumina (Xie et al, 2016)

Struktur γ -Al₂O₃ secara umum dianggap sebagai jenis spinel defek kubik yang ditampilkan pada **Gambar 2.6**. Sifat defek ini timbul karena hanya ada kation Al trivalen dalam struktur yang mirip spinel, di mana atom magnesium dalam spinel ideal MgAl₂O₄ digantikan oleh atom aluminium. Tata letak oksigen terdiri dari tumpukan kubik lapisan oksigen, dengan atom Al mengisi situs oktahedral dan tetrahedral. Untuk mempertahankan stoikiometri γ -Al₂O₃, beberapa posisi dalam jaringan tetap kosong (vakansi), meskipun lokasi pasti dari vakansi ini masih menjadi perdebatan. (Trueba, 2005)



Gambar 2. 6 Sel γ - Al_2O_3 tipe spinel

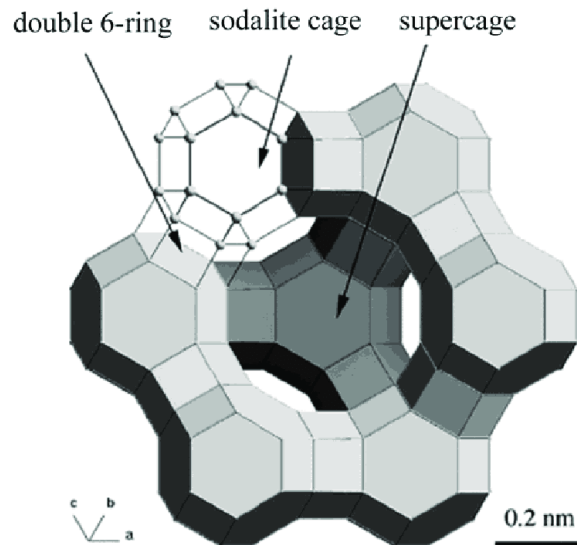
Adapun spesifikasi dari katalis γ - Al_2O_3 dapat dilihat pada **Tabel 2.7**

Tabel 2. 8 *Physical properties of γ - Al_2O_3* (Park et al, 2000)

| Item | Values |
|---|---------|
| Particle size (mm) | 1.4-1.7 |
| Density (g/cm^3) | 1.13 |
| Average crush strength (Newton/grain) | 45 |
| Specific surface area (m^2/g) | 205 |
| Pore volume (cc/g) | 0.51 |
| Average pore diameter (\AA) | 99 |

2.4.2 Zeolite USY (*Ultra-Stable Y*)

Zeolit mempunyai struktur berongga dan biasanya rongga ini diisi oleh air dan kation yang bisa dipertukarkan dan memiliki ukuran pori yang tertentu. Oleh karena itu zeolit dapat dimanfaatkan sebagai penyaring, penukar ion, adsorben dan katalis (Susilawati, 2006). Zeolit USY adalah zeolit Y yang dibuat berdasarkan paten no US 3,293,192 milik W. R Grace & Co dengan rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ yang tinggi, ia memiliki karakteristik yang optimal sebagai katalis dalam proses perengkahan hidrokarbon. Hal ini disebabkan oleh adanya pori dengan ukuran yang sesuai untuk menghasilkan bensin, serta aktivitas yang sangat tinggi dalam reaksi perengkahan. Aluminium yang terdapat dalam struktur zeolit (Al^+) berfungsi sebagai sumber pusat asam yang menjadi pusat aktif dalam proses perengkahan. Semakin banyak jumlah Aluminium dalam struktur zeolit Y, maka konsentrasi pusat asam akan semakin tinggi, dan aktivitas zeolit akan semakin meningkat (Subagjo, 2008). Adapun struktur zeolite Y dapat dilihat pada **Gambar 2.7**.



Gambar 2.7 Struktur kubik zeolite Y (Salavati, 2011)

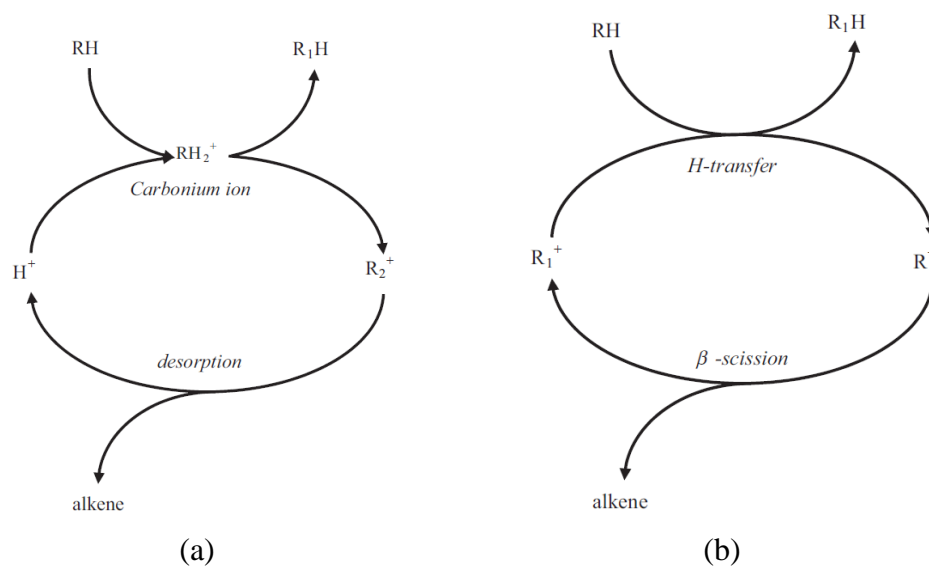
Zeolit USY komersial yang digunakan dalam penelitian ini dibeli dari Gongyi City Industry and Trade Co. yang karakteristik utamanya disajikan dalam **Tabel 2.9**. Untuk menghilangkan kandungan air, katalis dikeringkan dalam oven dengan temperatur 60°C selama 24 jam.

Tabel 2. 9 Sifat tekstur dan asam zeolit USY

| Spesifikasi | Nilai | Referensi |
|--|---------|-----------------------------------|
| SiO ₂ /Al ₂ O ₃ (mol/mol) | 15 | Kassargy, Chantal, et al. 2019 |
| BET surface area (m ² g ⁻¹) | 700 | |
| t-Plot External surface area (m ² g ⁻¹) | 106.26 | |
| Na ₂ O (wt%) | 0.05 | |
| Micropore volume (MPV) (cm ³ g ⁻¹) | 0.255 | |
| Crystal size (μm) | 0.7-1.0 | |
| Total acidity (mmol NH ₃ g ⁻¹) | 0.1 | |

2.4.3 HZSM-5

Zeolit HZSM-5 memiliki peran yang sangat penting sebagai katalis yang aktif dan juga sebagai penopang dalam berbagai reaksi kimia, seperti *cracking*, alkilasi, aromatisasi, dan isomerisasi hidrokarbon. Keaktifannya dapat diatribusikan pada sifat katalitiknya, selektivitas dalam memilih bentuk reaksi, kemampuan dalam melakukan pertukaran ion, serta struktur pori khusus yang dimiliki, seperti topologi pori mikro tiga dimensi dan luas permukaan spesifik yang besar pada ZSM-5. Dengan berbagai karakteristik uniknya, zeolit ini memberikan kontribusi signifikan dalam pengembangan proses kimia dan pemurnian bahan baku hidrokarbon. Dalam skenario bimolekul, terjadi pemecahan ketika ion alkilkarbenium sekunder dan tersier yang memiliki cabang dari molekul asal terpecah melalui pemotongan beta tunggal menjadi ion alkilkarbenium yang lebih kecil dan alkena yang ditunjukkan pada **Gambar 2.8** (Rahimi, 2011).



Gambar 2.8 Mekanisme cracking dengan zeolite HZSM-5 (a) molekul alkana melalui transisi ion karbonium (b) transfer hidrida ke ion karbenium yang lebih kecil (R_1^+) diikuti oleh pemutusan ikatan β -scission

Adapun karakteristik dari katalis HZSM-5 secara umum didapatkan sebagaimana yang ada pada **Tabel 2.10**.

Tabel 2. 10 Spesifikasi HZSM-5 (Roesyadi, 2013)

| Nama katalis | Pore size (\AA) | Surface area (m^2/g) |
|------------------|----------------------------|--|
| HZSM-5 | 13.255 | 213.3524 |
| HZSM - 5 / Ni 5% | 13.176 | 194.2372 |
| HZSM - 5 / Cu 5% | 13.249 | 201.1762 |
| HZSM - 5/ Zn 5% | 13.962 | 192.9966 |

Dari banyaknya jenis katalis yang digunakan untuk proses *catalytic cracking*, ZSM-5 menjadi katalis yang paling banyak digunakan karena berbagai kelebihanannya antara lain keasamannya, struktur pori khusus, dan stabilitas termal dan hidrotermalnya yang tinggi. Dan ketika diaplikasikan pada *n-hexane cracking* dibawah tekanan tinggi, ia menunjukkan stabilitas dan aktivitas katalitis yang lebih baik, selektivitas *light alkene* yang lebih tinggi dan sensitivitas yang lebih rendah terhadap penonaktifan oleh pengendapan karbon dibandingkan dengan katalis H-MOR, H-BEA, dan USY zeolite. (Ji et al, 2017). Adapun beberapa penelitian tentang produksi biogasoline menggunakan katalis zeolite dapat dilihat pada **Tabel 2.11** (Haryani, 2020)

Tabel 2. 11 Macam-macam katalis zeolit pada proses produksi biogasolin dengan proses *Catalytic Cracking*

| Bahan | Katalis | Operasi T(°C) | Kondisi t (Jam) | Hasil |
|-------------------------------------|----------------------------------|---------------|---------------------------|--|
| Palm oil | HZSM-5 | 360-420 | 2-4 | Biogasoline (40-70%) |
| Palm oil | HZSM-5, β zeolite, USY | 350-450 | 1-4 h ⁻¹ | Biogasoline (28%) |
| Palm oil | HZSM-5 | 400-450 | 2,5- 4,5 | Biogasoline (44,4% wt) |
| Palm oil | REY Zeolite | 400 – 500 | 10s, 20s, 30s | Biogasoline (59,1% wt) |
| Palm oil | REY Zeolite | 450 | 20 s | biogasolin (30- 40%) |
| Bio-oil | Zeolite, ZSM-5 | 450-500 | 15 min | Biogasoline (91,67%) |
| Palm oil | HZSM-5 | 350-500 | 2 | Bioasoline (28,87%) |
| Coconut Rapeseed Mustard, Sunflower | HZSM-5, HY | 450 | 30 s – 30 h ⁻¹ | Biogasoline(26,9– 40,1%) |
| Palm oil | HZSM-5 | 350-500 | 2 | Biogasoline (17,11%) |
| Jatropha oil | HZSM-5 | 400 | 1 | Biogasoline (11,6%) |
| Rapeseed oil | HZSM-5 | 550 | 1-3 | 32 – 41% (C5-C10) |
| Microalga Chlorella. | ZSM-5 | 350 | 30 min | Biogasoline (19,4%) |
| Soybean | USY, β -zeolite, HY, ZSM-5 | 360 | 7 h ⁻¹ | Biogasoline (70%) |
| Rubber | HZSM-5 | 400- 440 | 1,5, 2 | Biogasoline 50,9% |
| Seed oil | NaY/USY | - | - | Biogasoline (63,6-71,8%) |
| Bio-oil | HZSM-5, Zeolite | 340-430 | 15-20 min | Biogasoline (29,9%) |
| Cotton seed oil | Y-Zeolite, halloysite-Yzeolite | 480-540 | 30 min | Bigasoline (46-55%) |
| Rapeseed oil | ZSM-5 HZSM-5 | 550 | 1-3 | Biogasoline > 32% |
| Palm oil | HZSM-5 | 420 | 2 | Biogasolin (14,8%) |
| Sunflower oil | Na/HZSM-5 | 450-550 | 1 | Liquid product (>80 % wt) |
| Waste tire | Natural zeolite | 300-600 | 25,30,60,85 min | Light hidrocarbon (biogasoline, biodiesel) 12% |
| Soybean oil | NaZSM-5 HZSM-5 | 453 | 2 | Biogasoline 50,77% |

2.5 Penelitian Pendahuluan

Berdasarkan penelitian *catalytic cracking* pada CPO yang telah dilakukan oleh Wijanarko dkk. (2006) menggunakan katalis γ -Al₂O₃ dengan variasi perbandingan katalis:cpo 1:100, 1:75, dan 1:50 dengan variasi temperatur 260°C, 300°C, 340°C dan variasi waktu 1 jam, 1,5 jam, 2 jam. Dari hasil *pyrolysis* tersebut menunjukkan bahwa terdapat senyawa hidrokarbon (C₆-C₁₁) pada reaksi perengkahan katalis:cpo 1:100 dengan fraksi bensin sebesar 45.35% serta *yield biogasoline* sebesar 11,8%.

Sementara itu, penelitian yang dilakukan oleh (Roesyadi, 2013) menunjukkan bahwa penggunaan katalis HZSM-5, baik dengan atau tanpa impregnasi, dapat mengurangi energi aktivasi reaksi *cracking*. Katalis HZSM-5 memiliki karakteristik luas permukaan dan ukuran pori yang sesuai dengan standar katalis. Pada temperatur reaktor 450°C dan laju gas N₂ sebesar 130 ml/menit, katalis HZSM-5 menghasilkan distribusi produk yang mencakup 17,11% *gasoline*, 14,89% kerosin, dan 10,86% *diesel*. Hal ini menunjukkan bahwa katalis HZSM-5 dapat menghasilkan berbagai jenis produk yang berguna dalam proses *cracking* dengan efisiensi yang lebih tinggi dan energi aktivasi yang lebih rendah.

Penelitian menggunakan katalis USY yang dilakukan (Li et al, 2016) menunjukkan bahwa semakin tinggi komposisi katalis semakin tinggi pula *yield* produk yang dihasilkan yakni 59,7%. Namun, ketika komposisi USY ditingkatkan lagi justru menurunkan *yield* produk. Temperatur juga berpengaruh signifikan terhadap *yield* produk karena pada temperatur 430°C mencapai 82,3% yang sebelumnya hanya berada di angka 76,8% Ketika menggunakan

temperatur 400°C. **Tabel 2.12** menunjukkan beberapa penelitian *catalytic cracking* CPO yang telah dilakukan sebelumnya.

Tabel 2. 12 Perbandingan karakteristik *biogasoline* dengan bensin (Wijanarko, 2006)

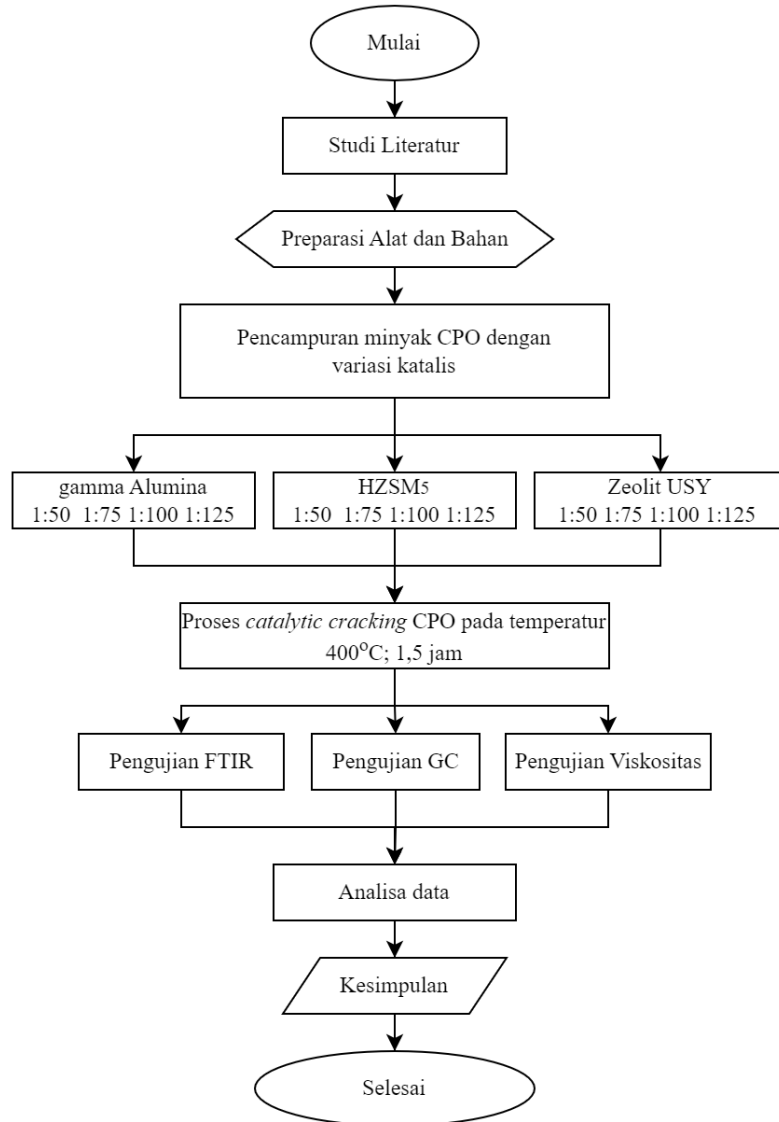
| Referensi | Katalis | CPO:Katalis | Temperatur (°C) | Waktu (Jam) | Yield | Viskositas |
|----------------------------------|--|--------------------------|-----------------|-------------|--------|------------|
| Roesyadi (2013) | HZSM-55 | - | 450 | 2 | 29,38% | - |
| Wicakso (2010) | γ -Al ₂ O ₃ | 100:3 | 40 | - | 70,5% | - |
| | | 100:4 | 50 | | | |
| | | 100:5 | 60 | | | |
| | | | 70 | | | |
| Wijanarko dkk (2006) | γ -Al ₂ O ₃ | 100:1 | 260 | 1 | 11,8% | 0,41 cP |
| | | 75:1 | 300 | 1,5 | | |
| | | 50:1 | 340 | 2 | | |
| | | | 400 | | | |
| (Murti & Elfi, 2017) | Zeolit alam bayah | 0 | 400 | 1,5 | 7,16% | 10,05 cP |
| | | 100:1 | 400 | | | |
| | | 75:1 | 400 | | | |
| | | | 420 | | | |
| (Kassargy, Chantal, et al. 2019) | USY | 10:0,5 10:0,8 10:1 | 500 | 3 | 75% | - |
| (Li, et al. 2016) | USY | 30:1 | 430 | 1,5 | 64% | 3,78 cP |

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III METODOLOGI

3.1 Diagram Alir

Diagram alir pada penelitian ini dapat dilihat pada **Gambar 3.1** berikut.



Gambar 3. 1 Diagram alir proses *catalytic cracking* CPO

3.2 Alat Penelitian

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Neraca Digital Analitik

Neraca digital analitik digunakan untuk menimbang massa dengan ketelitian yang tinggi. Alat ini digunakan untuk menimbang massa γ -Al₂O₃ dan CPO, adapun tampilan neraca digital analitik dapat dilihat pada **Gambar 3.2**



Gambar 3. 2 Neraca digital analitik

2. Labu Distilat

Labu distilat digunakan untuk menyimpan produk *pyrolysis* dari kondensor, adapun tampilan labu distilat dapat dilihat pada **Gambar 3.3**



Gambar 3. 3 Labu distilat

3. Labu Distilasi

Labu distilasi digunakan sebagai wadah untuk campuran CPO dan katalis yang akan di-*pyrolysis*, adapun tampilan labu distilasi dapat dilihat pada **Gambar 3.4**.



Gambar 3. 4 Labu distilasi

4. Kondensor

Kondensor digunakan sebagai wadah dari uap campuran CPO dan katalis yang di-*pyrolysis*, adapun tampilan kondensor dapat dilihat pada **Gambar 3.5**.



Gambar 3. 5 Kondensor

5. *Heating Mantle*

Heating mantle digunakan untuk memanaskan campuran CPO dan katalis, adapun tampilan *heating mantle* dapat dilihat pada **Gambar 3.6**.



Gambar 3. 6 *Heating Mantle*

6. Pompa air

Pompa air digunakan untuk memompa air yang digunakan untuk mengalir ke kondensor, adapun tampilan pompa air dapat dilihat pada **Gambar 3.7**.



Gambar 3. 7 Pompa Air

7. Selang

Selang digunakan untuk menghubungkan air dari pompa air menuju kondensor, adapun tampilan selang dapat dilihat pada **Gambar 3.8**.



Gambar 3. 8 Selang

8. *Container*

Container digunakan untuk menampung produk cair dari proses *pyrolysis*, adapun tampilan *container* dapat dilihat pada **Gambar 3.9**.



Gambar 3. 9 *Container*

3.3 Bahan Penelitian

Adapun bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu:

1. *Crude Palm Oil*

Crude Palm Oil atau CPO digunakan sebagai bahan dasar pembuatan *biogasoline*, adapun tampilan CPO dapat dilihat pada **Gambar 3.10**.



