



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**SINTESIS *RENEWABLE DIESEL* MELALUI PERENNGKAHAN  
KATALITIK TERMAL MINYAK JARAK KEPYAR MENGGUNAKAN  
KATALIS MgO**

**SKRIPSI**

**MUHAMMAD FARHAN AFLAHUL MUKMIN  
1806199796**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA  
DEPOK  
JUNI 2022**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**SINTESIS *RENEWABLE DIESEL* MELALUI PERENNGKAHAN  
KATALITIK TERMAL MINYAK JARAK KEPYAR MENGGUNAKAN  
KATALIS MgO**

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana**

**MUHAMMAD FARHAN AFLAHUL MUKMIN**

**1806199796**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA  
DEPOK  
JUNI 2022**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri, dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Muhammad Farhan Aflahul Mukmin

NPM : 1806199796

Tanda Tangan :



Tanggal : 24 JUNI 2022

**LEMBAR PENGESAHAN**

**SKRIPSI**

**SINTESIS *RENEWABLE DIESEL* MELALUI PERENNGKAHAN  
KATALITIK TERMAL MINYAK JARAK KEPYAR MENGGUNAKAN  
KATALIS MgO**

Oleh:

**Muhammad Farhan Aflahul Mukmin**

**1806199796**

Dibuat untuk melengkapi sebagian prasyarat menjadi Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia dan disetujui untuk diajukan dalam sidang skripsi.

Depok, 17 Juni 2022

Menyetujui,

Dosen Pembimbing 1

Dosen Pembimbing 2



**Dr. Bambang Heru Susanto, S.T., M.T.**

NIP. 197005271997021001



**Dr. Adi Riyadhi, M.Si.**

NIP. 197806212009101003

## HALAMAN PENGESAHAN

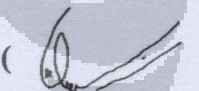
Skripsi ini diajukan oleh:

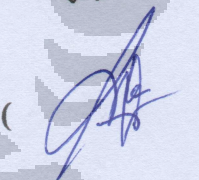
Nama : Muhammad Farhan Aflahul Mukmin  
NPM : 1806199796  
Program Studi : Teknik Kimia  
Judul : Sintesis *Renewable Diesel* melalui Perengkahan Katalitik Termal Minyak Jarak Kepyar menggunakan Katalis MgO

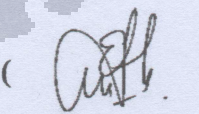
Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian dari persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing 1: Dr. Bambang Heru Susanto, S.T., M.T. (  )

Pembimbing 2: Dr. Adi Riyadhi, M.Si. (  )

Penguji 1 : Eny Kusriani, Ph.D. (  )

Penguji 2 : Elsa Anisa Krisanti, Ph.D. (  )

Ditetapkan di : Departemen Teknik Kimia Universitas Indonesia, Depok

Tanggal : 29 Juni 2022

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI  
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

---

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Muhammad Farhan Aflahul Mukmin

NPM : 1806199796

Program Studi : Teknik Kimia

Fakultas : Teknik

Jenis Karya : Skripsi

Demi mengembangkan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Nonesklusif** (*Non-exclusive Royalty-Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

**SINTESIS *RENEWABLE DIESEL* MELALUI PERENKAHAN KATALITIK  
TERMAL MINYAK JARAK KEPYAR MENGGUNAKAN KATALIS MgO**

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Nonesklusif ini, Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Universitas Indonesia, Depok

Pada tanggal : 24 Juni 2022

Yang menyatakan,



(Muhamamd Farhan Aflahul Mukmin)

## ABSTRAK

**Nama** : Muhammad Farhan Aflahul Mukmin  
**NPM** : 1806199796  
**Program Studi** : Teknik Kimia  
**Judul Penelitian** : Sintesis *Renewable Diesel* melalui Perengkahan Katalitik Termal Minyak Jarak Kepyar menggunakan Katalis MgO