Gambar 3. 10 CPO

2. $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$

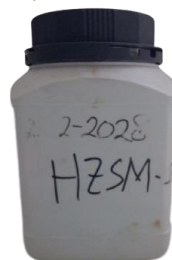
$\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ digunakan sebagai katalis dalam pembuatan *biogasoline*, adapun tampilan katalis $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ dapat dilihat pada **Gambar 3.11**.



Gambar 3. 11 Katalis $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$

3. HZSM-5

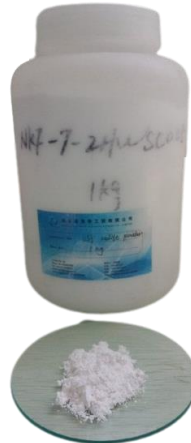
HZSM-5 digunakan sebagai katalis dalam pembuatan *biogasoline*, adapun tampilan *grease* dapat dilihat pada **Gambar 3.12**.



Gambar 3. 12 Katalis HZSM-5

4. Zeolit USY

Zeolit USY digunakan sebagai katalis dalam pembuatan *biogasoline*, adapun tampilan zeolit USY dapat dilihat pada **Gambar 3.13**.



Gambar 3. 13 Katalis Zeolit USY

5. Air

Air digunakan untuk mengalir permukaan kondensor dan berfungsi sebagai pendingin pada proses kondensasi, adapun tampilan air dapat dilihat pada **Gambar 3.14**.



Gambar 3. 14 Air

6. Grease

Sebagai pelumas pada sambungan sambungan dari *distillation apparatus* agar mudah dilepaskan, adapun tampilan *grease* dapat dilihat pada **Gambar 3.15**.



Gambar 3. 15 Grease

3.4 Metode Penelitian

3.4.1 Proses *Catalytic Cracking*

Proses *catalytic cracking* dilakukan dengan menyiapkan campuran CPO dan katalis γ Al_2O_3 , HZSM-5, dan USY dalam labu destilasi dengan perbandingan katalis:cpo pada masing masing katalis adalah 1:125, 1:100, 1:75, 1:50. *Pyrolysis* dilakukan dengan memanaskan *heating mantle* 400°C selama 1,5 jam. Adapun skema rangkaian alat dapat dilihat pada **Gambar 3.16**.



Gambar 3. 16 Skema Alat *Catalytic Cracking*

3.5 Pengujian

3.5.1 *Fourier Transform Infra Red (FTIR)*

Pengujian *Fourier Transform Infra Red* atau FTIR digunakan untuk menganalisis gugus fungsi pada suatu senyawa kimia secara kualitatif dengan menggunakan gelombang elektromagnetik sinar inframerah. Alat FTIR ditunjukkan pada **Gambar 3.17** dengan serial AKX1100941. Adapun langkah-langkah pengujian FTIR adalah sebagai berikut:

1. Menyiapkan sampel cair dengan meneteskan pada plat KBr dan dipasang dengan plat KBr lagi sehingga cairan merata pada permukaan plat.
2. Plat KBr dipasang pada holder.
3. Melakukan pengukuran dengan alat FTIR.
4. Mengamati hasil yang terlihat pada komputer.



Gambar 3. 17 Alat uji FTIR

3.5.2 *X-Ray Diffraction Test (XRD)*

Analisis XRD menghasilkan pola difraksi sinar-X yang bertujuan untuk mengidentifikasi struktur, bentuk fasa kristal, dan kristalinitas relatif dari zeolit. Hasil

analisis yang diperoleh berupa difraktogram tingkat kristalinitas berupa ketajaman puncak tertentu (Rahmiyati et al., 2019). Adapun langkah-langkah pengujian XRD yaitu:

1. Sampel zeolit disiapkan untuk diletakkan pada holder XRD.
2. Kondisi XRD, seperti temperatur dan kekuatan sinar-X, diatur sesuai dengan kebutuhan.
3. Pengujian dimulai dan pola difraksi XRD dianalisis dengan menggunakan basis data difraksi untuk membandingkan pola difraksi sampel dengan pola difraksi standar.
4. Parameter dari pola difraksi, seperti jarak antar bidang kristal dan ukuran butir kristal, dihitung.
5. Data difraksi diinterpretasikan untuk memperoleh informasi tentang struktur kristal dan sifat fisik zeolite

Adapun alat uji XRD ditampilkan pada **Gambar 3.18** sedangkan untuk menghasilkan nilai struktur kristal dapat dihitung dengan data FWHM dari pengujian XRD melalui **Persamaan 3.1** *Deybe Scherrer* sebagai berikut:

$$D = \frac{k \cdot \lambda}{\beta \cdot \cos \theta} \quad (3.1)$$

Dengan :

D = ukuran kristal (nm)

K = faktor bentuk kristal (0,9 – 1)

λ = panjang gelombang sinar x (0,15406 nm)

β = nilai dari *Full Width at Half Maximum* (FWHM (rad))

θ = sudut difraksi (derajat)



Gambar 3. 18 Alat uji XRD (elsa.brin.go.id)

3.5.3 *Scanning Electron Microscope Energy Dispersive X-ray (SEM-EDX)*

Karakterisasi menggunakan SEM bertujuan untuk mengetahui morfologi zeolit baik permukaan maupun bentuk kristal yang dihasilkan. EDX adalah suatu bentuk analisis unsur untuk mengetahui kadar unsur-unsur yang terkandung dalam zeolit, seperti Si, Al, Na dan kation keseimbangannya (Rahmiyati et al., 2019). Pengujian dilakukan menggunakan mesin SEM-EDX dengan merk Zeiss EVO MA 10 seperti pada **Gambar 3.19**. Adapun langkah-langkah pengujiannya yaitu:

1. Sampel zeolit disiapkan untuk diletakkan pada holder SEM.
2. Holder dimasukkan ke dalam *chamber* dan diberi pompa vakum untuk mencapai kondisi vakum yang optimal.

3. Kondisi SEM, seperti kekuatan elektron dan mode operasi, disesuaikan dengan kebutuhan.
4. Berbagai mode SEM, seperti *secondary electron* (SE) atau *back-scattered electron* (BSE), digunakan untuk memperoleh gambar dengan kontras yang optimal.
5. Sinar-X yang dihasilkan oleh sampel zeolit diperiksa untuk mengidentifikasi unsur-unsur yang terkandung dalam sampel. Beberapa titik pada permukaan sampel dipilih untuk mengukur komposisi unsur dengan EDX.
6. Hasil EDX dianalisis dan data diinterpretasikan untuk memperoleh informasi tentang komposisi unsur zeolit.



Gambar 3. 19 Mesin SEM-EDX Zeiss EVO MA 10

3.5.4 BET

Brunauer-Emmett-Teller (BET) adalah metode pengukuran luas permukaan spesifik suatu material dengan prinsip adsorpsi gas pada permukaan material tersebut. Pengukuran luas permukaan spesifik sangat penting untuk mengetahui sifat fisik material, seperti reaktivitas kimia, kapasitas adsorpsi, dan katalisis. Alat uji BET ditampilkan pada **Gambar 3.20**. Adapun langkah-langkah pengujian BET yaitu:

1. Sampel material disiapkan dengan mengeringkan dan menghancurkannya menjadi ukuran yang seragam, kemudian dimasukkan ke dalam tabung adsorpsi.
2. Alat BET dikondisikan pada suhu dan tekanan yang stabil, pompa vakum dijalankan untuk menciptakan kondisi vakum di dalam tabung adsorpsi.
3. Gas adsorpsi (biasanya nitrogen) dimasukkan ke dalam tabung adsorpsi dengan menggunakan pompa vakum, kemudian tekanan dinaikkan secara perlahan hingga mencapai tekanan tertentu.
4. Gas adsorpsi dibiarkan berinteraksi dengan sampel material selama beberapa waktu, lalu tekanan diturunkan secara perlahan hingga kembali ke kondisi vakum.
5. Langkah ke-3 dan ke-4 diulangi dengan meningkatkan tekanan gas adsorpsi pada setiap tahapnya.
6. Jumlah gas yang diadsorpsi pada setiap tekanan dan plot hasil pengukuran pada grafik BET (plot dari jumlah gas adsorpsi terhadap tekanan gas adsorpsi yang diubah dalam skala log-log) diukur.
7. Luas permukaan spesifik sampel diukur menggunakan persamaan BET, yang didasarkan pada asumsi bahwa adsorpsi gas mengikuti isoterm.

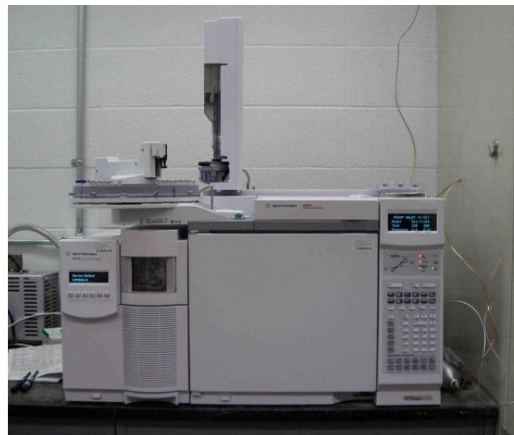


Gambar 3. 20 Alat uji BET

3.5.5 *Gas Chromatography – Mass Spectrometry (GC-MS)*

Pengujian *gas chromatography* atau GC dapat digunakan untuk mengidentifikasi suatu senyawa yang ada pada suatu sample dan mampu untuk menguji kemurnian suatu senyawa dengan menggunakan alat seperti pada **Gambar 3.21**. Adapun langkah-langkah pada pengujian GC adalah sebagai berikut:

1. Menyiapkan sampel yang diuji.
2. Menyalakan komputer yang telah dikonfigurasi untuk instrument *gas GCMS*.
3. Membuka katup gas atau *flow controller*.
4. Menyalakan instrument GCMS.
5. Menjalankan metode instrument dan menginjeksikan sample.
6. Mengamati hasil pada layar komputer.



Gambar 3. 21 Alat uji GCMS

3.5.6 *Viskositas*

Pengujian viskositas digunakan menggunakan alat seperti pada **Gambar 3.22** untuk mengetahui nilai viskositas dari produk *biogasoline* setelah proses *catalytic cracking*. Standar pengujian dari viskositas ini menggunakan ASTM D445. Berikut langkah-langkah untuk menguji viskositas menggunakan *viscometer bath*:

1. Memasukkan sampel ke dalam pipa *viscometer*.
2. Merangkai pipa ke dalam *viscometer bath*.

3. Menekan *power on* dan mengatur temperatur yang akan digunakan.
4. Menghitung waktu aliran sampel menggunakan *stopwatch*.
5. Mengeluarkan pipa dari *viscometer bath*.
6. Membiarkan temperatur mencapai temperatur ruang.
7. Mematikan alat.
8. Menghitung nilai viskositas.



Gambar 3. 22 Alat uji viskositas (*viscometer bath*)

3.6 Rancangan Penelitian

Penelitian ini ditempuh dalam kurun waktu selama kurang lebih 4 bulan dengan dimulai dengan studi literatur hingga penyusunan laporan. Rancangan penelitian ditunjukkan pada Tabel 3.1.

Tabel 3. 1 Rancangan Penelitian

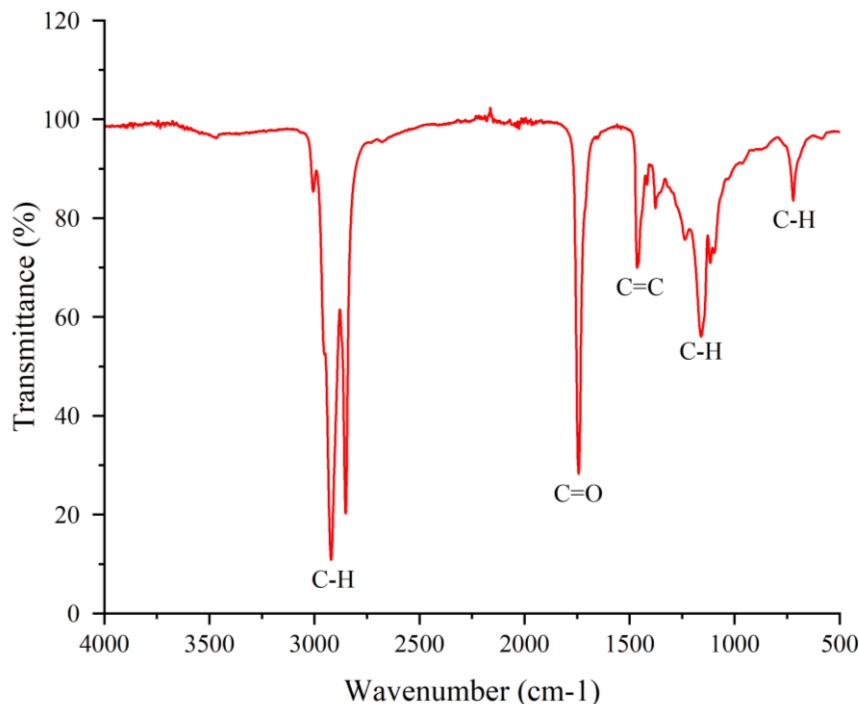
| Jenis Katalis | RasioKatalis:CPO | Nama Sampel | Pengujian | | |
|--|------------------|-------------|-----------|------|------------|
| | | | FTIR | GCMS | Viskositas |
| γ -Al ₂ O ₃ | 1:50 | A1 | √ | √ | √ |
| | 1:75 | A2 | √ | √ | √ |
| | 1:100 | A3 | √ | √ | √ |
| | 1:125 | A4 | √ | √ | √ |
| HZSM-5 | 1:50 | B1 | √ | √ | √ |
| | 1:75 | B2 | √ | √ | √ |
| | 1:100 | B3 | √ | √ | √ |
| | 1:125 | B4 | √ | √ | √ |
| Zeolit USY | 1:50 | C1 | √ | √ | √ |
| | 1:75 | C2 | √ | √ | √ |
| | 1:100 | C3 | √ | √ | √ |
| | 1:125 | C4 | √ | √ | √ |

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Karakterisasi Raw Material

Penelitian yang dilakukan ini menggunakan bahan baku utama *Crude Palm Oil* (CPO) yang diproses dengan metode *catalytic cracking* dengan penggunaan katalis γ - Al_2O_3 , HZSM-5, dan Zeolit USY. Untuk dapat mengetahui karakterisasi dari masing-masing Raw Material seperti komposisi, struktur, maupun morfologi dari bahan tersebut. Pengujian yang dilakukan antara lain FTIR, XRD, SEM-EDX, dan BET.

4.1.1 CPO



Gambar 4. 1 Hasil pengujian FTIR minyak *Crude Palm Oil* (CPO)

Dari hasil pengujian FTIR pada raw material CPO yang ditunjukkan pada **Gambar 4.1** menunjukkan beberapa gugus fungsi yang terkandung di dalamnya. Puncak utama dan gugus fungsinya ditunjukkan pada **Tabel 4.1**. Pada absorpsi 3005,89; 2920,83; 2851,85 menunjukkan gugus fungsi hidrokarbon (CH_2) dengan tipe vibrasi *stretching*, *stretching* terjadi ketika ikatan antara atom C dan H diperpanjang atau dipendekkan secara bergantian akibat adanya gaya tarik dan dorong antara kedua atom tersebut. Puncak 1742,93 cm^{-1} menunjukkan karbonil ($\text{C}=\text{O}$) teresterifikasi dengan tipe vibrasi *stretching*. Puncak pada 1464,57 cm^{-1} menunjukkan *stretching* ikatan rangkap $\text{C}=\text{C}$, sedangkan puncak 721,38 cm^{-1} menunjukkan gugus fungsi hidrokarbon CH_2 dengan tipe *deformation*, yakni adanya perubahan sudut/geometri dalam ikatan C dan H yang disebabkan oleh adanya pergeseran molekul namun panjang ikatan tetap konstan (Japir et al., 2017). Pada **Tabel 4.1** menunjukkan *wavenumber* dan tipe vibrasi dari tiap gugus fungsi yang terdapat pada CPO.

Tabel 4. 1 Gugus fungsi CPO hasil uji FTIR

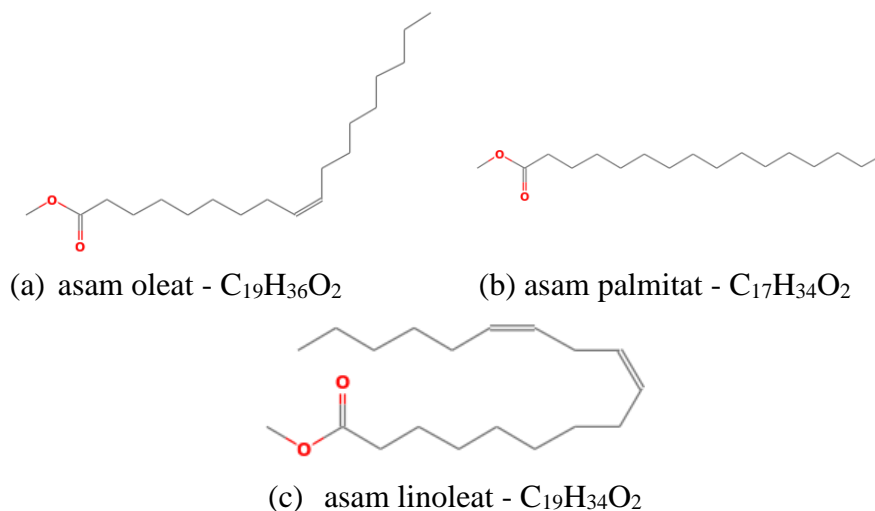
| Wavenumbers (cm ⁻¹) | Tipe Senyawa | Tipe Vibrasi |
|---------------------------------|-----------------|--------------|
| 3005,89 | C-H unsaturated | stretching |
| 2920,83 | C-H aliphatic | stretching |
| 2851,85 | C-H aliphatic | stretching |
| 1742,93 | C=O | stretching |
| 1464,57 | C=C | stretching |
| 1159,26 | C-H | stretching |
| 721,38 | C-H | deformation |

Metode GC-MS digunakan untuk melakukan analisis terhadap kandungan senyawa kimia dalam bahan baku CPO dan untuk menentukan jumlah masing-masing komponen puncak metil ester. **Tabel 4.2** menampilkan hasil dari analisis GC-MS tersebut.

Tabel 4. 2 Analisis GC-MS CPO (Helwani et al, 2021)

| Peak# | R. Time | Area% | Name |
|-------|---------|-------|---|
| 1 | 33.337 | 0.83 | Tetradecanoic acid, methyl ester (CAS) |
| 2 | 38.679 | 31.71 | Hexadecanoic acid, methyl ester (CAS) |
| 3 | 42.330 | 12.92 | 9,12-Octadecadienoic acid(Z,Z)-, methyl ester (CAS) |
| 4 | 42.717 | 42.28 | 9-Octadecenoic acid(Z)-, methyl ester (CAS) |
| 5 | 43.241 | 9.82 | Octadecenoic acid, methyl ester (CAS) |
| 6 | 46.501 | 0.78 | Hexadecenoic acid, 2-hydroxy-1,3-propanediyl ester (CAS) |
| 7 | 49.824 | 0.97 | Bicyclo[10.1.0]tridec-1-ene |
| 8 | 49.995 | 0.90 | DI-(9-OCTADECENOYL)-GLYCEROL |
| 9 | 50.577 | 0.95 | Hexadecenoic acid, 2-hydroxy-1-(hydroxymethyl)ethyl ester (CAS) |
| 10 | 53.866 | 0.84 | 9-Octadecenoic acid (Z)-, 2,3-dihydroxypropil ester (CAS) |

Tabel 4.2 menunjukkan bahwa dalam kandungan CPO, komponen terbesar yang terkandung adalah asam oleat (C₁₉H₃₆O₂), asam palmitat (C₁₇H₃₄O₂), dan asam linoleat (C₁₉H₃₄O₂), dengan persentase masing-masing sebesar 42,28%, 31,71%, dan 12,92%. Struktur kimia dari ketiga senyawa tersebut dapat dilihat pada **Gambar 4.2**

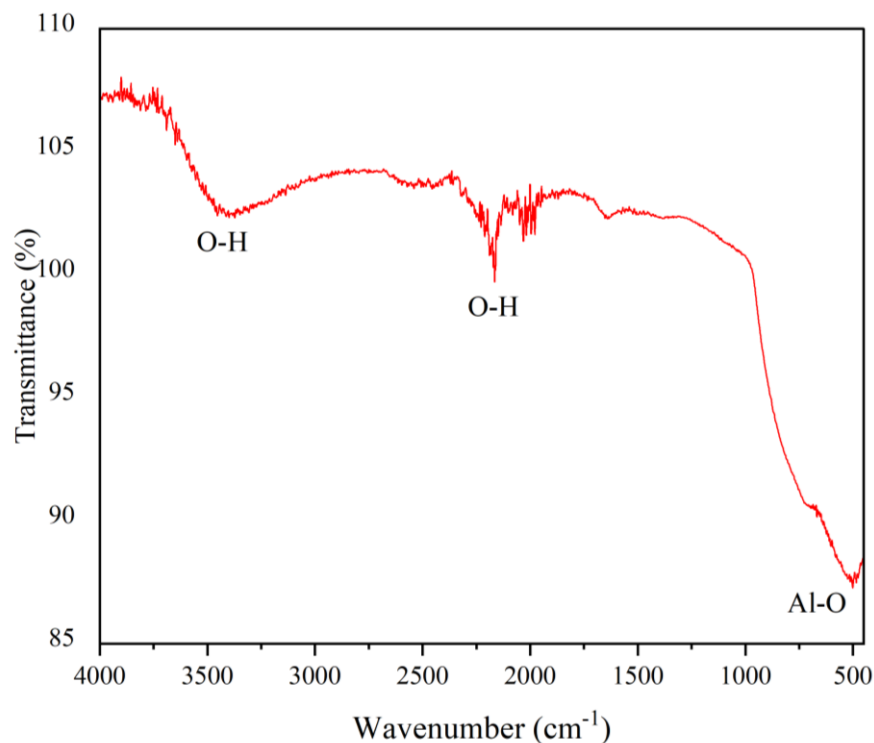


Gambar 4. 2 Struktur kimia komponen asam CPO

Gambar 4.2 menunjukkan kesesuaian antara hasil analisis GC-MS CPO dengan hasil analisis FTIR CPO pada **Gambar 4.1**. Hasil analisis FTIR menampilkan serapan dengan gugus fungsi C-H, C=C, dan C=O. Jika dilihat dari hasil analisis GC-MS, gugus fungsi C-H dan C=O terlihat dimiliki oleh ketiga jenis asam diatas, sedangkan C=C hanya dimiliki oleh senyawa asam oleat dan asam linoleat dan tidak dimiliki oleh asam palmitat.

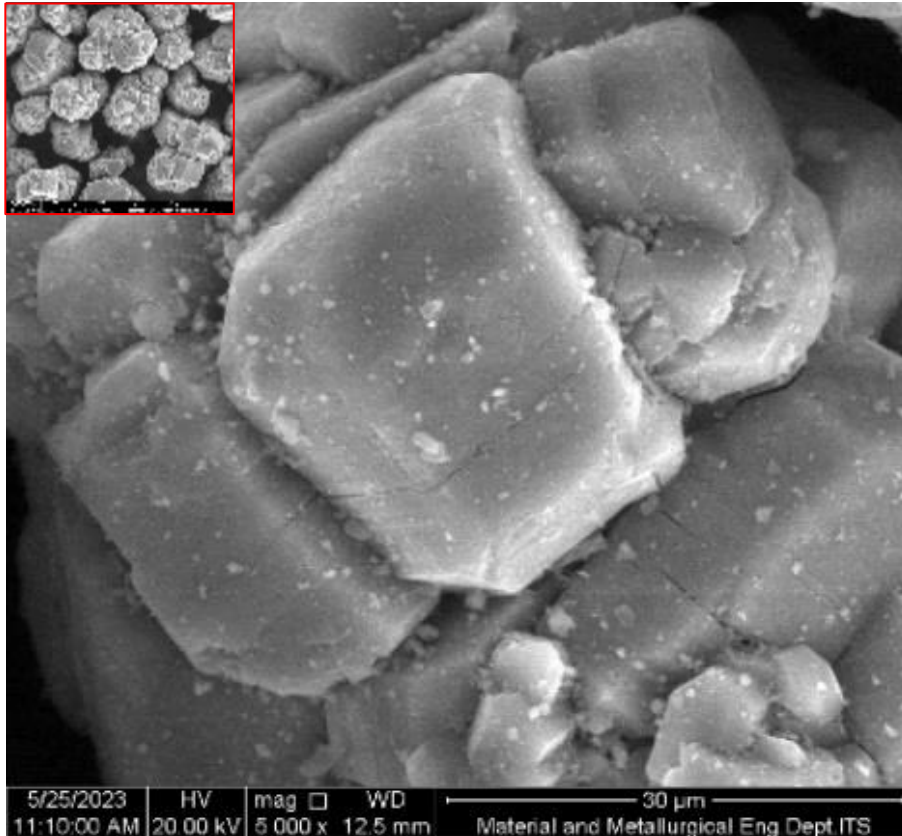
4.1.2 γ -Al₂O₃.

Katalis γ -Al₂O₃ dilakukan pengujian FTIR untuk mengetahui gugus Al₂O₃ pada katalis. Spektrum hasil pengujian FTIR dari γ -Al₂O₃ ditunjukkan pada **Gambar 4.2**. Vibrasi Al-O dari Al₂O₃ menciptakan pita absorpsi yang cukup kuat pada *peak* 500 cm⁻¹. Disamping itu, hampir tidak ada puncak yang menunjukkan keberadaan *impurities* zat organik yang diamati, melainkan adanya pita lemah pada 2350 cm⁻¹ dan 3500 cm⁻¹ yang disebabkan oleh getaran peregangan ikatan O-H. Namun, pita serapan tersebut tidak terlalu berpengaruh signifikan. (Prashanth et al, 2015)



Gambar 4. 3 Hasil FTIR γ -Al₂O₃

Bahan penelitian yang digunakan selanjutnya adalah katalis γ -Al₂O₃. Berdasarkan pengujian SEM-EDX yang telah dilakukan untuk mengetahui morfologi partikel katalis dan juga kandungan unsur yang ada. Telah didapatkan hasil yang dapat dilihat pada **Gambar 4.4**, ia menunjukkan morfologi katalis γ -Al₂O₃ pada perbesaran 5000 kali dan hanya mengandung unsur Al dan O menurut hasil uji EDX pada **Tabel 4.3**. Hal itu membuktikan bahwa kandungan katalis γ -Al₂O₃ murni tanpa ada kandungan unsur lain.

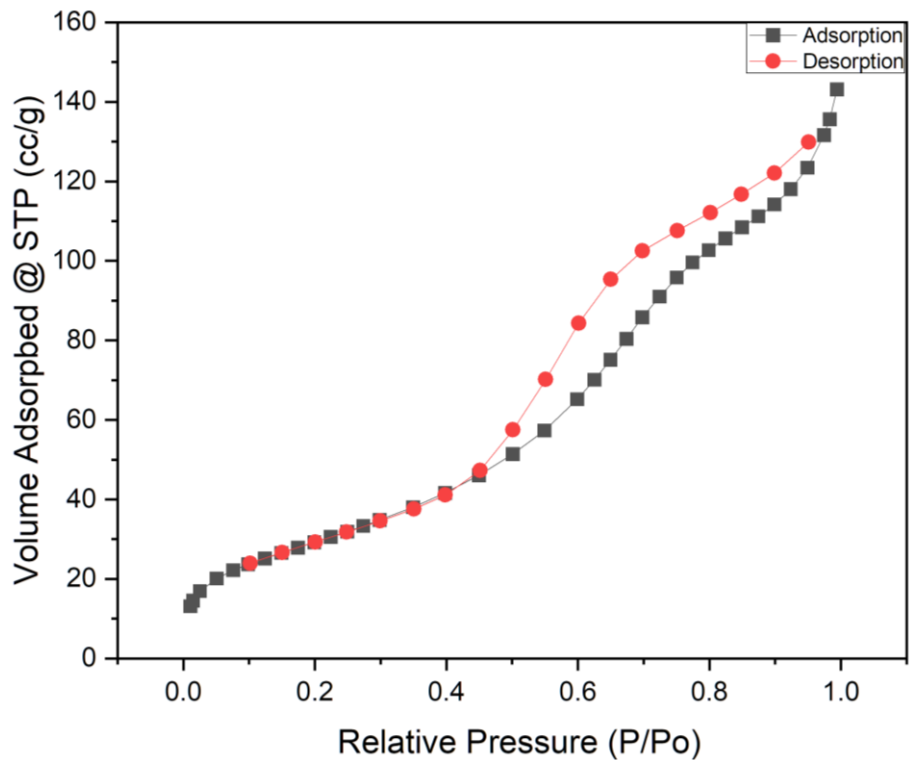


Gambar 4. 4 Hasil SEM γ -Al₂O₃ dengan perbesaran 5000

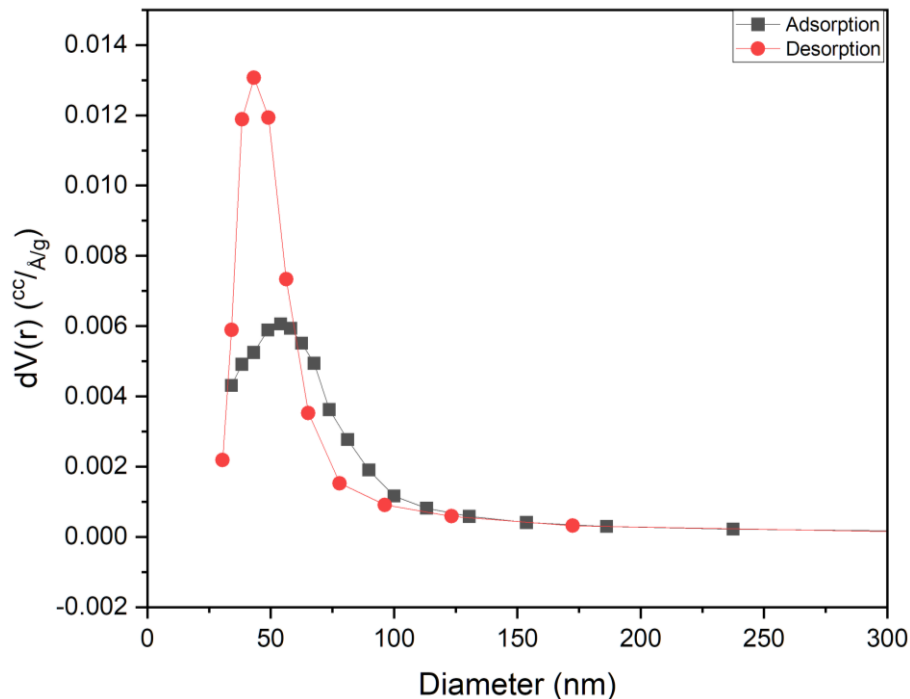
Tabel 4. 3 Kandungan unsur katalis γ -Al₂O₃ dari uji EDX

| Jenis Katalis | Nama Unsur | At% | Wt% |
|--|------------|-------|-------|
| γ -Al ₂ O ₃ | O | 51,93 | 39,05 |
| | Al | 48,07 | 60,95 |

Setelah mendapatkan hasil pengujian SEM-EDX, langkah selanjutnya adalah menganalisis hasil pengujian BET untuk mendapatkan pemahaman yang lebih mendalam mengenai luas permukaan dan pori katalis γ -Al₂O₃ yang dapat dilihat pada **Gambar 4.5**



(a)



(b)

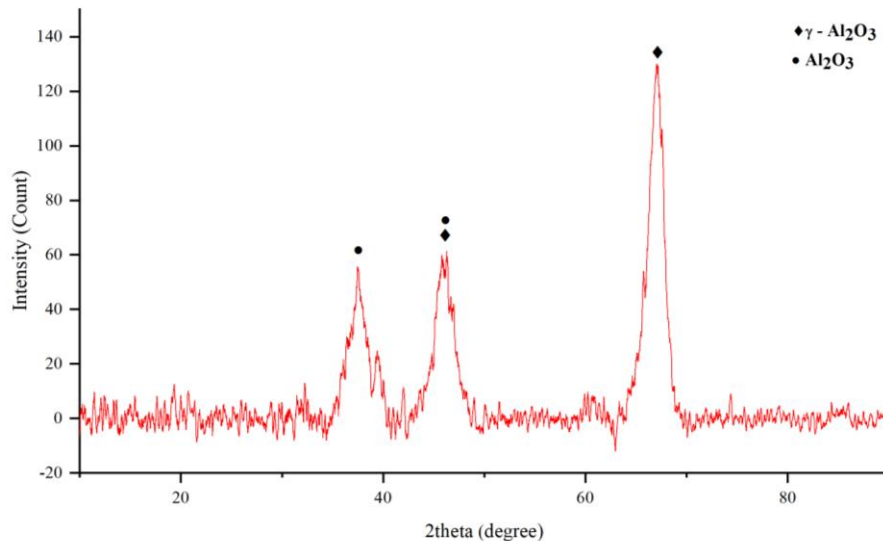
Gambar 4.5 (a) N₂ adsorpsi-desorpsi isotherm γ -Al₂O₃ (b) Distribusi pori γ -Al₂O₃

Gambar 4.5 menunjukkan grafik N₂ adsorpsi-desorpsi *isotherm* dan distribusi pori γ -Al₂O₃. Berdasarkan klasifikasi *International Union of Pure and Applied Chemistry* (IUPAC), γ -Al₂O₃ mengikuti isotherm tipe IV yang menandakan bahwa material yang dihasilkan memiliki pori meso, hal ini sesuai dengan penelitian sebelumnya bahwa γ -Al₂O₃ mengikuti

isotherm tipe IV (Mehrizi et al, 2019). **Tabel 4.3** menunjukkan bahwa rata-rata diameter pori γ -Al₂O₃ sebesar 8,0024 nm yang berada dalam *range* mesopori.

Tabel 4.4 Spesifikasi γ -Al₂O₃ berdasarkan Pengujian BET

| Jenis katalis | Specific surface area (m ² /g) | Total pore volume (cm ³ /g) | Average pore Diameter (nm) |
|--|---|--|----------------------------|
| γ -Al ₂ O ₃ | 110,663 | 0,214 | 8,00244 |



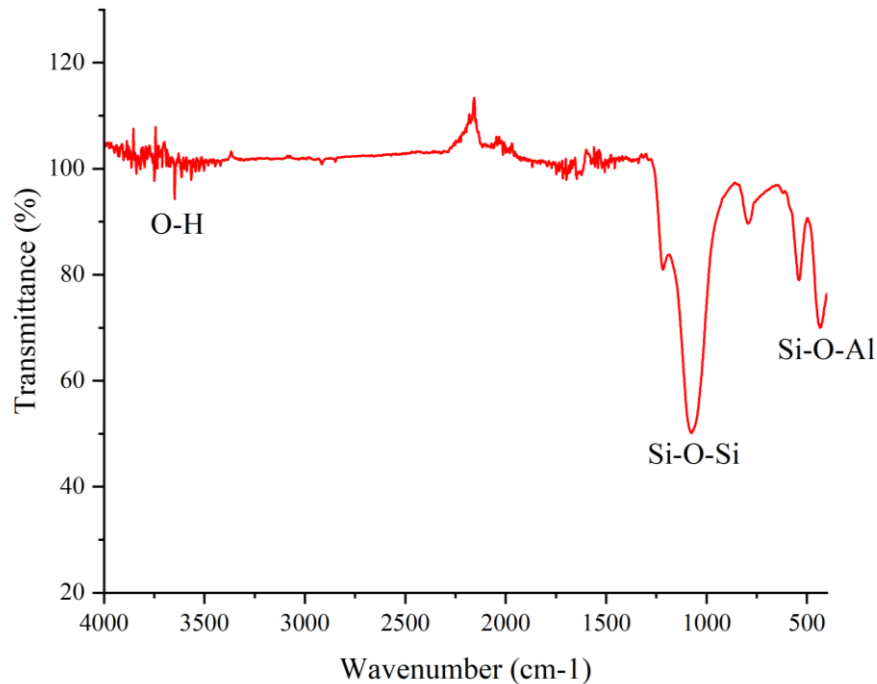
Gambar 4.6 XRD γ -Al₂O₃

Berdasarkan pengujian XRD yang dapat dilihat pada **Gambar 4.6**, spectra XRD menunjukkan tiga puncak utama yang terletak pada peak 2 theta 37.58, 45.43, dan 67.03. Kristal tersebut sesuai dengan hasil penelitian (Sifontes et al, 2014) yang juga mendeteksi puncak-puncak tersebut, dan mengkonfirmasi fasa γ -Al₂O₃ hasil tersebut karena terdapat nilai-nilai unik dari rasio Al tetrahedral ke oktahedral yang sesuai dengan karakteristik XRD. Adapun standar γ -Al₂O₃ oleh *Joint Committee on Powder Diffraction Standards* (JCPDS) berupa pola pengujian XRD yang ditunjukkan pada **Gambar 4.6** dimana pola yang diamati pada $2\theta = 19.2, 31.0, 36.0, 39.3, 46, 61.5, \text{ dan } 67$, yang diindeks sebagai (111), (220), (311), (222), (400), (511), dan (400) pantulan utama γ -Al₂O₃ (Kartu JCPDS No. 10-0425). Dari puncak-puncak tersebut kemudian didapatkan ukuran kristal melalui perhitungan menggunakan persamaan *Debye Scherrer*, kemudian hasil dari perhitungan tersebut didapatkan ukuran kristal paling besar terdapat pada sudut $2\theta = 67.0305$ yakni 23.732 nm. Hasil perhitungan tiga ukuran kristal γ -Al₂O₃ terbesar ditampilkan pada **Tabel 4.5**.

Tabel 4.5 Ukuran kristal γ -Al₂O₃

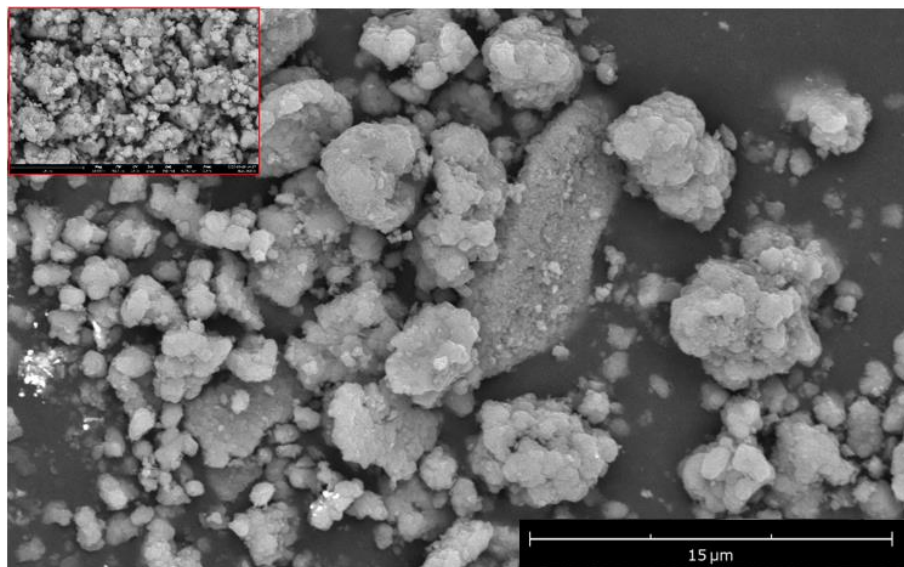
| Peak 2 theta | FWHM Left [$^{\circ}$ 2 theta] | Ukuran kristal D (nm) |
|--------------|---------------------------------|-----------------------|
| 37.5814 | 0.5353 | 15.676 |
| 45.4345 | 0.6691 | 12.872 |
| 67.0305 | 0.4015 | 23.732 |

4.1.3 HZSM-5



Gambar 4. 7 FTIR HZSM-5

Spektrum hasil pengujian FTIR dari HZSM-5 dapat dilihat pada **Gambar 4.7** yang menunjukkan gugus fungsi Si-O-Si pada serapan 1080 cm^{-1} dan Si-O-Al pada serapan 457 cm^{-1} . Hal itu sesuai dengan penelitian (Habibi & Dabbagh, 2019) yang menunjukkan bahwa serapan 1080 cm^{-1} dan 457 cm^{-1} berturut-turut berhubungan dengan peregangan asimetris internal dari hubungan siloksan. Serapan 1227 cm^{-1} berkaitan dengan hubungan eksternal antara SiO₄ tetrahedral. Serapan di sekitar 457 cm^{-1} berkaitan dengan Si-O, sedangkan di sekitar 548 cm^{-1} mewakili *internal flexion tetrahedron*.