Pada penelitian ini bertujuan untuk mensintesis *renewable diesel* dari minyak jarak kepyar yang direaksikan melalui perengkahan katalitik termal dengan metode *indirect contact*, dan dilakukan beberapa variasi pengujian pada suhu operasi di 370 °C dan 400 °C, menguji penggunaan katalis MgO dengan variasi %berat katalis pada 2% dan 4%, dan dengan dialirkan atau tidaknya gas nitrogen pada reaksi. Hasil dari reaksi ini telah menghasilkan sampel dengan persentasi tertinggi pada nilai konversi sebesar 51,88% dan *yield* sebesar 63,14%. Hasil tersebut didapatkan pada kondisi operasi 400 °C, 2%berat katalis, dan tanpa menggunakan gas nitrogen. Dari segi karakteristik pun berhasil memenuhi standar SNI 8220:2017. Meskipun begitu, hasil sampel dari penelitian ini tidak dapat dianggap sebagai *renewable diesel* dikarenakan tidak terkandungnya fraksi rantai karbon C12 hingga C18. Walaupun demikian, ketidakberhasilan ini menghadirkan perspektif baru dalam produksi *renewable product* berupa senyawa *heptaldehyde* dan *undecylenic acid*, dengan *yield* sebesar 10,33% dan 30,56%, yang berguna bagi industri kosmetik, obat-obatan, dan parfum.

**Kata kunci:** katalis MgO, minyak jarak kepyar, perengkahan katalitik termal, *renewable product*

## ABSTRACT

**Name** : Muhammad Farhan Aflahul Mukmin  
**Student ID** : 1806199796  
**Major** : Chemical Engineering  
**Title** : Renewable Diesel Synthesis through Catalytic Thermal Cracking of Castor Oil using MgO Catalyst

This study aimed to synthesize renewable diesel product, through catalytic thermal cracking of castor oil using MgO catalyst in the process. The reaction was done with an indirect method and carried out with several variation testing of operating conditions, with an operating temperature of 370 °C dan 400 °C, the use of MgO catalyst in 2%wt and 4%wt, and also the use of nitrogen gas flow. The results of this study have produced the sample at operating conditions of 400 °C, 2%wt of MgO catalyst, and without the use of nitrogen gas flow, resulting in 51.88% conversion and 63.14% yield. By characteristics, it also met the quality standard of SNI 8220:2017. Unfortunately, the sample resulting from this reaction cannot be considered as renewable diesel since it does not contain C12 to C18 carbon fractions. However, this failure presents a new perspective on producing renewable products in the form of heptaldehyde and undecylenic acid, with 10.33% and 30.56% yield, which are useful in other chemical industries such as cosmetics, pharmaceuticals, and perfume.

**Keywords:** castor oil, catalytic thermal cracking, MgO catalyst, renewable product

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT karena atas berkat dan rahmat-Nya, penulis dapat menyelesaikan makalah skripsi ini dalam rangka memenuhi sebagian prasyarat menjadi Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Kimia Universitas Indonesia.

Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan berbagai pihak, laporan ini tidak mungkin bisa diselesaikan. Oleh karena itu, pada kesempatan ini saya ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Bambang Heru Susanto, S.T., M.T. dan Dr. Adi Riyadhi, M.Si selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, pikiran, dan kesabarannya dalam mengarahkan penulis dalam menyusun skripsi ini.
2. Bapak Dr. rer. nat. Ir. Yuswan Muharam M.T. selaku dosen pembimbing akademik dari penulis.
3. Orang tua, adik, dan seluruh keluarga penulis atas perhatian, pengertian, dukungan, dan kasih sayang yang telah diberikan hingga saat ini.
4. Seluruh teman-teman teknik kimia dan bioproses angkatan 2018.
5. Rekan-rekan penelitian Felix, Rafael, dan Yori.
6. Dan semua pihak yang namanya tidak bisa disebutkan satu persatu, yang telah membantu penulis dalam melaksanakan dalam penyusunan laporan.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan laporan ini masih terdapat banyak kekurangan. Oleh karena itu, penulis dengan hati terbuka akan menerima kritik dan saran yang bersifat membangun, demi perbaikan laporan ini. Akhir kata, penulis berharap semoga laporan skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua.