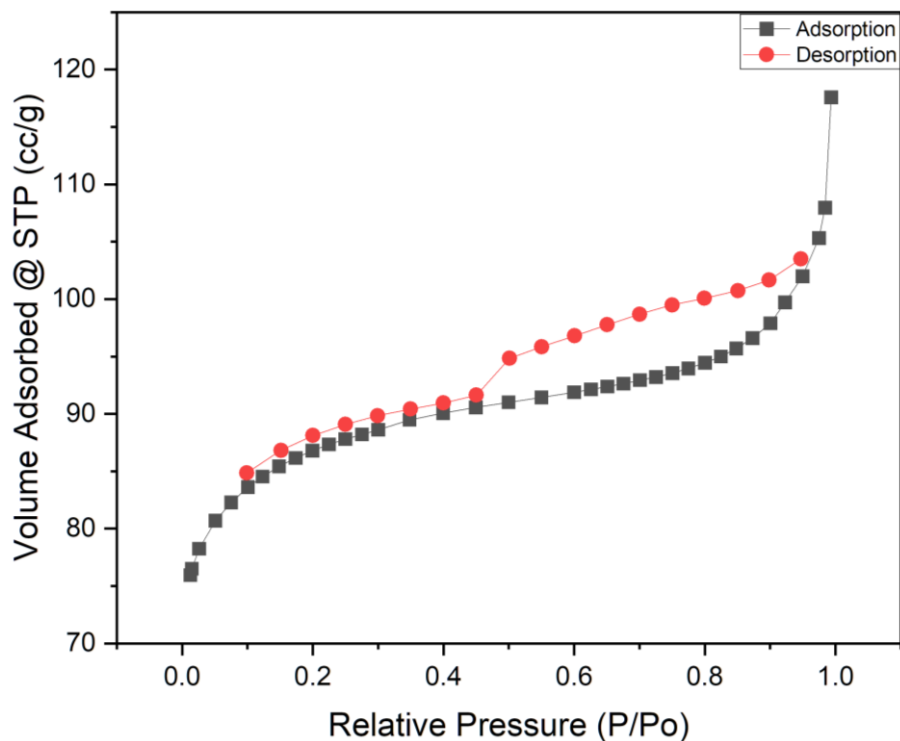
Gambar 4. 8 SEM Zeolit HZSM-5 perbesaran 10000x

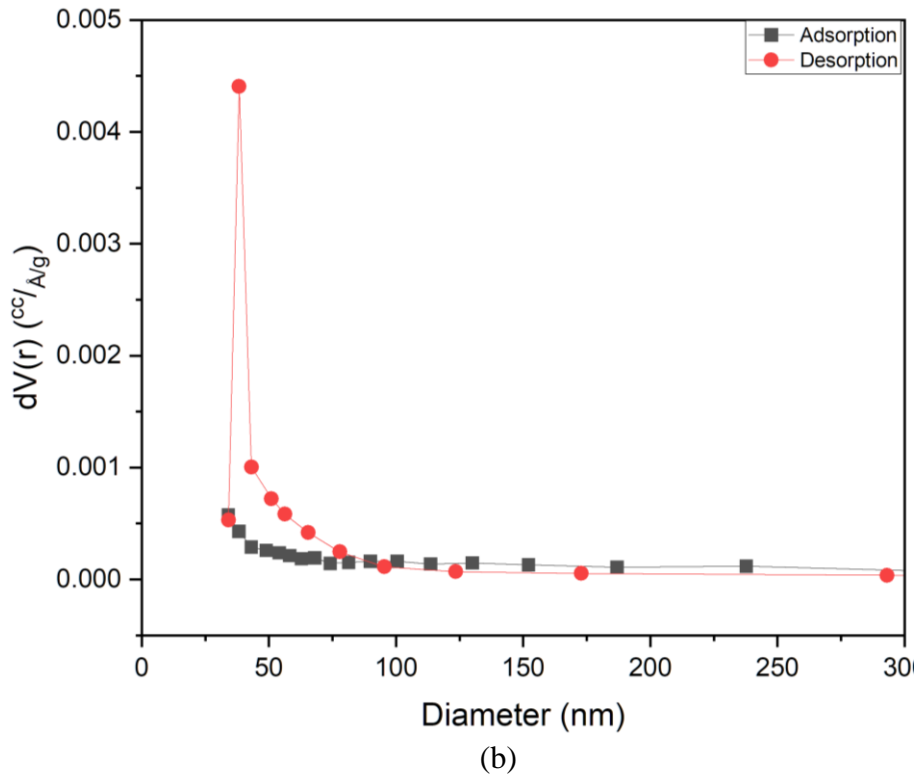
Hasil pengujian SEM dapat dilihat pada **Gambar 4.8** yang memperlihatkan morfologi HZSM-5 dengan struktur yang beragam seperti butiran kristal dengan ukuran yang berbeda. Dari morfologi tersebut, setidaknya ia mengandung tiga jenis kristal, yaitu kristal dengan aktivitas katalitik tinggi yang tersebar secara merata, kedua yakni kristal yang memiliki reaktivitas yang terkonsentrasi di tepi luar, dan ketiga yang permukaannya halus yang menunjukkan ia tidak aktif sama sekali. Perbedaan besar dalam aktivitas katalitik dipengaruhi oleh variasi kepadatan dan kekuatan situs asam atau perbedaan dalam aksesibilitas situs asam, yang disebabkan oleh porositas kerangka ekstra, yang menyebabkan kekerasan permukaan. (Kenner et al, 2017)

Tabel 4. 6 Kandungan unsur HZSM-5 dari uji EDX

| Lambang Unsur | Nama Unsur | At% | Wt% |
|---------------|------------------|--------|--------|
| O | <i>Oxygen</i> | 73.910 | 61.838 |
| Na | <i>Sodium</i> | 0.083 | 0.1 |
| Mg | <i>Magnesium</i> | 0.079 | 0.1 |
| Al | <i>Aluminum</i> | 2.621 | 3.696 |
| Si | <i>Silicon</i> | 23.260 | 34.166 |
| Ca | <i>Calcium</i> | 0.048 | 0.1 |

Setelah mendapatkan hasil pengujian SEM-EDX, langkah selanjutnya adalah menganalisis hasil pengujian BET untuk mendapatkan pemahaman yang lebih mendalam mengenai luas permukaan dan volume pori katalis HZSM-5 yang dapat dilihat pada **Gambar 4.9** dibawah ini.



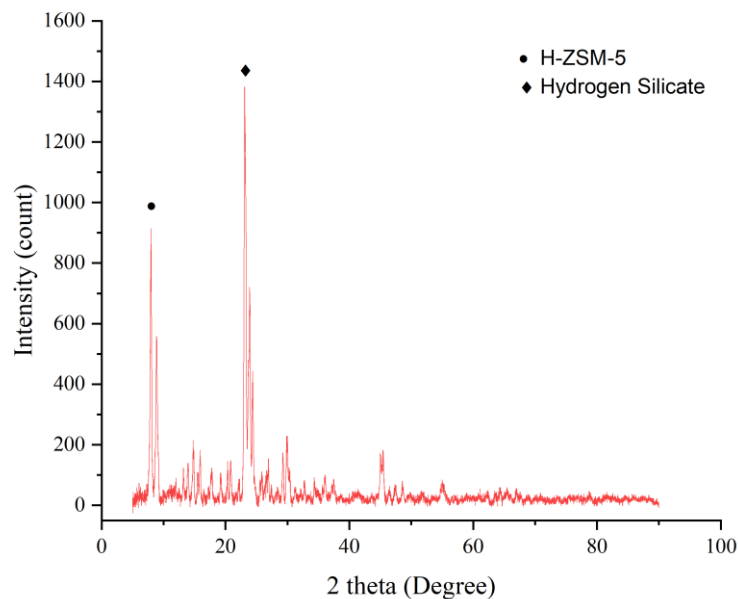


Gambar 4. 9 (a) N₂ adsorpsi-desorpsi isotherm HZSM-5 (b) Distribusi pori HZSM-5

Gambar 4.9 menunjukkan grafik N₂ adsorpsi-desorpsi *isotherm* HZSM-5 dan distribusi pori HZSM-5. Berdasarkan klasifikasi IUPAC, HZSM-5 mengikuti *isotherm* tipe IV yang menandakan bahwa material yang dihasilkan memiliki pori meso, hal ini sesuai dengan penelitian sebelumnya bahwa HZSM-5 mengikuti *isotherm* tipe IV dan menunjukkan karakteristik material mesopori serta nilai *surface area* dan *pore volume* berturut-turut adalah 261 m²/g and 0.16 cm³/g (Wu et al, 2014). **Tabel 4.7** menunjukkan bahwa rata-rata diameter pori dan total volume pori yang dimiliki HZSM-5 berturut-turut sebesar 2,72268 nm dan 0,1819 cm³/g.

Tabel 4. 7 Spesifikasi HZSM-5 Berdasarkan Pengujian BET

| Jenis katalis | <i>Specific surface area</i> (m ² /g) | <i>Total pore volume</i> (cm ³ /g) | <i>Average pore Diameter</i> (nm) |
|---------------|--|---|-----------------------------------|
| HZSM-5 | 267.173 | 0.1819 | 2.72268 |



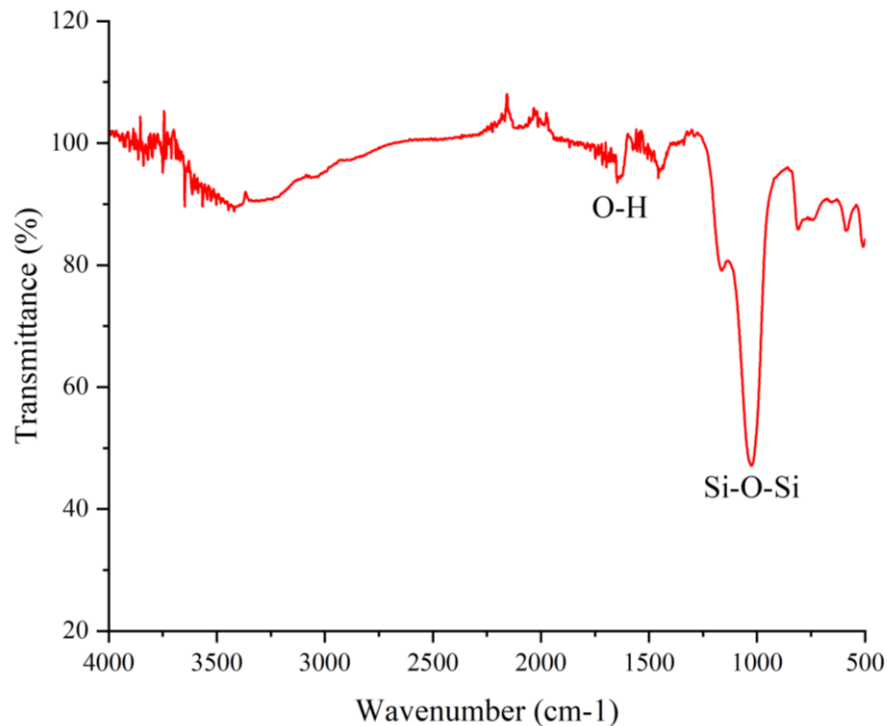
Gambar 4. 10 XRD HZSM-5

Hasil XRD yang didapat pada katalis HZSM-5 ditunjukkan pada **Gambar 4.9**. Pola XRD pada katalis HZSM-5. Puncak yang tinggi dihasilkan pada sudut $2\theta = 8.0065, 8.886, 14.7807, 23.0819, 29.2826, 30.0229,$ dan 45.5045 . Puncak tersebut sesuai dengan penelitian (Sabarish, 2020) yang menunjukkan puncak pada $2\theta = 7.98, 8.82, 14.82, 23.14$ dengan bidang [011], [020], [031], dan [051] yang merupakan karakteristik struktur MFI dari zeolit ZSM-5 (JCPDS no. 42-0024) [48]. Dari puncak-puncak tersebut kemudian didapatkan ukuran kristal melalui perhitungan *Debye Scherrer*, kemudian hasil dari perhitungan tersebut didapatkan ukuran kristal paling besar terdapat pada sudut $2\theta = 23.9770$ yakni 60.698 nm. Hasil perhitungan empat ukuran kristal HZSM-5 terbesar dicantumkan pada **Tabel 4.8**.

Tabel 4. 8 Ukuran kristal HZSM-5

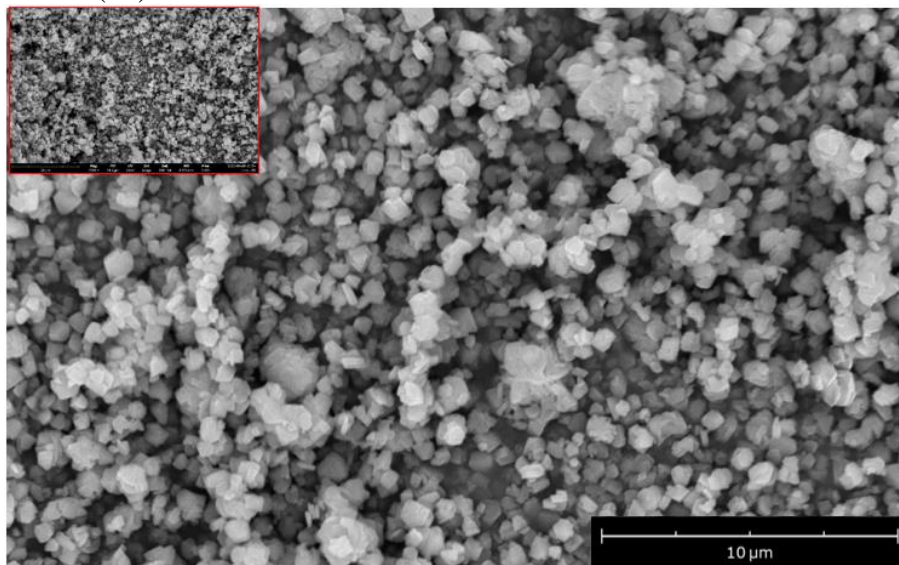
| Puncak 2theta | FWHM Left [$^{\circ}2\text{Th.}$] | Ukuran Kristal (nm) |
|---------------|-------------------------------------|---------------------|
| 8.0065 | 0.1673 | 47.601 |
| 8.8860 | 0.1506 | 52.909 |
| 23.0819 | 0.1506 | 53.839 |
| 23.9770 | 0.1338 | 60.698 |

4.1.4 USY



Gambar 4. 11 Spektrum Hasil Pengujian FTIR USY

Spektrum hasil pengujian FTIR dari USY dapat dilihat pada **Gambar 4.11** yang menunjukkan gugus fungsi Si-O-Si pada serapan 1080 cm^{-1} , 800 cm^{-1} dan gugus fungsi O-H pada serapan 1650 cm^{-1} . Menurut penelitian (Kartini et al, 2021), serapan di sekitar $700\text{--}800\text{ cm}^{-1}$ dikenal sebagai Si/Al-O eksternal. Serapan di sekitar $1650\text{--}1600\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan getaran lentur OH dari air yang teradsorpsi. Serapan $1140\text{--}995\text{ cm}^{-1}$ berasal dari ikatan regangan Si-O-Si (Al).

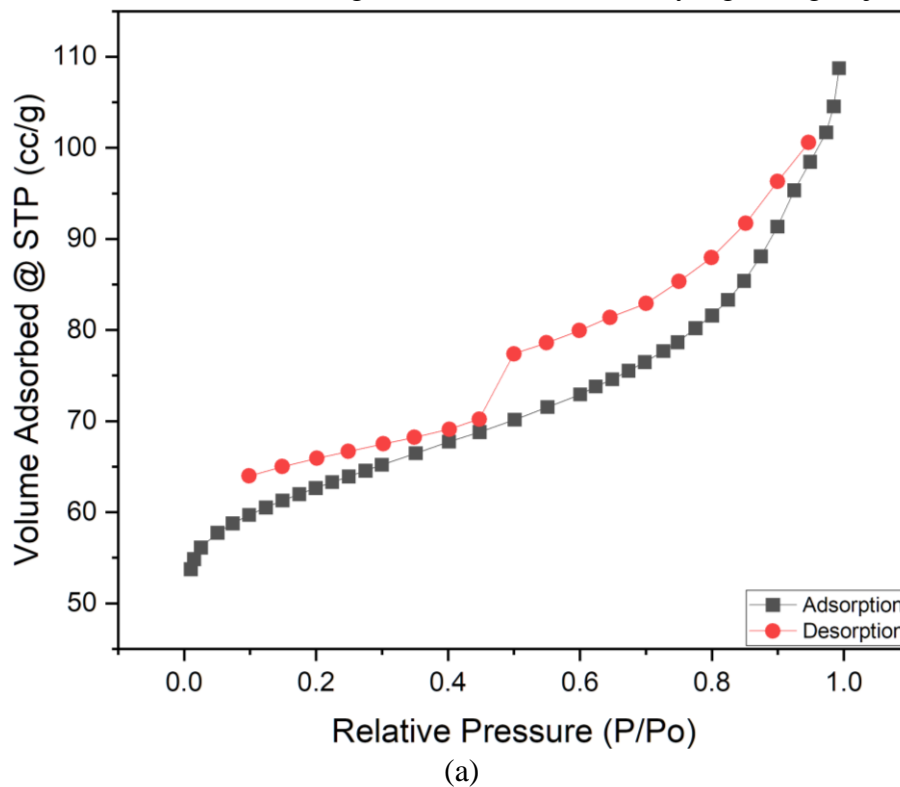


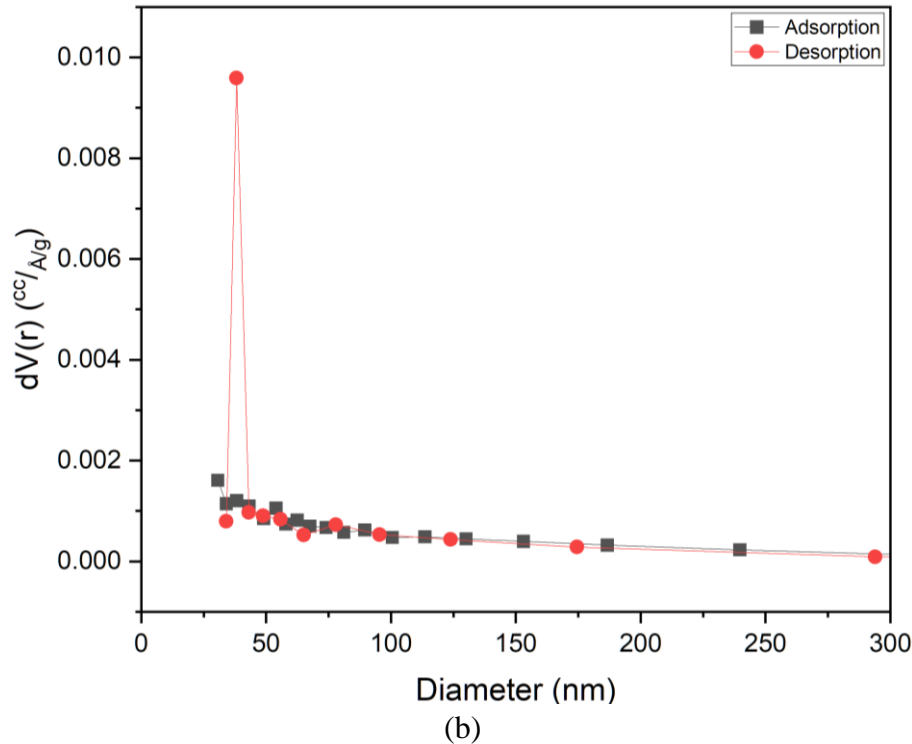
Gambar 4. 12 SEM Zeolit USY perbesaran 12000x

Tabel 4. 9 Kandungan unsur USY dari uji EDX

| Lambang Unsur | Nama Unsur | At% | Wt% |
|---------------|------------------|--------|------|
| O | <i>Oxygen</i> | 67.834 | 54.9 |
| Na | <i>Sodium</i> | 0.774 | 0.9 |
| Mg | <i>Magnesium</i> | 0.244 | 0.3 |
| Al | <i>Aluminum</i> | 7.917 | 10.8 |
| Si | <i>Silicon</i> | 23.084 | 32.8 |
| Ca | <i>Calcium</i> | 0.148 | 0.3 |

Pada **Gambar 4.12**, terdapat hasil pengujian SEM pada perbesaran 12000x untuk katalis Zeolit USY, sementara **Tabel 4.9** menunjukkan hasil EDX mengindikasikan kandungan unsur Na, O, Al, Mg, Ca, dan Si dalam persentase berat dan persentase atom. Morfologi katalis Zeolit USY terlihat sebagai partikel berbentuk kubus. Dalam penelitian yang dilakukan oleh (Zhu et al, 2022), morfologi yang diamati adalah pertumbuhan antar agregat dengan ukuran kristal yang tidak seragam. Kristalisasi ini didukung oleh nukleasi sekunder yang sering terjadi.



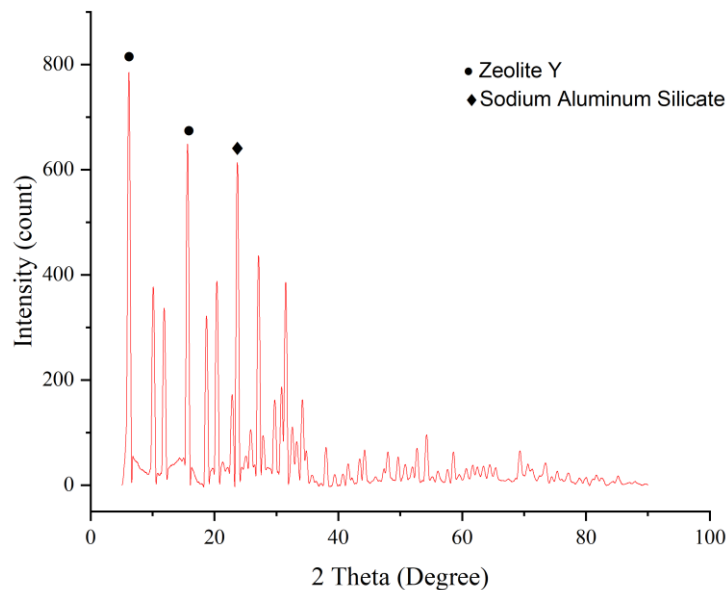


Gambar 4. 13 (a) N₂ adsorpsi-desorpsi isotherm USY (b) Distribusi pori USY

Gambar 4.13 menunjukkan grafik N₂ adsorpsi-desorpsi *isotherm* zeolit USY dan distribusi pori zeolit USY. Berdasarkan klasifikasi IUPAC, USY mengikuti *isotherm* tipe IV yang menandakan bahwa material yang dihasilkan memiliki pori meso, hal ini sesuai dengan penelitian sebelumnya bahwa USY mengikuti *isotherm* tipe IV dan menunjukkan karakteristik material mesopore serta memiliki daya serap tinggi (Yao et al, 2021). **Tabel 4.10** menunjukkan bahwa *surface area*, rata-rata diameter pori dan total volume pori yang dimiliki USY berturut-turut sebesar 196,767 m²/g, 3,41938 nm dan 0,1682 cm³/g.

Tabel 4. 10 Spesifikasi Zeolit USY Berdasarkan Pengujian BET

| Jenis katalis | <i>Specific surface area</i> (m ² /g) | <i>Total pore volume</i> (cm ³ /g) | <i>Average pore Diameter</i> (nm) |
|---------------|--|---|-----------------------------------|
| Zeolit USY | 196.767 | 0.1682 | 3.41938 |



Gambar 4. 14 Hasil XRD USY

Pada **Gambar 4.14** ditampilkan hasil XRD dari katalis USY. Didapati bahwa *peak* yang muncul hampir sama dengan XRD hasil sintesis zeolite Y dengan kaolin pada penelitian (Gandhi et al, 2021) yaitu $2\theta = 6.2, 10.1, 11.9, 15.6, 18.6, 20.3, 31.3$. Dari puncak-puncak tersebut kemudian didapatkan ukuran kristal melalui perhitungan *Deybe Scherrer*, kemudian hasil dari perhitungan tersebut didapatkan ukuran kristal paling besar terdapat pada sudut $2\theta = 6.215$ yakni 14.2215 nm. Hasil perhitungan tiga ukuran kristal HZSM-5 terbesar dicantumkan pada **Tabel 4.11**.

Tabel 4. 11 Ukuran kristal USY

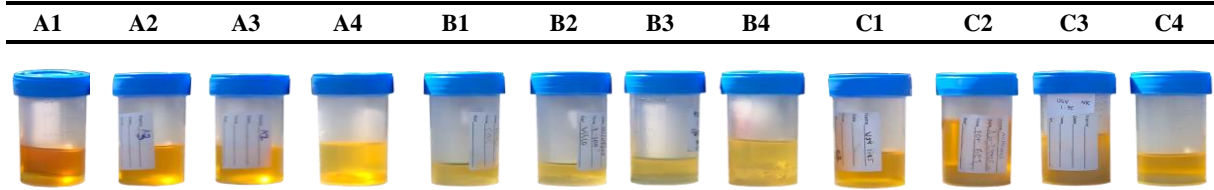
| Puncak 2theta | FWHM Left [$^{\circ}2Th.$] | Ukuran Kristal (nm) |
|---------------|------------------------------|---------------------|
| 6.215 | 0.1004 | 14.2215 |
| 15.6865 | 0.1673 | 5.64941 |
| 23.6909 | 0.1338 | 3.75568 |

4.2 Hasil *Catalytic Cracking*

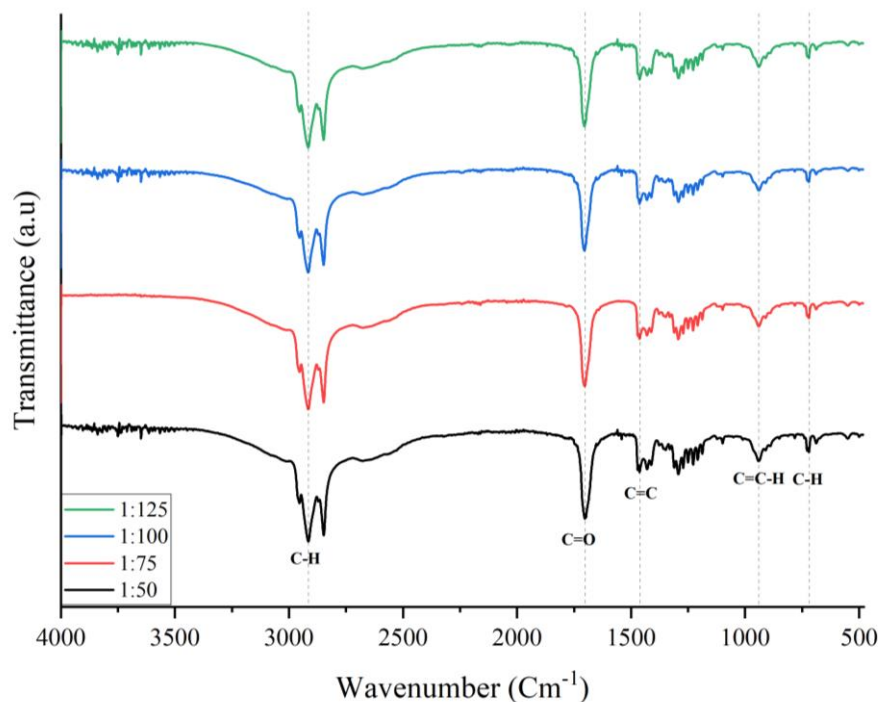
Proses *catalytic cracking* CPO dilakukan pada temperatur $400^{\circ}C$ selama 1,5 jam, dengan variasi terhadap rasio katalis:cpo dan jenis katalis, dimana variasi yang ditetapkan yaitu 1:125, 1:100, 1:75, dan 1:50. Sementara jenis katalis yang dipakai yaitu katalis $\gamma-Al_2O_3$, HZSM-5, dan Zeolit USY. Produk dari reaksi *catalytic cracking* dapat berupa *yield* cair yang merupakan uap yang telah terkondensasi menjadi produk cair, *yield* gas yang merupakan produk yang tidak dapat terkondensasi sehingga tetap dalam bentuk gas, dan residu yang merupakan produk sisa dari reaksi *catalytic cracking*.

Gambar 4.15 menunjukkan hasil produk *catalytic cracking* CPO berturut-turut dari yang paling kiri yakni hasil dari katalis $\gamma-Al_2O_3$ 1:50, dan yang paling kanan adalah hasil dari katalis USY 1:125. Jika dilihat dari warna, produk cair akan memiliki warna yang semakin gelap seiring dengan meningkatnya rasio katalis:cpo. Perbedaan warna tersebut disebabkan karena semakin tinggi rasio katalis:cpo akan menurunkan *yield biogasoline* dan produk yang rendah

yield *biogasoline*-nya memiliki kandungan fraksi ringan/*biogasoline* (C₅-C₁₁) yang juga rendah, sehingga lebih didominasi oleh senyawa hidrokarbon fraksi berat seperti *diesel* (C₁₂-C₂₀) dan *heavy oil* (>C₂₀) yang mana hidrokarbon fraksi berat tersebut memiliki salah satu karakteristik yakni warna cairan lebih gelap (Santos, 2017).



Gambar 4. 15 Hasil Visual Produk *catalytic cracking* CPO



Gambar 4. 16 FTIR Variasi Katalis $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$

Dari hasil FTIR produk *catalytic cracking* pada variasi katalis $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$, dapat dilihat bahwa *peak* yang muncul pada tiap spektrum mengindikasikan gugus fungsi pada *wavenumber* yang tidak terlalu berbeda, dimana pada *wavenumber* 2915.53 cm⁻¹, 2915.30 cm⁻¹, 2915.53 cm⁻¹, dan 2915.10 cm⁻¹ mengindikasikan puncak gugus fungsi C-H *asymmetric* tipe vibrasi *stretching* sedangkan pada *wavenumber* 2847.88, 2848.10, 2848.21, 2848.21 merupakan gugus C-H *symmetric* tipe vibrasi *stretching*. Sementara gugus C=O ditemukan pada *wavenumber* 1702.45 cm⁻¹ yang terdapat senyawa asam n-heksadekanoat, pada *wavenumber* 1462.69 cm⁻¹ ditemukan gugus fungsi C=C yang terdapat senyawa olefin. Puncak absorpsi pada Panjang gelombang 720.03 cm⁻¹ mengindikasikan bahan bakar hasil dari proses perengkahan katalitik adalah rantai panjang hidrokarbon. Tiap puncak absorpsi mengandung karakteristik pada senyawa hidrokarbon (Silalahi et al, 2021)

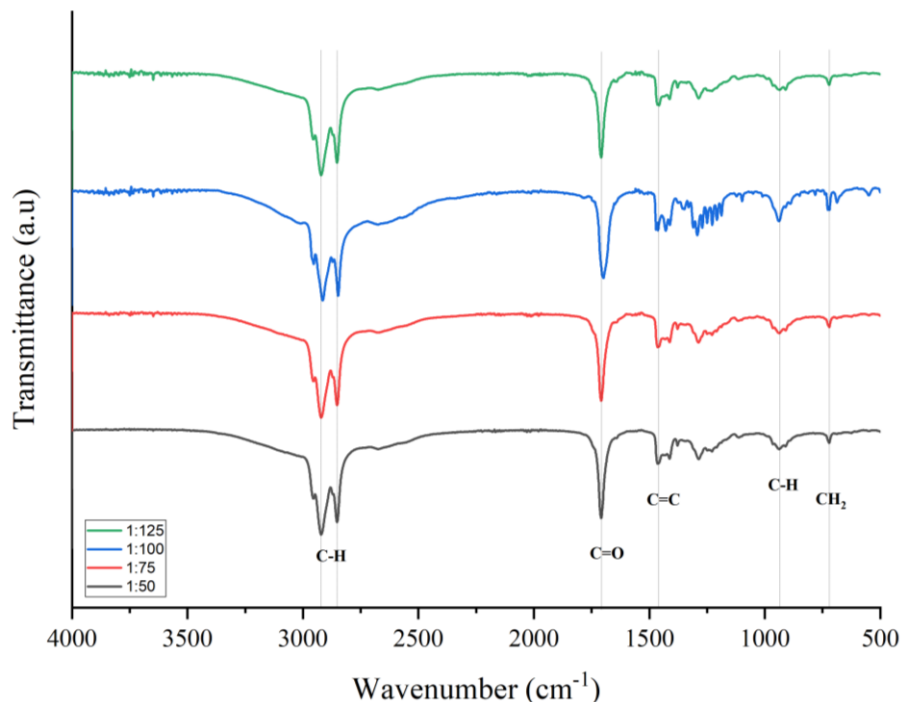
Tabel 4. 12 Wavenumber dan Gugus Fungsi Variasi Katalis γ -Al₂O₃

| Tipe Senyawa | Tipe Vibrasi | Wavenumber (cm ⁻¹) | | | |
|--------------|--------------|--------------------------------|---------|---------|---------|
| | | 1:50 | 1:75 | 1:100 | 1:125 |
| C-H asym | Stretching | 2915.10 | 2915.30 | 2915.57 | 2915.53 |
| C-H sym | Stretching | 2847.88 | 2848.10 | 2848.21 | 2848.21 |
| C=O | Stretching | 1702.45 | 1704.46 | 1704.74 | 1704.69 |
| C=C | Stretching | 1462.69 | 1462.76 | 1463.01 | 1462.87 |
| C=C-H | Deformation | 940.18 | 940.06 | 939.57 | 939.32 |



Gambar 4. 17 Struktur kimia senyawa 2-Tetradekena (C₁₄H₂₈)

Metode GC-MS digunakan untuk melakukan analisis terhadap kandungan senyawa produk *catalytic cracking* pada variasi katalis γ -Al₂O₃. Dari hasil analisis GC-MS dapat diketahui bahwa adanya gugus fungsi C=C-H berasal dari senyawa 2-Tetradekena pada hasil produk *catalytic cracking* katalis γ -Al₂O₃ dengan struktur kimia seperti pada **Gambar 4.17**. Namun jika dilihat pada **Gambar 4.16** sebagian besar gugus fungsi lain mengindikasikan kesamaan dengan CPO, kesamaan gugus fungsi tersebut disebabkan karena proses *catalytic cracking* merupakan reaksi yang tujuan utamanya adalah untuk memutus ikatan panjang rantai hidrokarbon menjadi molekul yang lebih kecil dan tidak sepenuhnya mengubah stuktur kimia dasar bahan baku awal.



Gambar 4. 18 FTIR Variasi Rasio katalis:cpo HZSM-5

Pada **Gambar 4.18** menunjukkan hasil FTIR produk *catalytic cracking* pada variasi katalis HZSM-5, *peak* yang muncul memiliki *wavenumber* tidak jauh berbeda pada tiap rasio. Pada *wavenumber* 2921.12, 2921.08, 2914.62, dan 2921.33 cm⁻¹ mengindikasikan puncak gugus C-H *asymmetric* tipe vibrasi *stretching*, sedangkan pada *wavenumber* 2852.26, 2852.18, 2847.53,

2852.45 cm^{-1} mengindikasikan gugus C-H *symmetric* tipe vibrasi *stretching*, pada *wavenumber* 1463.84, 1463.61, 1462.79, dan 1457.08 cm^{-1} didapati gugus C=C dengan tipe vibrasi *stretching* yang terdapat pada senyawa olefin. Selanjutnya pada *wavenumber* 938.00, 938.20, 938.98, dan 936.86 cm^{-1} terdapat gugus C-H dengan tipe vibrasi *deformation* yang memiliki senyawa alifatik tidak jenuh. Hasil lebih lanjut dipaparkan pada **Tabel 4.13** dibawah.

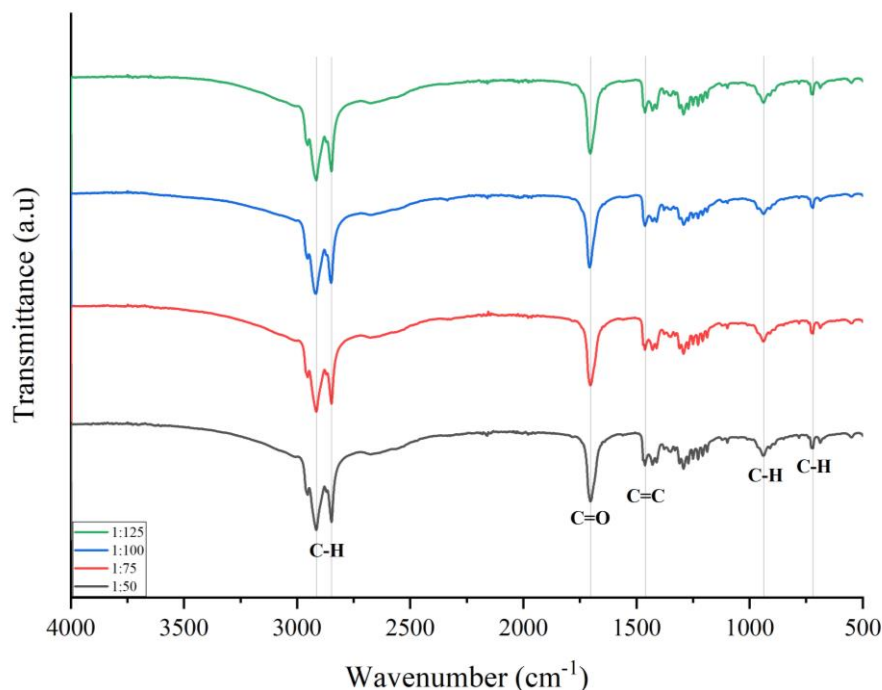
Tabel 4. 13 *Wavenumber* dan Gugus Fungsi Variasi Katalis HZSM-5

| Tipe Senyawa | Tipe Vibrasi | <i>Wavenumber</i> (cm^{-1}) | | | |
|---------------------|--------------|--|---------|---------|---------|
| | | 1:50 | 1:75 | 1:100 | 1:125 |
| C-H asym | Stretching | 2921.12 | 2921.08 | 2914.62 | 2921.33 |
| C-H sym | Stretching | 2852.26 | 2852.18 | 2847.53 | 2852.45 |
| C=O | Stretching | 1708.66 | 1708.66 | 1698.14 | 1708.82 |
| C=C | Stretching | 1463.84 | 1463.61 | 1462.79 | 1457.08 |
| C-H | Deformation | 938.00 | 938.20 | 938.98 | 936.86 |
| (CH ₂)n | Stretching | 721.20 | 721.04 | 727.28 | 721.32 |



Gambar 4. 19 Struktur kimia senyawa 1-Docosene (C₂₂H₄₄)

Dari hasil analisis GC-MS dapat diketahui bahwa terdapat gugus fungsi CH₂ yang berasal dari senyawa 1-Docosene pada hasil produk *catalytic cracking* katalis HZSM-5 dengan struktur kimia seperti pada **Gambar 4.19**. Namun jika dilihat pada **Gambar 4.18** sebagian besar gugus fungsi lain mengindikasikan kesamaan dengan CPO, kesamaan gugus fungsi tersebut disebabkan karena proses *catalytic cracking* merupakan reaksi yang tujuan utamanya adalah untuk memutus ikatan panjang rantai hidrokarbon menjadi molekul yang lebih kecil dan tidak sepenuhnya mengubah stuktur kimia dasar bahan baku awal.



Gambar 4. 20 FTIR Variasi Rasio katalis:cpo USY

Pada **Gambar 4.20** didapatkan hasil FTIR produk *catalytic cracking* pada variasi katalis USY, *peak* yang muncul memiliki *wavenumber* tidak jauh berbeda pada tiap rasio. Pada *wavenumber* 2915.34, 2915.36, 2917.91, dan 2915.71 cm^{-1} mengindikasikan puncak gugus C-H *asymmetric* tipe vibrasi *stretching*, sedangkan pada *wavenumber* 2848.05, 2848.05, 2849.59, dan 2848.24 cm^{-1} mengindikasikan gugus C-H *symmetric* tipe vibrasi *stretching*, pada *wavenumber* 1462.93, 1462.80, 1463.07, 1462.98 cm^{-1} didapati gugus C=C dengan tipe vibrasi *stretching* yang terdapat pada senyawa olefin. Selanjutnya pada *wavenumber* 938.94, 938.81, 938.18, dan 938.49 cm^{-1} terdapat gugus C-H dengan tipe vibrasi *deformation* yang memiliki senyawa alifatik tidak jenuh. **Tabel 4.14** memaparkan gugus fungsi dan tipe vibrasinya pada *wavenumber* di tiap rasio.

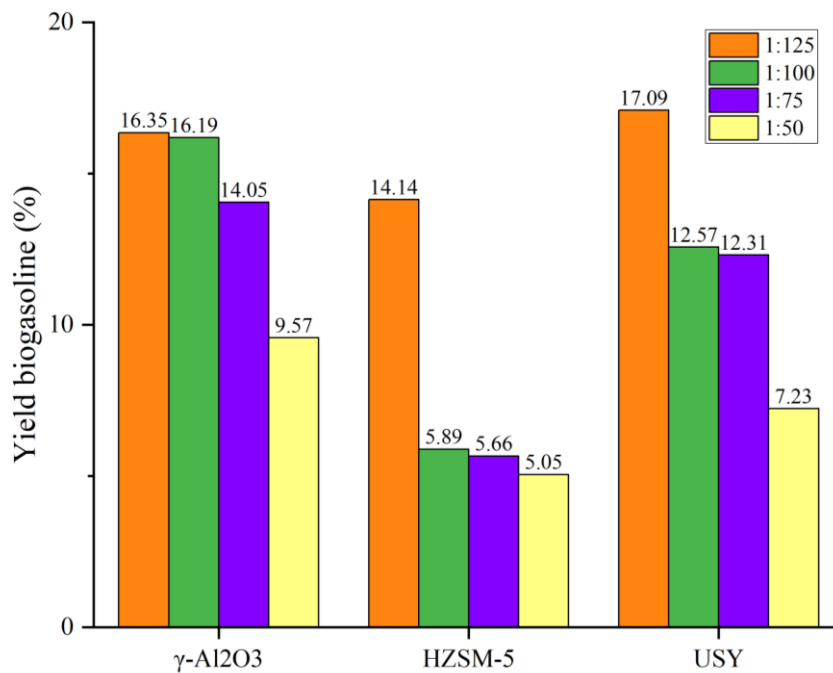
Tabel 4. 14 *Wavenumber* dan Gugus Fungsi Variasi Katalis USY

| Tipe Senyawa | Tipe Vibrasi | <i>Wavenumber</i> (cm^{-1}) | | | |
|--------------|--------------|--|---------|---------|---------|
| | | 1:50 | 1:75 | 1:100 | 1:125 |
| C-H asym | Stretching | 2915.34 | 2915.36 | 2917.91 | 2915.71 |
| C-H sym | Stretching | 2848.05 | 2848.05 | 2849.59 | 2848.24 |
| C=O | Stretching | 1703.60 | 1704.36 | 1707.58 | 1704.81 |
| C=C | Stretching | 1462.93 | 1462.80 | 1463.07 | 1462.98 |
| C-H | Deformation | 938.94 | 938.81 | 938.18 | 938.49 |

Dari hasil analisis GC-MS tidak ditemukan adanya perbedaan gugus fungsi antara CPO dengan produk *catalytic cracking* katalis HZSM-5. Kesamaan gugus fungsi tersebut disebabkan karena proses *catalytic cracking* merupakan reaksi yang tujuan utamanya adalah untuk memutus ikatan panjang rantai hidrokarbon menjadi molekul yang lebih kecil dan tidak sepenuhnya mengubah struktur kimia dasar bahan baku awal.