Depok, 24 Juni 2022

Penulis

## DAFTAR ISI

|                                                                      |      |
|----------------------------------------------------------------------|------|
| HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....                                 | iii  |
| LEMBAR PENGESAHAN .....                                              | iv   |
| HALAMAN PENGESAHAN .....                                             | v    |
| HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....                        | vi   |
| ABSTRAK.....                                                         | vii  |
| ABSTRACT.....                                                        | viii |
| KATA PENGANTAR.....                                                  | ix   |
| DAFTAR ISI.....                                                      | x    |
| DAFTAR GAMBAR.....                                                   | xiii |
| DAFTAR TABEL.....                                                    | xiv  |
| BAB 1 PENDAHULUAN.....                                               | 1    |
| 1.1. Latar Belakang.....                                             | 1    |
| 1.2. Rumusan Masalah.....                                            | 3    |
| 1.3. Tujuan Penelitian.....                                          | 3    |
| 1.4. Batasan Masalah .....                                           | 3    |
| 1.5. Sistematika Penulisan .....                                     | 4    |
| BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....                                          | 5    |
| 2.1. Renewable Diesel .....                                          | 5    |
| 2.1.1. Pengertian dan Pengembangan <i>Renewable Diesel</i> .....     | 5    |
| 2.1.2. Kelebihan dan Kekurangan Renewable Diesel.....                | 6    |
| 2.1.3. Standar Karakteristik dan Kualitas Renewable Diesel .....     | 7    |
| 2.2. Proses Perengkahan .....                                        | 8    |
| 2.2.1. Perengkahan Katalitik Termal .....                            | 8    |
| 2.2.2. Skema dan Mekanisme Reaksi Perengkahan Katalitik Termal ..... | 9    |
| 2.3. Bahan Baku Minyak Non Pangan .....                              | 10   |
| 2.3.1. Minyak Jarak Kepyar .....                                     | 11   |
| 2.4. Katalis.....                                                    | 14   |
| 2.4.1. Katalis Homogen.....                                          | 14   |
| 2.4.2. Katalis Heterogen.....                                        | 14   |
| 2.4.3. Katalis MgO.....                                              | 15   |

|                                                                 |           |
|-----------------------------------------------------------------|-----------|
| 2.5. <i>State of the Art</i> .....                              | 16        |
| <b>BAB 3 METODE PENELITIAN</b> .....                            | <b>19</b> |
| 3.1. Tahapan Penelitian.....                                    | 19        |
| 3.1.1. Variabel Bebas .....                                     | 20        |
| 3.1.2. Variabel Terikat .....                                   | 20        |
| 3.1.3. Variabel Terkendali.....                                 | 20        |
| 3.2. Alat dan Bahan Penelitian .....                            | 20        |
| 3.2.1. Alat Uji Untuk Proses Perengkahan Katalitik Termal ..... | 20        |
| 3.2.2. Bahan Uji .....                                          | 21        |
| 3.3. Prosedur Penelitian .....                                  | 21        |
| 3.3.1. Preparasi Minyak Jarak Kepyar .....                      | 21        |
| 3.3.2. Prosedur Aktivasi Katalis.....                           | 21        |
| 3.3.3. Proses Perengkahan Katalitik Termal .....                | 21        |
| 3.3.4. Proses Distilasi .....                                   | 22        |
| 3.4. Prosedur Analisis .....                                    | 22        |
| 3.4.1. Analisis Viskositas .....                                | 22        |
| 3.4.2. Analisis Densitas.....                                   | 23        |
| 3.4.3. Analisis FTIR.....                                       | 24        |
| 3.4.4. Analisis GC – MS .....                                   | 24        |
| 3.4.5. Analisis Bilangan Asam.....                              | 25        |
| 3.4.6. Analisis Bilangan Iodin.....                             | 26        |
| 3.5. Pengolahan Data .....                                      | 26        |
| 3.5.1. Penamaan Hasil Uji Reaksi.....                           | 26        |
| 3.5.2. Hasil Uji GC – MS.....                                   | 27        |
| 3.5.3. Hasil Uji Reaksi Perengkahan Katalitik Termal .....      | 28        |
| 3.5.4. Hasil Perbandingan Karakteristik Renewable Diesel .....  | 28        |
| <b>BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....                         | <b>29</b> |
| 4.1. Hasil Uji Reaksi Perengkahan Katalitik Termal.....         | 29        |
| 4.2. Hasil Karakterisasi Sampel Produk .....                    | 33        |
| 4.2.1. Uji Densitas Sampel Produk .....                         | 33        |
| 4.2.2. Uji Viskositas Sampel Produk .....                       | 35        |
| 4.2.3. Uji Bilangan Iodin Sampel Produk .....                   | 37        |

|                                                                                      |           |
|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 4.2.4. Uji Bilangan Asam Sampel Produk .....                                         | 38        |
| 4.2.5. Perbandingan Karakteristik Produk dengan Solar Konvensional .....             | 39        |
| 4.3. Konversi dan <i>Yield</i> Hasil Produk.....                                     | 40        |
| 4.4. Identifikasi Kandungan Gugus Fungsi dan Komponen Senyawa .....                  | 42        |
| 4.4.1. Identifikasi Gugus Fungsi Sampel Produk.....                                  | 42        |
| 4.4.2. Identifikasi Komponen Senyawa pada Sampel Produk .....                        | 45        |
| 4.5. Perbandingan Reaksi Perengkahan Katalitik Termal dengan Variasi .....           | 48        |
| 4.5.1. Perengkahan Katalitik Minyak Jarak Kepyar dengan Gas Nitrogen ....            | 48        |
| 4.5.2. Perengkahan Katalitik Minyak Jarak Kepyar dengan Hidrolisis .....             | 49        |
| 4.5.3. Perengkahan Katalitik Lemak Sapi dengan Katalis MgO .....                     | 51        |
| 4.6. Analisis Perbandingan Seluruh Reaksi Perengkahan Katalitik Termal.....          | 53        |
| 4.7. Potensi <i>Renewable Product</i> Hasil Sintesis Sebagai Komoditas Industri .... | 53        |
| <b>BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>                                              | <b>58</b> |
| 5.1. Kesimpulan.....                                                                 | 58        |
| 5.2. Saran .....                                                                     | 59        |
| <b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>                                                           | <b>60</b> |
| <b>LAMPIRAN.....</b>                                                                 | <b>65</b> |