4.3 Pengaruh Rasio Katalis:CPO dan Jenis Katalis terhadap *Yield Biogasoline*

Metode (GC-MS) digunakan untuk mengidentifikasi komponen-komponen dalam produk *biogasoline*. Pendekatan neraca massa dalam keadaan *steady-state* digunakan untuk mengembangkan persamaan yang memungkinkan perhitungan konversi dan selektivitas pada interval waktu tertentu sehingga menghasilkan nilai konversi *yield biogasoline* seperti yang ditampilkan pada **Gambar 4.21**. Rumus perhitungan *yield biogasoline* dapat dilihat pada lampiran.



Gambar 4. 21 Pengaruh rasio katalis:cpo dan jenis katalis terhadap *yield biogasoline*

Pada penelitian kali ini, salah satu target yang ingin dicapai adalah kemampuan produk untuk menghasilkan jumlah *yield biogasoline* yang mengandung fraksi bensin sebanyak mungkin. Fraksi bensin ini tersusun atas rantai lurus hidrokarbon dengan rumus kimia C_nH_{2n+2} , dari C_5 hingga C_{11} (Rahayu, 2013). Namun, produk bahan bakar cair yang dihasilkan dari proses *catalytic cracking* masih belum murni 100% dibuktikan dengan tingginya presentase fraksi selain bensin yakni fraksi kerosin (C_{12} - C_{20}), fraksi *heavy oil* ($> C_{21}$), dan kandungan acid. Pada **Gambar 4.21** dapat dilihat nilai % *yield biogasoline* yang dihasilkan dari proses *catalytic cracking* yang mana variasi katalis γ -Al₂O₃ dengan rasio katalis 1:125 menghasilkan 16,35%, rasio katalis 1:100 menghasilkan 16,19%, rasio katalis 1:75 menghasilkan 14,05%, dan rasio katalis 1:50 menghasilkan 9,57%. Kemudian pada variasi katalis HZSM-5 dengan rasio katalis 1:125 menghasilkan 14,14%, rasio katalis 1:100 menghasilkan 5,89%, rasio katalis 1:75 menghasilkan 5,66%, dan rasio katalis 1:50 menghasilkan 5,05%. Sedangkan untuk variasi katalis Zeolit USY, rasio katalis 1:125 menghasilkan 17,09%, rasio katalis 1:100 menghasilkan 12,57%, rasio katalis 1:75 menghasilkan 12,31 %, dan rasio katalis 1:50 menghasilkan 7,23 %. Dari semua jenis katalis yang digunakan pada proses *catalytic cracking* menunjukkan bahwa rasio 1:50 selalu menghasilkan fraksi biogasoline (C_5 - C_{11}) yang paling rendah dibandingkan dengan rasio 1:75, 1:100, maupun 1:125, hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi rasio katalis:cpo dalam proses *catalytic cracking* akan menghasilkan presentase *yield biogasoline* yang semakin rendah. Hal ini disebabkan karena penggunaan katalis yang semakin banyak dapat menyebabkan reaksi repolimerisasi dan kondensasi, reaksi tersebut menyebabkan konversi fraksi bensin menjadi berkurang karena telah bereaksi menjadi fraksi yang lebih berat (Wega, 2002), fraksi berat yang dimaksudkan adalah fraksi kerosin (C_{12} - C_{20}) dan fraksi *heavy oil* ($> C_{21}$) yang dibuktikan dengan tingginya presentase kedua fraksi tersebut berdasarkan dari hasil pengujian GC-MS yang ditunjukkan pada **Tabel 4.15**.

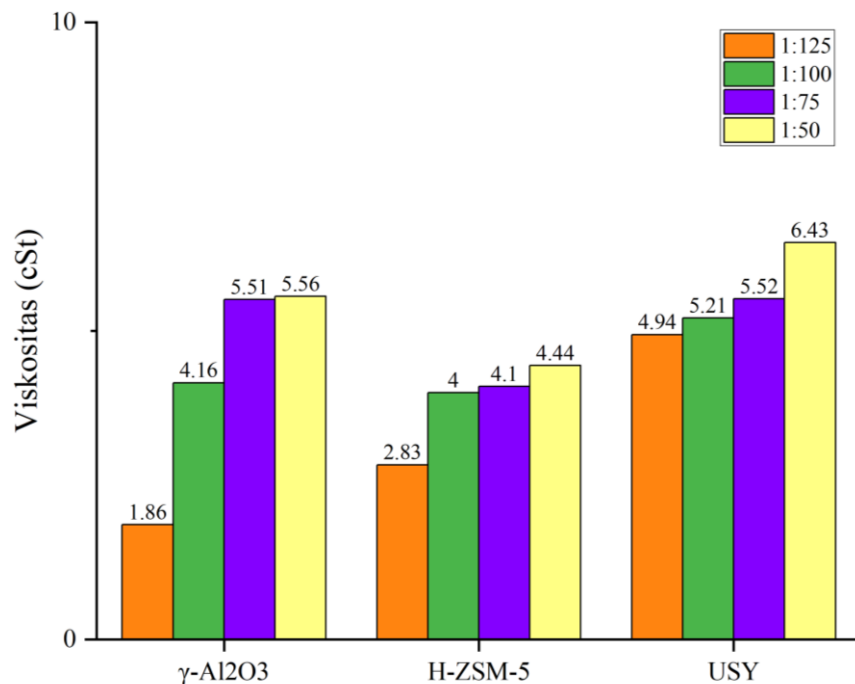
Tabel 4. 15 Komposisi fraksi berdasarkan uji GC-MS

| Katalis | Fraksi Senyawa | Jumlah Fraksi (%) | | | |
|--|----------------------------------|-------------------|-------|-------|-------|
| | | 1:125 | 1:100 | 1:75 | 1:50 |
| γ -Al ₂ O ₃ | C ₅ -C ₁₁ | 23,17 | 22,82 | 17,21 | 14,41 |
| | C ₁₂ -C ₂₀ | 63,13 | 68,29 | 77,03 | 79,45 |
| | > C ₂₁ | 13,69 | 8,13 | 5,76 | 4,51 |
| HZSM-5 | C ₅ -C ₁₁ | 19,85 | 12,74 | 9,57 | 9,51 |
| | C ₁₂ -C ₂₀ | 62,9 | 76,85 | 79,73 | 78,95 |
| | > C ₂₁ | 17,24 | 9,67 | 10,7 | 11,54 |
| USY | C ₅ -C ₁₁ | 22,41 | 20,9 | 18,96 | 12,31 |
| | C ₁₂ -C ₂₀ | 70,93 | 64,5 | 75,71 | 70,34 |
| | > C ₂₁ | 8,79 | 13,85 | 5,33 | 17,03 |

Apabila dilihat dari variasi jenis katalis, jumlah *yield biogasoline* yang dihasilkan pada penggunaan ketiga jenis katalis yakni γ -Al₂O₃, HZSM-5, dan Zeolit USY dipengaruhi oleh berbagai karakteristik yang beragam antara lain *surface area*, *average pore diameter*, dan lain-lain. Berdasarkan hasil pengujian BET pada ketiga jenis katalis diatas, γ -Al₂O₃ memiliki nilai *average pore diameter* sebesar 8.00244 nm, HZSM-5 memiliki nilai *average pore diameter* sebesar 2.72268 nm, dan Zeolit USY memiliki nilai *average pore diameter* sebesar 3.41938 nm. Dari data tersebut terlihat bahwa HZSM-5 memiliki nilai *average pore diameter* paling rendah, hal itu menyebabkan *yield biogasoline* produk *catalytic cracking* pada variasi katalis HZSM-5 pada **Gambar 4.21** paling rendah dibandingkan γ -Al₂O₃ dan Zeolit USY. Sesuai dengan penelitian (Sholeha, 2017) yang menyatakan bahwa zeolit dengan pori-pori besar akan memungkinkan molekul-molekul reaktan untuk memiliki akses dan difusi yang lebih baik, sehingga meningkatkan persentase konversi dan hasil produksi yang lebih tinggi.

4.4 Pengaruh Rasio Katalis:CPO dan Jenis Katalis terhadap Viskositas *Biogasoline*

Pengujian viskositas dengan instrumen Kinematic Viscosity Bath KV4000 22L digunakan untuk mengidentifikasi nilai *kinematic viscosity* produk *biogasoline*. Hasil pengujian viskositas produk *biogasoline* dapat dilihat pada **Gambar 4.22**.



Gambar 4. 22 Pengaruh rasio katalis:cpo dan jenis katalis terhadap viskositas *biogasoline*

Gambar 4.22 menunjukkan nilai viskositas pada seluruh variasi yang dihasilkan pada proses *catalytic cracking* dari penelitian ini. Variasi katalis γ -Al₂O₃ dengan rasio katalis 1:125 memiliki nilai viskositas 1,86 cSt, rasio katalis 1:100 memiliki nilai 4,16 cSt, rasio katalis 1:75 memiliki nilai 5,51 cSt, dan rasio katalis 1:50 memiliki nilai 5,56 cSt. Sedangkan pada variasi katalis HZSM-5 dengan rasio katalis 1:125 memiliki nilai 2,83 cSt, rasio katalis 1:100 memiliki nilai 4 cSt, rasio katalis 1:75 memiliki nilai 4,1 cSt, dan rasio katalis 1:50 memiliki nilai 4,44 cSt. Sementara untuk variasi katalis Zeolit USY dengan rasio katalis 1:125 memiliki nilai 4,94 cSt, rasio katalis 1:100 memiliki nilai 5,21 cSt, rasio katalis 1:75 memiliki nilai 5,52 cSt, dan rasio katalis 1:50 memiliki nilai 6,43 cSt. Jika ditinjau dari variasi rasio katalis:cpo, **Gambar 4.22** menunjukkan bahwa semakin tinggi rasio katalis:cpo akan menghasilkan nilai viskositas yang semakin tinggi, dimana nilai viskositas paling rendah dari ketiga jenis katalis dihasilkan dari rasio 1:125. Kenaikan nilai viskositas yang dihasilkan dari meningkatnya rasio katalis itu terjadi akibat adanya reaksi polimerisasi dan reaksi repolimerisasi, reaksi polimerisasi terjadi saat terjadi reaksi antar radikal bebas atau radikal bebas dengan molekul karbon yang mempunyai ikatan rangkap sehingga menghasilkan produk dengan jumlah atom C lebih besar. Sedangkan reaksi repolimerisasi produk terjadi sebagai akibat lamanya waktu reaksi perengkahan serta melimpahnya produk yang dihasilkan (Sianipar et al, 2013). Oleh karena itu, reaksi yang terjadi menyebabkan terbentuknya fraksi yang lebih berat yakni berupa hidrokarbon rantai panjang, yang mana rantai hidrokarbon yang lebih panjang memiliki nilai viskositas lebih tinggi dibandingkan hidrokarbon rantai pendek (Istadi, 2021).

Apabila ditinjau dari variasi jenis katalis, **Gambar 4.22** menunjukkan bahwa secara umum grafik katalis HZSM-5 mempunyai nilai viskositas yang lebih rendah dibandingkan katalis γ -Al₂O₃ dan Zeolit USY. Rendahnya nilai viskositas tersebut disebabkan oleh besar kecilnya berat molekul senyawa dari hasil proses *catalytic cracking* yang salah satunya dipengaruhi oleh nilai *average pore radius* dari katalis untuk menentukan efektivitas katalis

yang digunakan. Berdasarkan hasil pengujian BET pada ketiga jenis katalis diatas, $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ memiliki nilai *average pore radius* sebesar 4.00122 nm, HZSM-5 memiliki nilai *average pore radius* sebesar 1.36134 nm, dan Zeolit USY memiliki nilai *average pore radius* sebesar 1.70969 nm. Dari data tersebut terlihat bahwa HZSM-5 memiliki nilai *average pore radius* paling rendah, sehingga senyawa dengan berat molekul besar tidak dapat lolos melewati pori HZSM-5 dan itu menyebabkan viskositas produknya lebih rendah. Sebagaimana penelitian (Trisunaryanti, 2010) yang menyatakan bahwa semakin besar nilai *average pore radius* suatu katalis yang digunakan dalam reaksi perengkahan, maka kemungkinan senyawa dengan berat molekul besar untuk lolos dan tidak terfragmentasi juga semakin besar dan demikian pula sebaliknya.

4.5 Tabulasi Hasil

Tabel 4.16 menunjukkan tabulasi hasil keseluruhan nilai viskositas dan *yield biogasoline* pada penelitian kali ini. Nilai viskositas yang paling mendekati standar biogasoline dari (*Shell Petroleum Canada*, 1999) adalah nilai viskositas dari variasi katalis $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ pada rasio 1:125 yakni sebesar 1,86 cSt. Namun, untuk fraksi biogasoline secara keseluruhan masih jauh dari standar yang dimiliki oleh pertalite, Pertamina. Salah satu fraksi biogasoline tertinggi yang dihasilkan pada penelitian kali ini adalah dari variasi katalis $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ pada rasio 1:125 yakni sebesar 23,17%.

Tabel 4. 16 Perbandingan spesifikasi produk *catalytic cracking*

| Respon | Fraksi biogasoline (% C ₅ -C ₁₁) | Viskositas (cSt) | |
|-------------------------------------|---|---|-------|
| Standar | 89,86 | 0,0-1,0 | |
| Referensi | Pertalite (Pertamina) | (<i>Shell Petroleum Canada</i> , 1999) | |
| Rasio Katalis:CPO dan Jenis Katalis | 1:125 | 1,86 | |
| | $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ | 1:100 | 4,16 |
| | | 1:75 | 5,51 |
| | | 1:50 | 5,56 |
| | | HZSM-5 | 1:125 |
| | 1:100 | | 4,00 |
| | 1:75 | | 4,10 |
| | 1:50 | | 4,44 |
| | USY | 1:125 | 4,94 |
| | | 1:100 | 5,21 |
| | | 1:75 | 5,52 |
| | | 1:50 | 6,43 |

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang diperoleh dari hasil penelitian adalah sebagai berikut:

1. *Biogasoline* telah berhasil dihasilkan dari konversi CPO melalui metode *catalytic cracking* menggunakan katalis $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$, HZSM-5, dan USY dengan rasio katalis:cpo 1:125, 1:100, 1:75, dan 1:50 dan menghasilkan *yield biogasoline* tertinggi sebesar 17,09%.
2. Kenaikan rasio katalis:cpo pada proses *catalytic cracking* minyak *Crude Palm Oil* (CPO) semakin menurunkan nilai *yield* cair dan fraksi *biogasoline*. Dimana *yield biogasoline* tertinggi diperoleh pada sampel dengan variasi katalis USY pada rasio 1:125 yaitu sebesar 17,09%.
3. Kenaikan rasio katalis:cpo pada proses *catalytic cracking* minyak *Crude Palm Oil* (CPO) semakin meningkatkan nilai viskositas dari sampel *biogasoline*. Dimana nilai viskositas terendah diperoleh pada rasio 1:125 dengan menggunakan katalis $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ yaitu sebesar 1,86 Cst.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Rangkaian alat *catalytic cracking* harus dipastikan tidak terdapat kebocoran agar dapat menghasilkan *yield biogasoline* maksimal.
2. Penelitian *catalytic cracking* CPO dengan memilih Zeolit USY sebagai katalis dengan menggunakan rasio 1:125 agar menghasilkan *yield biogasoline* dan viskositas yang optimal.
3. Diperlukan fraksinasi atau pemisahan ulang serta pengolahan lebih lanjut pada produk *catalytic cracking* sehingga dapat diaplikasikan secara tepat.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- Alamsyah, R., & Lubis, E. H. (2011). Esterifikasi-Transesterifikasi dan Karakterisasi Mutu Biodiesel Dari Biji Jarak Pagar (*Jatropha Curcas* Linn). *Jurnal Kimia dan Kemasan*, 33(1), 124-130
- Alam, P. P., Wayah, I., Nugraha, A., Ghazali, M., & Ratna Suminar, D. (2021). *PENGARUH PERBANDINGAN KATALIS ZSM-5 DAN ALUMINA TERHADAP KONVERSI MINYAK JELANTAH MENJADI BAHAN BAKAR NABATI HIDROKARBON*
- Auepattana-aumrung, C., Suriye, K., Jongsomjit, B., Panpranot, J., & Praserttham, P. (2020). Inhibition effect of Na⁺ form in ZSM-5 zeolite on hydrogen transfer reaction via 1-butene cracking. *Catalysis Today*, 358, 237–245
- Baskar, G., Kalavathy, G., Aiswarya, R., & Selvakumari, I. A. (2019). Advances in bio-oil extraction from nonedible oil seeds and algal biomass. In *Advances in eco-fuels for a sustainable environment* (pp. 187-210). Woodhead Publishing
- Bernard, P., Stelmachowski, P., Broś, P., Makowski, W., & Kotarba, A. (2021). Demonstration of the influence of specific surface area on reaction rate in heterogeneous catalysis. *Journal of chemical education*, 98(3), 935-940
- Budiawan, R. Z., Fatra, W., & Helwani, Z. (2013). Off Grade Palm Oil as A Renewable Raw Material for Biodiesel Production by Two-Step Processes. In *ChESA Conference* (Vol. 7, pp. 40-50).
- Corma, A., & Martínez, A. (2005). Zeolites in refining and petrochemistry. *Studies in Surface Science and Catalysis*, 157, 337–366
- Crynes, B. L., Albright, L. F., & Tan, L.-F. (2003). Thermal Cracking. *Encyclopedia of Physical Science and Technology*, 613–626
- Djebaili, K., Mekhalif, Z., Boumaza, A., & Djelloul, A. X. P. S. (2015). XPS, FTIR, EDX, and XRD analysis of Al₂O₃ scales grown on PM2000 alloy. *Journal of spectroscopy*, 2015
- Feng, Y., Cooksey, M. A., & Schwarz, M. P. (2016). CFD modelling of alumina mixing in aluminium reduction cells. *Light Metals 2011*, 543-548
- Gandhi, D., Bandyopadhyay, R., & Soni, B. (2021). Zeolite Y from kaolin clay of Kachchh, India: Synthesis, characterization and catalytic application. *Journal of the Indian Chemical Society*, 98(12), 100246
- Habibi, N., & Dabbagh, H. A. (2019). Mechanism study of the conversion of esters to high-octane-number aromatics over HZSM-5. *Applied Organometallic Chemistry*, 33(3).
- Haryani, N., & Harahap, H. (2020, May). Biogasoline production via catalytic cracking process using zeolite and zeolite catalyst modified with metals: a review. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 801, No. 1, p. 012051). IOP Publishing
- Hassan, S. N., Sani, Y. M., Aziz, A. A., Sulaiman, N. M. N., & Daud, W. M. A. W. (2015). Biogasoline: An out-of-the-box solution to the food-for-fuel and land-use competitions. *Energy Conversion and Management*, 89, 349-367
- Helwani, Z., Zahrina, I., Tanius, N., Fitri, D. A., Tantino, P., Muslem, M., ... & Idroes, R. (2021). Polyunsaturated fatty acid fractionation from crude palm oil (CPO). *Processes*, 9(12), 2183.
- Herawaty, N., Rifdah, R., & Pratama, M. A. (2022). Pembuatan Biogasoline Dari Limbah Ampas Tebu Dan Eceng Gondok Dengan Proses Thermal Catalytic. *Jurnal Distilasi*, 2(2), 15-22.
- Hu, X., & Gholizadeh, M. (2019). Biomass pyrolysis: A review of the process development and challenges from initial researches up to the commercialisation stage. *Journal of Energy Chemistry*, 39, 109-143

- Ibrahim, H. A. H. (2020). Introductory chapter: pyrolysis. *Recent Advances in Pyrolysis, 1*. Indonesia Energy Outlook 2019
- Ishihara, A. (2019). Preparation and reactivity of hierarchical catalysts in catalytic cracking. *Fuel Processing Technology, 194*(February), 106116. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2019.05.039>
- I.Onggo. 2006, "Peningkatan Angka Oktana Melalui Reaksi Hidrolisis Senyawa Ester Dalam Biogasoline Minyak Sawit Dengan Katalis H-Zeolit". Skripsi Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Depok
- Japir, A. A. W., Salimon, J., Derawi, D., Bahadi, M., Al-Shuja'a, S., & Yusop, M. R. (2017). Physicochemical characteristics of high free fatty acid crude palm oil. *Ocl, 24*(5), D506
- Ji, Y., Yang, H., & Yan, W. (2017). Strategies to enhance the catalytic performance of ZSM-5 zeolite in hydrocarbon cracking: A review. *Catalysts, 7*(12), 367.
- Kassargy, C., Awad, S., Burnens, G., Upreti, G., Kahine, K., & Tazerout, M. (2019). Study of the effects of regeneration of USY zeolite on the catalytic cracking of polyethylene. *Applied Catalysis B: Environmental, 244*, 704-708
- Kennes, K., Demaret, C., Van Loon, J., Kubarev, A. V., Fleury, G., Sliwa, M., ... & Roeffaers, M. B. (2017). Assessing Inter and Intra-particle Heterogeneity in Alumina-poor H-ZSM-5 Zeolites. *ChemCatChem, 9*(18), 3440-3445
- Kim, S. D., Baek, S. C., Lee, Y. J., Jun, K. W., Kim, M. J., & Yoo, I. S. (2006). Effect of γ -alumina content on catalytic performance of modified ZSM-5 for dehydration of crude methanol to dimethyl ether. *Applied Catalysis A: General, 309*(1), 139-143
- Li, L., Ding, Z., Li, K., Xu, J., Liu, F., Liu, S., ... & Ge, X. (2016). Liquid hydrocarbon fuels from catalytic cracking of waste cooking oils using ultrastable zeolite USY as catalyst. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 117*, 268-272
- Lubis, R. E., & Agus Widanarko, S. P. (2011). *Buku pintar kelapa sawit*. AgroMedia.Jakarta Selatan
- Luthfi, M., Setiyo, M., & Munahar, S. (2018). Uji Komposisi Bahan Bakar dan Emisi Pembakaran Peralite dan Premium. *Jurnal Teknologi, 10*(1), 67-72
- Maruli Pardamean, Q. I. A. (2012). Sukses membuka kebun dan pabrik kelapa sawit. Penebar Swadaya
- Mba, O. I., Dumont, M. J., & Ngadi, M. (2015). Palm oil: Processing, characterization and utilization in the food industry—A review. *Food bioscience, 10*, 26-41
- Melero, J. A., Iglesias, J., & Garcia, A. (2012). Biomass as renewable feedstock in standard refinery units. Feasibility, opportunities and challenges. *Energy & environmental science, 5*(6), 7393-7420
- Negm, N. A., Rabie, A. M., & Mohammed, E. A. (2018). Molecular interaction of heterogeneous catalyst in catalytic cracking process of vegetable oils: chromatographic and biofuel performance investigation. *Applied Catalysis B: Environmental, 239*, 36-45
- Nindita, V. (2015). Studi Berbagai Metode Pembuatan BBM dari Sampah Plastik Jenis LDPE dan PVC dengan Metode Thermal & Catalytic Cracking (Ni-Cr/Zeolit). *TEKNIS, 10*(3), 137-144
- Nugrahaningtyas, K. D., Heraldly, E., Rachmadani, Hidayat, Y., & Kartini, I. (2021). Effect of synthesis and activation methods on the character of CoMo/ultrastable Y-zeolite catalysts. *Open Chemistry, 19*(1), 745-754
- Nurjannah, N., Roesyadi, A., & Prajitno, D. H. (2010). Konversi Katalitik Minyak Sawit Untuk Menghasilkan Biofuel Menggunakan Silika Alumina Dan HZSM-5 Sintesis. *Reaktor, 13*(1), 37-43

- Paranjpe, K. Y. (2017). Alpha, Beta and Gamma alumina as catalyst. *Pharma Innov, J*, 6(11), 236-238
- Park, Y.S., Kim, H.S., Shun, D. et al. Attrition characteristics of alumina catalyst for fluidized bed incinerator. *Korean J. Chem. Eng.* 17, 284–287 (2000)
- Pham, X. N., Nguyen, H. T., Pham, T. N., Nguyen, T. T. B., Nguyen, M. B., Tran, V. T. T., & Doan, H. V. (2020). Green synthesis of H-ZSM-5 zeolite-anchored O-doped g-C₃N₄ for photodegradation of Reactive Red 195 (RR 195) under solar light. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 114, 91-102
- Prashanth, P. A., Raveendra, R. S., Hari Krishna, R., Ananda, S., Bhagya, N. P., Nagabhushana, B. M., ... & Raja Naika, H. (2015). Synthesis, characterizations, antibacterial and photoluminescence studies of solution combustion-derived α -Al₂O₃ nanoparticles. *Journal of Asian Ceramic Societies*, 3(3), 345-351
- Purnami, P., Wardana, I. N. G., & Veronika, K. (2015). Pengaruh Penggunaan Katalis Terhadap Laju Dan Efisiensi Pembentukan Hidrogen. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 6(1), 51-59
- Rahardja, I. B., Sukarman, S., & Ramadhan, A. I. (2019). Analisis Kalori Biodiesel Crude Palm Oil (CPO) dengan Katalis Abu Tandan Kosong Kelapa Sawit (ATKKS). *Prosiding Semnastek*.
- Rahayu, P. E., Priatmoko, S., & Kadarwati, S. (2013). Konversi minyak sawit menjadi biogasoline menggunakan katalis Ni/zeolit alam. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 2(2).
- Rahimi, N., & Karimzadeh, R. (2011). Catalytic cracking of hydrocarbons over modified ZSM-5 zeolites to produce light olefins: A review. *Applied Catalysis A: General*, 398(1-2), 1-17
- Rahmiyati, L., Arita, S., Komariyah, L. N., Nazaruddin, N., & Alfrenando, O. (2019b). Synthesis and Characterization of ZSM-5 Catalyst for Catalytic Pyrolysis of Empty Fruit Bunches. *Indonesia Journal of Fundamental and Applied Chemistry*, 4(2), 72–76
- Ridhuan, K., Irawan, D., & Inthifawzi, R. (2019). Proses pembakaran pyrolysis dengan jenis biomassa dan karakteristik asap cair yang dihasilkan. *Turbo: Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, 8(1), 69-78
- Ritonga, M. Y., & Putra, A. (2015). Pembuatan biodiesel dari RBDPO dengan katalis cangkang kepah. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 4(2), 20-26
- Roesyadi, A., Hariprajitno, D., Nurjannah, N., & Santi, D. S. (2013). HZSM-5 catalyst for cracking palm oil to gasoline: A comparative study with and without impregnation. *Bulletin of Chemical Reaction Engineering & Catalysis*, 7(3), 185
- Ross, J. R. H. (2019). Catalysis in the Production of Energy Carriers From Oil. *Contemporary Catalysis*, 233–249.
- Rozita, Y., Brydson, R., Comyn, T. P., Scott, A. J., Hammond, C., Brown, A., ... & Smith, R. I. (2013). A Study of Commercial Nanoparticulate γ -Al₂O₃ Catalyst Supports. *ChemCatChem*, 5(9), 2695-2706
- Sabarish, R., & Unnikrishnan, G. (2020). A novel anionic surfactant as template for the development of hierarchical ZSM-5 zeolite and its catalytic performance. *Journal of Porous Materials*, 27, 691-700
- Salavati-Niasari, M., & Mohandes, F. (2011). From zeolite to host-guest nanocomposite materials. *Advances in Diverse Industrial Applications of Nanocomposites*
- Santos, M. C., Lourenço, R. M., de Abreu, D. H., Pereira, A. M., de Castro, D. A. R., Pereira, M. S., ... & Machado, N. T. (2017). Gasoline-like hydrocarbons by catalytic cracking of soap phase residue of neutralization process of palm oil (*Elaeis guineensis* Jacq). *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 71, 106-119

- Sayekti, A. I. H. S. E., & Sianipar, A. (2013). Optimasi Reaksi Perengkahan Minyak Jelantah Menggunakan Katalis Zeolit/Nikel. *Jurnal Kimia Khatulistiwa*, 2(1).
- Sholeha, N. A. (2017). Karakteristik Pori pada Zeolit: Modifikasi dan Aplikasi. Institut Teknologi Sepuluh November. Surabaya.
- Sidheshware, R. K., Ganesan, S., & Bhojwani, V. (2022). Experimental investigation on the viscosity and specific volume of gasoline fuel under the magnetisation process. *International Journal of Ambient Energy*, 43(1), 486-491.
- Sihombing, J. L., Jasmidi, & Pulungan, A. N. (2014). Konversi Minyak Dedak Padi Menjadi Biogasoline Melalui Proses Catalytic Cracking (Via Esterifikasi Dan Transesterifikasi). *Jurnal Penelitian Sainika*, 14(2), 121-131
- Sihombing, J. L., Pulungan, A. N., Sari, D. P., Zubir, M., & Selly, R. (2017). Conversion of avocado seed oil into liquid fuel fraction through catalytic cracking process using Cuo/ZAA catalyst. *Jurnal Pendidikan Kimia*, 9(2), 304-310
- Silalahi, D., Supeno, M., & Taufik, M. (2021). Conversion of Palm Oil (CPO) into Fuel Biogasoline through Thermal Cracking Using a Catalyst Based Na-Bentonite and Limestone of Soil Limestone NTT. *International Journal of Biological, Physical and Chemical Studies*, 3(2), 01-15
- Subagjo, Subagjo. "Production of Y and Usy Zeolite for the Active Component of Cracking Catalyst." *Jurnal Zeolit Indonesia*, vol. 7, no. 1, 2008, pp. 35-41
- Trisunaryanti, W. (2010). Optimation of time and catalyst/feed ratio in catalytic cracking of waste plastics fraction to gasoline fraction using cr/natural zeolite catalyst. *Indonesian Journal of Chemistry*, 2(1), 30-40
- Trueba, M., & Trasatti, S. P. (2005). γ -Alumina as a support for catalysts: a review of fundamental aspects. *European journal of inorganic chemistry*, 2005(17), 3393-3403
- Ulfah, M., & Subagjo, S. (2012). Pengaruh Perbedaan Sifat Penyangga Alumina Terhadap Sifat Katalis Hydrotreating Berbasis Nikel-Molibdenum. *Reaktor*, 14(2), 151.
- Ulfiati, R., Dhaneswara, D., Harjanto, S., & Fatriansyah, J. F. (2022). Synthesis and Characterization ZSM-5 Based on Kaolin as a Catalyst for Catalytic Cracking of Heavy Distillate. *Synthesis*, 13(4)
- Wicakso, D. R. (2011). Sintesis biodiesel dari crude palm oil dengan katalis alumina hasil recovery limbah padat lumpur PDAM Intan Banjar. *INFO-TEKNIK*, 12(1), 21-30.
- Wijanarko, A., Mawardi, D. A., & Nasikin, M. (2006). Produksi biogasoline dari minyak sawit melalui reaksi perengkahan katalitik dengan katalis γ -alumina. *Makara Journal of Technology*, 10(2), 148496.
- Wiratmaja, I. G. (2010). Pengujian karakteristik fisika biogasoline sebagai bahan bakar alternatif pengganti bensin murni. *Jurnal Energi Dan Manufaktur*.
- Wu, L., Li, X., Yuan, Z., & Chen, Y. (2014). Fabrication and characterization of titanate nanotube supported ZSM-5 zeolite composite catalyst for ethanol dehydration to ethylene. *Bulletin of the Korean Chemical Society*, 35(2), 525-530
- Xie, Y., Kocaeffe, D., Kocaeffe, Y., Cheng, J., & Liu, W. (2016). The effect of novel synthetic methods and parameters control on morphology of nano-alumina particles. *Nanoscale research letters*, 11(1), 1-11
- Yao, Q., Liu, Y., Zhang, D., Sun, M., & Ma, X. (2021). Catalytic conversion of $a \geq 200^\circ$ C fraction separated from low-temperature coal tar into light aromatic hydrocarbons. *ACS omega*, 6(5), 4062-4073
- Yolanda, Tria (2018) *Catalytic Cracking Minyak Jarak Pagar Menggunakan Katalis Zeolit Alam*. Undergraduate thesis, Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah Jakarta.

- Zarezadeh-Mehrizi, M., Afshar Ebrahimi, A., & Rahimi, A. (2019). Comparison of γ and δ -Al₂O₃ supported CoMo catalysts in the ydrodesulfurization of straight-run gas oil. *Scientia Iranica*, 26(3), 1555-1565.
- Zhu, L., Chen, J., Liu, Y., Geng, R., & Yu, J. (2012). Experimental analysis of the evaporation process for gasoline. *Journal of Loss prevention in the process Industries*, 25(6), 916-922.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



LAPORAN HASIL PENGUJIAN
No : 156/LHP/LEL-ITS/IV/2023

Nama Pemilik : Haris Al Hamdi
Alamat Pemilik : Sukolilo Rejeki 2 No. 27
Nama Contoh : **Biogasoline** Tanggal Terima : 12 April 2023
Deskripsi Contoh : Bentuk : ~~Padat~~/Cair/Gas Tanggal Pengujian : 18 April 2023
Volume : - Tanggal Selesai :
Kemasan : Sample Cup Pengujian : 18 April 2023
Kode Contoh : **EL - 241** Jumlah Contoh : 4

Menyatakan bahwa contoh tersebut di atas telah diuji di Laboratorium Energi dan Lingkungan DRPM ITS.

Hasil Pengujian:

| No. | Nama Contoh | Jenis Uji | Hasil | Satuan | Metode Pengujian |
|-----|-------------|---|-------|--------|------------------|
| 1. | A3 | <i>Kinematic Viscosity at 40 °C</i> | 1,86 | cSt | ASTM D445 |
| 2. | A2 | | 4,16 | | |
| 3. | A1 | | 5,51 | | |
| 4. | A4 | | 5,56 | | |

Range Pengujian Angka Cetane antara 20-100, jika hasil pembacaan menunjukkan angka 0,0 ; kemungkinan Nilai Cetane nya berada diluar Range Pengujian.

Suhu : 25,0°C
Humidity : 52 %
Analisis : VYA
Sampling : dilakukan oleh pelanggan

Catatan:

1. Hasil pengujian hanya berlaku untuk sampel yang diuji.
2. Laboratorium tidak bertanggung jawab atas kerugian pada pihak ke tiga.
3. Laporan hasil pengujian hanya boleh diperbanyak secara utuh.

Surabaya, 26 April 2023
Kepala Laboratorium
Energi dan Lingkungan

Dr. Afifah Rosyidah, S.Si., M.Si
NIP. 19730112 199802 2 001

Koordinator Teknis

Vita Yuliana, S.Si
NPP. 1990201822404



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
DIREKTORAT RISET DAN PENGABDIAN KEPADA MASYARAKAT
LABORATORIUM ENERGI DAN LINGKUNGAN
Jl. Teknik Kimia, Gedung Robotika Lt. 2, Kampus ITS Sukolilo Surabaya 60111
Telp. (031) 5951362; (031) 5994251-54; 081331078833
Website: <http://www.its.ac.id/drpm/beranda/fasilitas/lab-el>
Email: lab.energi.lingkungan.its@gmail.com



LAPORAN HASIL PENGUJIAN
No : 197/LHP/LEL-ITS/V/2023

Nama Pemilik : Haris Al Hamdi
Alamat Pemilik : Jl. Sukolilo Rejeki II
Nama Contoh : **Biogasoline** Tanggal Terima : 15 Mei 2023
Deskripsi Contoh : Bentuk : Padat/Cair/Gas Tanggal Pengujian : 15 Mei 2023
Volume : - Tanggal Selesai Pengujian : 15 Mei 2023
Kemasan : Botol Plastik Jumlah Contoh : 4
Kode Contoh : EL - 320

Menyatakan bahwa contoh tersebut di atas telah diuji di Laboratorium Energi dan Lingkungan DRPM ITS.

Hasil Pengujian:

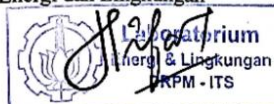
| No. | Nama Contoh | Jenis Uji | Hasil | Satuan | Metode Pengujian |
|-----|-------------|---|-------|--------|------------------|
| 1. | B1 | <i>Kinematic Viscosity at 40 °C</i> | 2,83 | cSt | ASTM D445 |
| 2. | B2 | | 4,00 | | |
| 3. | B3 | | 4,14 | | |
| 4. | B4 | | 4,44 | | |

Suhu : 25,0 °C
Humidity : 72 %
Analisis : VYA
Sampling : dilakukan oleh pelanggan

Catatan:

1. Hasil pengujian hanya berlaku untuk sampel yang diuji.
2. Laboratorium tidak bertanggung jawab atas kerugian pada pihak ke tiga.
3. Laporan hasil pengujian hanya boleh diperbanyak secara utuh.

Surabaya, 16 Mei 2023
Kepala Laboratorium
Energi dan Lingkungan



Dr. Afifah Rosyidah, S.Si., M.Si
NIP. 19730112 199802 2 001

Koordinator Teknis



Vita Yuliana, S.Si
NPP. 1990201822404

FR/LEL-ITS/7.8-01 Laporan Hasil Pengujian

Ter/Rev./TP: 3/1/01022021



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
DIREKTORAT RISET DAN PENGABDIAN KEPADA MASYARAKAT
LABORATORIUM ENERGI DAN LINGKUNGAN
Jl. Teknik Kimia, Gedung Robotika Lt. 2, Kampus ITS Sukolilo Surabaya 60111
Telp. (031) 5951362; (031) 5994251-54; 081331078833
Website: <http://www.its.ac.id/drpm/beranda/fasilitas/lab-el>
Email: lab.energi.lingkungan.its@gmail.com



LAPORAN HASIL PENGUJIAN
No : 222/LHP/LEL-ITS/V/2023

Nama Pemilik : Haris Al Hamdi
Alamat Pemilik : Jl. Sukolilo Rejeki II No. 27
Nama Contoh : **Biogasoline** Tanggal Terima : 22 Mei 2023
Deskripsi Contoh : Bentuk : Padat/Cair/Gas Tanggal Pengujian : 25 Mei 2023
Volume : - Tanggal Selesai Pengujian : 25 Mei 2023
Kemasan : Botol Plastik Jumlah Contoh : 4
Kode Contoh : **EL - 347**

Menyatakan bahwa contoh tersebut di atas telah diuji di Laboratorium Energi dan Lingkungan DRPM ITS.

Hasil Pengujian:

| No. | Nama Contoh | Jenis Uji | Hasil | Satuan | Metode Pengujian |
|-----|-------------|---|-------|--------|------------------|
| 1. | C1 | <i>Kinematic Viscosity at 40 °C</i> | 4,94 | cSt | ASTM D445 |
| 2. | C2 | | 5,21 | | |
| 3. | C3 | | 5,52 | | |
| 4. | C4 | | 6,43 | | |

Suhu : 24,0 °C
Humidity : 75 %
Analisis : VYA
Sampling : dilakukan oleh pelanggan

Catatan:

1. Hasil pengujian hanya berlaku untuk sampel yang diuji.
2. Laboratorium tidak bertanggung jawab atas kerugian pada pihak ke tiga.
3. Laporan hasil pengujian hanya boleh diperbanyak secara utuh.

Surabaya, 29 Mei 2023
Kepala Laboratorium
Energi dan Lingkungan



Dr. Afifah Rosyidah, S.St., M.Si
NIP. 19730112 199802 2 001

Koordinator Teknis

Vita Yuliana, S.Si
NPP. 1990201822404

FR/LEL-ITS/7.8-01 Laporan Hasil Pengujian

Ter/Rev./TP:3/1/01022021

Perhitungan *Yield Biogasoline*

Berdasarkan data pengujian GC-MS produk *biogasoline* diperoleh presentase fraksi bensin yang dapat digunakan untuk menghitung *yield biogasoline*. Berikut lampiran perhitungan *yield biogasoline*. Ukuran kristal D dihitung dengan menggunakan rumus *selectivity of gasoline* sebagai berikut

$$\text{Selectivity of gasoline (\%)} : \frac{\% \text{ gasoline (C5-C11)} \times m \text{ akhir}}{m \text{ awal} - m \text{ residu}} \times 100\%$$

Dengan :

% gasoline = fraksi gasoline C5-C11 (%)

m Akhir = massa produk

m Awal = massa CPO sebelum reaksi

m Residu = massa Residu setelah reaksi

$$\begin{aligned} \text{Selectivity of gasoline (\%)} &: \frac{23,17 \times 135,9}{356,7 - 162,2} \times 100\% \\ &= \frac{3.148,803}{194,5} \times 100\% = 16,35\% \end{aligned}$$

K = faktor bentuk kristal (0,9 – 1)

λ = panjang gelombang sinar x (0,15406 nm)

β = nilai dari *Full Width at Half Maximum* (FWHM (rad))

θ = sudut difraksi (derajat)

Tabel 1 Hasil Pengujian Viskositas Produk *Catalytic Cracking*

| Nama Sampel | Katalis | Rasio katalis:cpo | Nilai Oktan |
|-------------|--|-------------------|-------------|
| A4 | | 1:125 | 1.86 |
| A3 | γ -Al ₂ O ₃ | 1:100 | 4.16 |
| A2 | | 1:75 | 5.51 |
| A1 | | 1:50 | 5.56 |
| B4 | | 1:125 | 2.83 |
| B3 | HZSM-5 | 1:100 | 4.00 |
| B2 | | 1:75 | 4.10 |
| B1 | | 1:50 | 4.44 |
| C4 | | 1:125 | 4.94 |
| C3 | USY | 1:100 | 5.21 |
| C2 | | 1:75 | 5.52 |
| C1 | | 1:50 | 6.43 |

Tabel 2. Hasil perhitungan *yield* pada proses *catalytic cracking*

| Nama Sampel | Katalis | Rasio Katalis:CPO | Konversi <i>Yield</i> (%) | <i>Yield</i> Produk Cair (%) | <i>Yield</i> Coke (%) | <i>Yield</i> Gas (gr) |
|-------------|---------|-------------------|---------------------------|------------------------------|-----------------------|-----------------------|
| A4 | Alumina | 1:125 | 55,54 | 34.18 | 50.08 | 0.3 |
| A3 | | 1:100 | 54,53 | 38.10 | 44.47 | 0.5 |
| A2 | | 1:75 | 49,92 | 38.11 | 45.46 | 0.9 |
| A1 | | 1:50 | 38,40 | 26.77 | 61.63 | 1 |
| B4 | HZSM-5 | 1:125 | 61,92 | 29.05 | 38,08 | 0.8 |
| B3 | | 1:100 | 56,73 | 48.57 | 44,31 | 1 |
| B2 | | 1:75 | 55,69 | 40.09 | 43,27 | 1 |
| B1 | | 1:50 | 53,08 | 41.13 | 46,91 | 1.3 |
| C4 | USY | 1:125 | 62,21 | 44,43 | 37.79 | 1.5 |
| C3 | | 1:100 | 61,79 | 49.00 | 38.21 | 2.1 |
| C2 | | 1:75 | 60,40 | 39.51 | 39.60 | 2.4 |
| C1 | | 1:50 | 60,28 | 48.90 | 39.72 | 3.4 |

Tabel 3 Jadwal Kegiatan

| No | Kegiatan | Maret | | | | April | | | | Mei | | | | Juni | | | | |
|----|---------------------------------------|-------|---|---|---|-------|---|---|---|-----|---|---|---|------|---|---|---|--|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | |
| 1 | Studi Literatur | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | Penyusunan Proposal | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | Asistensi | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | Persiapan Alat dan Bahan | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | Pelaksanaan <i>Catalytic Cracking</i> | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | Pengujian FTIR | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8 | Pengujian GC | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9 | Pengujian Viskositas | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | Penyusunan Laporan Akhir | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Tabel 4 Fraksinasi Biogasoline

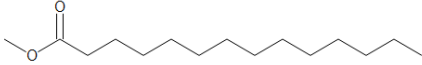
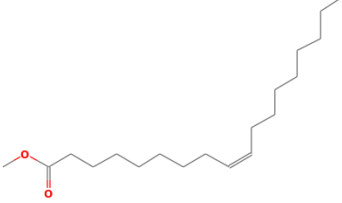
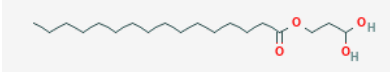
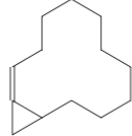
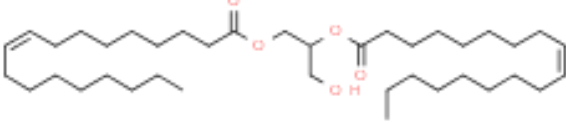
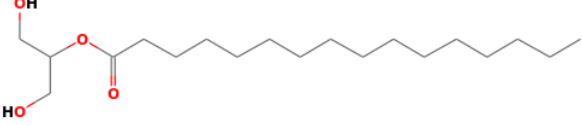
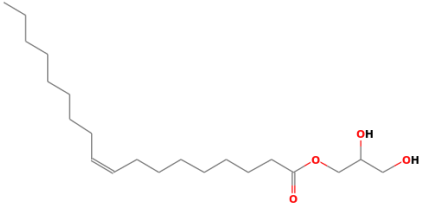
| Kode Sampel | Katalis | Peak | Senyawa | Formula | Area(%) |
|-------------|---------|------|---------------------|--|---------|
| A4 | Alumina | 15 | 2-Tetradecene | C ₁₄ H ₂₈ | 16.19 |
| | | 67 | n-Hexadecanoic acid | C ₁₆ H ₃₂ O ₂ | 11.41 |
| | | 16 | Tetradecane | C ₁₄ H ₃₀ | 10.8 |
| | | 25 | Pentadecane | C ₁₅ H ₃₂ | 7.04 |
| | | 6 | Nonanoic acid | C ₉ H ₁₈ O ₂ | 4.00 |
| | | 1 | Octanoic acid | C ₈ H ₁₆ O ₂ | 3.53 |
| | | 8 | Tridecane | C ₁₃ H ₂₈ | 2.25 |

| | | | | | |
|----|--------|----|---------------------|--|-------|
| A3 | | 47 | Heptadecane | C ₁₇ H ₃₆ | 2.05 |
| | | 2 | Dodecane | C ₁₂ H ₂₆ | 2.00 |
| | | 83 | 1-Docosene | C ₂₂ H ₄₄ | 1.89 |
| | | 58 | n-Hexadecanoic acid | C ₁₆ H ₃₂ O ₂ | 19.86 |
| | | 14 | n-Decanoic acid | C ₁₀ H ₂₀ O ₂ | 14.97 |
| | | 24 | Pentadecane | C ₁₅ H ₃₂ | 5.97 |
| | | 70 | 1-Docosene | C ₂₂ H ₄₄ | 4.69 |
| | | 62 | n-Hexadecanoic acid | C ₁₆ H ₃₂ O ₂ | 4.29 |
| | | 69 | Cyclotetracosane | C ₂₄ H ₄₈ | 3.55 |
| | | 16 | Tetradecane | C ₁₄ H ₃₀ | 3.00 |
| | | 6 | Nonanoic acid | C ₉ H ₁₈ O ₂ | 2.94 |
| | | 15 | 2-Tetradecene | C ₁₄ H ₂₈ | 2.73 |
| | | 1 | Octanoic Acid | C ₈ H ₁₆ O ₂ | 2.16 |
| A2 | | 43 | n-Hexadecanoic acid | C ₁₆ H ₃₂ O ₂ | 20.20 |
| | | 9 | n-Decanoic acid | C ₁₀ H ₂₀ O ₂ | 15.88 |
| | | 17 | Pentadecane | C ₁₅ H ₃₂ | 6.69 |
| | | 56 | Cyclotetracosane | C ₂₄ H ₄₈ | 5.57 |
| | | 55 | 1-Nonadecene | C ₁₉ H ₃₈ | 3.88 |
| | | 11 | Tetradecane | C ₁₄ H ₃₀ | 3.57 |
| | | 10 | 2-Tetradecene | C ₁₄ H ₂₈ | 3.13 |
| | | 5 | Nonanoic acid | C ₉ H ₁₈ O ₂ | 2.97 |
| | | 7 | Tridecane | C ₁₃ H ₂₈ | 2.39 |
| | | 1 | Octanoic Acid | C ₈ H ₁₆ O ₂ | 02.08 |
| A1 | | 70 | n-Hexadecanoic acid | C ₁₆ H ₃₂ O ₂ | 21.68 |
| | | 17 | 2-Tetradecene | C ₁₄ H ₂₈ | 6.84 |
| | | 19 | n-Decanoic acid | C ₁₀ H ₂₀ O ₂ | 6.71 |
| | | 18 | Tetradecane | C ₁₄ H ₃₀ | 5.47 |
| | | 27 | Pentadecane | C ₁₅ H ₃₂ | 5.39 |
| | | 8 | 1-Tridecene | C ₁₃ H ₂₆ | 4.46 |
| | | 1 | Octanoic Acid | C ₈ H ₁₆ O ₂ | 3.32 |
| | | 56 | 3-Octadecene, | C ₁₈ H ₃₆ | 3.14 |
| | | 88 | Cyclotetracosane | C ₂₄ H ₄₈ | 2.23 |
| | | 87 | Cyclotetracosane | C ₂₄ H ₄₈ | 02.04 |
| B4 | HZSM-5 | 72 | n-Hexadecanoic acid | C ₁₆ H ₃₂ O ₂ | 26.64 |
| | | 18 | 2-Tetradecene, (E)- | C ₁₄ H ₂₈ | 5.20 |
| | | 29 | Pentadecane | C ₁₅ H ₃₂ | 4.42 |
| | | 8 | 1-Tridecene | C ₁₃ H ₂₆ | 3.35 |
| | | 19 | Tetradecane | C ₁₄ H ₃₀ | 3.03 |
| | | 21 | n-Decanoic acid | C ₁₀ H ₂₀ O ₂ | 2.92 |
| | | 90 | Cyclotetracosane | C ₂₄ H ₄₈ | 2.86 |
| | | 78 | 9-Octadecenoic acid | C ₁₈ H ₃₄ O ₂ | 2.33 |


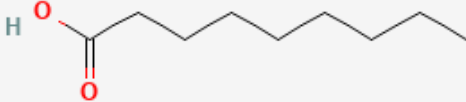
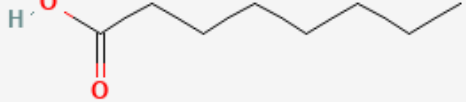
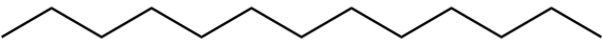

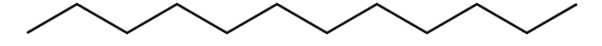

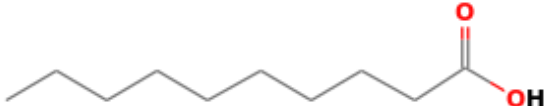
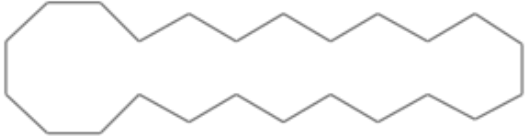


| | | | | | |
|----|-------------|----|---------------------------------------|--|-------|
| B3 | | 89 | Cyclotetracosane | C ₂₄ H ₄₈ | 2.30 |
| | | 75 | 9-Nonadecene | C ₁₉ H ₃₈ | 2.15 |
| | | 67 | n-Hexadecanoic acid | C ₁₆ H ₃₂ O ₂ | 22.50 |
| | | 15 | n-Decanoic acid | C ₁₀ H ₂₀ O ₂ | 12.88 |
| | | 73 | Hexadecanedioic acid | C ₁₆ H ₃₀ O ₄ | 4.46 |
| | | 80 | 1-Docosene | C ₂₂ H ₄₄ | 4.09 |
| | | 79 | Cyclotetracosane | C ₂₄ H ₄₈ | 3.56 |
| | | 16 | Tetradecane | C ₁₄ H ₃₀ | 2.61 |
| | | 7 | Nonanoic acid | C ₉ H ₁₈ O ₂ | 2.40 |
| | | 1 | Octanoic Acid | C ₈ H ₁₆ O ₂ | 1.93 |
| | | 9 | Tridecane | C ₁₃ H ₂₈ | 1.86 |
| | | 70 | Acetic acid, chloro-, hexadecyl ester | C ₁₈ H ₃₅ ClO ₂ | 1.81 |
| B2 | | 72 | n-Hexadecanoic acid | C ₁₆ H ₃₂ O ₂ | 16.20 |
| | | 73 | n-Hexadecanoic acid | C ₁₆ H ₃₂ O ₂ | 9.44 |
| | | 18 | 2-Tetradecene, (E)- | C ₁₄ H ₂₈ | 5.96 |
| | | 19 | Tetradecane | C ₁₄ H ₃₀ | 5.15 |
| | | 29 | Pentadecane | C ₁₅ H ₃₂ | 4.63 |
| | | 92 | Cyclotetracosane | C ₂₄ H ₄₈ | 3.03 |
| | | 7 | Nonanoic acid | C ₉ H ₁₈ O ₂ | 2.44 |
| | | 91 | Cyclotetracosane | C ₂₄ H ₄₈ | 2.44 |
| | | 78 | Oleic Acid | C ₁₈ H ₃₄ O ₂ | 2.30 |
| | | 57 | Tetradecanoic acid | C ₁₄ H ₂₈ O ₂ | 2.05 |
| B1 | | 74 | n-Hexadecanoic acid | C ₁₆ H ₃₂ O ₂ | 24.29 |
| | | 18 | 2-Tetradecene, (E)- | C ₁₄ H ₂₈ | 6.39 |
| | | 19 | Tetradecane | C ₁₄ H ₃₀ | 4.87 |
| | | 94 | Cyclotetracosane | C ₂₄ H ₄₈ | 2.61 |
| | | 95 | Cyclotetracosane | C ₂₄ H ₄₈ | 2.56 |
| | | 7 | Nonanoic acid | C ₉ H ₁₈ O ₂ | 2.51 |
| | | 88 | Hexadecanoic acid | C ₁₆ H ₃₂ O ₂ | 2.32 |
| | | 1 | Octanoic acid | C ₈ H ₁₆ O ₂ | 2.06 |
| | | 59 | Tetradecanoic acid | C ₁₄ H ₂₈ O ₂ | 2.06 |
| | | 81 | Oleic Acid | C ₁₈ H ₃₄ O ₂ | 2.06 |
| C4 | Zeolite-USY | 72 | n-Hexadecanoic acid | C ₁₆ H ₃₂ O ₂ | 24.42 |
| | | 15 | n-Decanoic acid | C ₁₀ H ₂₀ O ₂ | 9.79 |
| | | 26 | Pentadecane | C ₁₅ H ₃₂ | 06.06 |
| | | 16 | Tetradecane | C ₁₄ H ₃₀ | 3.29 |
| | | 90 | 1-Nonadecene | C ₁₉ H ₃₈ | 3.10 |
| | | 6 | Nonanoic acid | C ₉ H ₁₈ O ₂ | 2.89 |
| | | 8 | Tridecane | C ₁₃ H ₂₈ | 2.40 |
| | | 2 | Dodecane | C ₁₂ H ₂₆ | 2.24 |

| | | | | |
|----|----|-------------------------|--|-------|
| C3 | 1 | Octanoic acid | C ₈ H ₁₆ O ₂ | 1.99 |
| | 47 | Heptadecane | C ₁₇ H ₃₆ | 1.96 |
| | 70 | n-Hexadecanoic acid | C ₁₆ H ₃₂ O ₂ | 26.21 |
| | 15 | n-Decanoic acid | C ₁₀ H ₂₀ O ₂ | 10.14 |
| | 84 | Cyclotetracosane | C ₂₄ H ₄₈ | 5.52 |
| | 26 | Pentadecane | C ₁₅ H ₃₂ | 4.77 |
| | 83 | Cyclotetracosane | C ₂₄ H ₄₈ | 3.62 |
| | 73 | Oleic Acid | C ₁₈ H ₃₄ O ₂ | 3.53 |
| | 6 | Nonanoic acid | C ₉ H ₁₈ O ₂ | 2.46 |
| | 17 | Tetradecane | C ₁₄ H ₃₀ | 2.24 |
| | 1 | Octanoic acid | C ₈ H ₁₆ O ₂ | 1.82 |
| | 16 | 2-Tetradecene | C ₁₄ H ₂₈ | 1.80 |
| C2 | 75 | n-Hexadecanoic acid | C ₁₆ H ₃₂ O ₂ | 25.82 |
| | 17 | 2-Tetradecene, (E)- | C ₁₄ H ₂₈ | 8.80 |
| | 95 | Cyclotetracosane | C ₂₄ H ₄₈ | 3.88 |
| | 28 | Pentadecane | C ₁₅ H ₃₂ | 3.61 |
| | 94 | Cyclotetracosane | C ₂₄ H ₄₈ | 2.95 |
| | 88 | 3-Ethyl-2-methoxyphenol | C ₉ H ₁₂ O ₂ | 2.59 |
| | 82 | Oleic Acid | C ₁₈ H ₃₄ O ₂ | 2.24 |
| | 80 | 10-Heneicosene (c,t) | C ₂₁ H ₄₂ | 2.21 |
| | 7 | Nonanoic acid | C ₉ H ₁₈ O ₂ | 1.89 |
| | 18 | Tetradecane | C ₁₄ H ₃₀ | 1.79 |
| C1 | 73 | n-Hexadecanoic acid | C ₁₆ H ₃₂ O ₂ | 24.29 |
| | 16 | n-Decanoic acid | C ₁₀ H ₂₀ O ₂ | 7.98 |
| | 28 | Pentadecane | C ₁₅ H ₃₂ | 5.07 |
| | 88 | 3-Ethyl-2-methoxyphenol | C ₉ H ₁₂ O ₂ | 4.14 |
| | 93 | 1-Nonadecene | C ₁₉ H ₃₈ | 3.59 |
| | 92 | Cyclotetracosane | C ₂₄ H ₄₈ | 2.83 |
| | 18 | Tetradecane | C ₁₄ H ₃₀ | 2.69 |
| | 7 | Nonanoic acid | C ₉ H ₁₈ O ₂ | 2.46 |
| | 17 | 2-Tetradecene, (E)- | C ₁₄ H ₂₈ | 1.96 |
| | 9 | Tridecane | C ₁₃ H ₂₈ | 1.93 |

Tabel 5 Struktur Kimia CPO

| Nama Senyawa | Struktur Kimia |
|---|--|
| Tetradecanoic acid, methyl ester (CAS) |  |
| Octadecenoic acid, methyl ester (CAS) |  |
| Hexadecenoic acid, 2-hydroxy-1,3-propanediyl ester (CAS) |  |
| Bicyclo[10.1.0]tridec-1-ene |  |
| DI-(9-OCTADECENOYL)-GLYCEROL |  |
| Hexadecenoic acid, 2-hydroxy-1-(hydroxymethyl)ethyl ester (CAS) |  |
| 9-Octadecenoic acid (Z)-, 2,3-dihydroxypropil ester (CAS) |  |

Tabel 6 Struktur Kimia Produk Biogasoline

| Nama Senyawa | Struktur Kimia |
|------------------|--|
| Pentadecane |  |
| Nonanoic acid |  |
| Octanoic acid |  |
| Tridecane |  |
| Heptadecane |  |
| Dodecane |  |
| 1-Tridecene |  |
| n-Decanoic acid |  |
| Cyclotetracosane |  |
| 1-Nonadecene |  |
| 3-Octadecene |  |

UCAPAN TERIMAKASIH

Pada pengerjaan dan penyusunan laporan tugas akhir ini, penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, laporan ini tidak dapat terselesaikan dengan baik. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada pihak-pihak yang telah membantu, antara lain:

1. Allah SWT yang senantiasa memberikan berkat, rahmat, karunia, dan pertolongan-Nya kepada penulis.
2. Ibu, Ayah, dan kakak-kakak penulis yang selalu memanjatkan doa agar penulis dimudahkan dalam penyusunan Laporan Tugas Akhir ini.
3. Ibu Widyastuti dan Pak Sigit selaku dosen pembimbing penulis, dan Mbak Liyana selaku mentor yang telah memberikan bimbingan dan motivasi selama penulis mengerjakan tugas akhir ini
4. Farhan, Qotib, Kevin, Adrian, Gama, Arda, dan Johan sebagai partner penulis dalam pengerjaan tugas akhir.
5. Keluarga besar Workshop Rekayasa Material dan Teknologi Pertahanan yang selalu membantu saat melakukan penelitian dalam tugas akhir ini.
6. Keluarga besar Rumtaf.qu, Masjid Al-Ikhlas SDR 1, dan Yayasan Manarul Ilmi selaku keluarga yang senantiasa mendukung penulis dalam mengajarkan betapa indahnya hidup Ketika dekat dengan Al-Qur'an.
7. Teman-teman MT21 yang selalu menjadi keluarga hangat selama berkuliah di DTMM ITS.
8. Seluruh pihak yang telah ambil bagian dalam kehidupan penulis hingga bisa sampai pada titik ini.

Sekali lagi penulis ucapkan banyak terima kasih dan juga ingin memohon maaf jika penulis melakukan kesalahan selama berkuliah di DTMM ITS. Semoga kebaikan yang telah kalian berikan dibalas berlipat ganda oleh Allah SWT. Akhir kata, semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat untuk pengembangan penelitian lebih lanjut dan siapapun yang membutuhkan di masa mendatang.

Surabaya, 3 Juli 2023
Penulis

Haris Al Hamdi

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BIODATA PENULIS



Penulis bernama Haris Al Hamdi lahir pada tanggal 14 November 2000 di Tuban, Jawa Timur. Penulis menempuh pendidikan formal di SDN Sumurgung I Tuban, SMP Negeri 3 Tuban, SMA Negeri 2 Tuban dan melanjutkan studi Strata-1 (S1) di Departemen Teknik Material dan Metalurgi FT-IRS ITS melalui jalur SNMPTN pada tahun 2019. Selama berkuliah penulis juga aktif dalam kegiatan non akademik seperti menjadi *Operation and Finance Manager* Antasena ITS Team, Relawan Yayasan Manarul Ilmi ITS, dan Pemandu LKMM ITS. Selain itu penulis juga aktif dalam organisasi seperti, Kepala Departemen Keilmuan LKKI Ash-Haabul Kahfi 2022. Penulis juga telah melakukan kerja praktik di PT INKA (Persero), Madiun selama 30 hari di Divisi *Quality Control*. Selama menempuh perkuliahan penulis mendapatkan pendanaan pada kompetisi Program Kreativitas Mahasiswa (PKM) untuk kategori PKM Karsa Cipta tahun 2021. Untuk menyelesaikan studi S1, penulis melakukan penelitian dalam bidang Material Inovatif dengan judul tugas akhir “Analisis Pengaruh Rasio Katalis:CPO dan Jenis Katalis (γ -AL₂O₃, HZSM-5, ZEOLIT USY) Pada Proses *Catalytic Cracking* CPO Terhadap *Yield* dan Viskositas *Biogasoline*”. Penulis dapat dihubungi melalui alamat email hralhamdi@gmail.com dan nomor telepon +62895630739336.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)