## DAFTAR GAMBAR

|                                                                              |    |
|------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 2.1 Skema Reaksi Perengkahan Katalitik dan Termal .....               | 10 |
| Gambar 2.2 Produksi <i>Castor Oil</i> di Dunia pada 2013-2016.....           | 13 |
| Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian .....                                     | 19 |
| Gambar 3.2 Rangkaian Reaktor Proses Perengkahan .....                        | 21 |
| Gambar 4.1 Skema Reaksi Perengkahan <i>Indirect Contact</i> .....            | 30 |
| Gambar 4.2 Modifikasi Reaktor untuk Reaksi Perengkahan Katalitik Termal .... | 30 |
| Gambar 4.3 Hasil Kondesat dari Masing-Masing Sampel Beda Variabel.....       | 31 |
| Gambar 4.4 Produk Samping dari Reaksi Perengkahan .....                      | 31 |
| Gambar 4.5 Rangkaian Alat Distilasi.....                                     | 32 |
| Gambar 4.6 Produk <i>Renewable Diesel</i> setelah Distilasi.....             | 32 |
| Gambar 4.7 Perbandingan Nilai Densitas Setiap Sampel .....                   | 34 |
| Gambar 4.8 Perbandingan Nilai Viskositas Setiap Sampel .....                 | 36 |
| Gambar 4.9 Perbandingan Bilangan Iodin Setiap Sampel .....                   | 37 |
| Gambar 4.10 Perbandingan Bilangan Asam Setiap Sampel .....                   | 38 |
| Gambar 4.11 Perbandingan Konversi dan <i>Yield</i> Setiap Sampel .....       | 40 |
| Gambar 4.12 Hasil Spektrum Minyak Jarak Kepyar .....                         | 43 |
| Gambar 4.13 Perbandingan Hasil Spektrum Setiap Sampel.....                   | 44 |
| Gambar 4.14 Hasil Grafik GC-MS Minyak Jarak Kepyar.....                      | 45 |
| Gambar 4.15 Hasil Grafik GC-MS Sampel C.....                                 | 46 |
| Gambar 4.16 Perbandingan Hasil Spektrum Reaksi dengan Hidrolisis.....        | 50 |
| Gambar 4.17 Perbandingan Hasil Spektrum Lemak Sapi dengan Sampel .....       | 51 |
| Gambar 4.18 Skema Reaksi Perengkahan Minyak Jarak Kepyar.....                | 54 |
| Gambar 4.19 Skema Reaksi Perengkahan Literatur .....                         | 54 |
| Gambar 4.20 Struktur Senyawa <i>Heptaldehyde</i> .....                       | 56 |
| Gambar 4.21 Struktur Senyawa <i>Undecylenic Acid</i> .....                   | 56 |

## DAFTAR TABEL

|                                                                                   |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabel 2.1 Perbandingan Karakteristik <i>Renewable Diesel</i> .....                | 6  |
| Tabel 2.2 Syarat Mutu Bahan Bakar Solar 48 Berdasarkan SNI 8220:2017 .....        | 7  |
| Tabel 2.3 Karakteristik Minyak Jarak Kepyar .....                                 | 12 |
| Tabel 2.4 Kandungan Minyak Jarak Kepyar dari Berbagai Negara .....                | 13 |
| Tabel 2.5 Perbedaan Karakteristik Katalis Heterogen dengan Homogen.....           | 15 |
| Tabel 2.6 <i>State of the Art</i> dari Penelitian .....                           | 17 |
| Tabel 3.1 Kondisi Operasi GC - MS.....                                            | 25 |
| Tabel 3.2 Penamaan dan Kondisi Operasi Sampel .....                               | 27 |
| Tabel 3.3 Komposisi Senyawa Produk <i>Renewable Diesel</i> .....                  | 27 |
| Tabel 3.4 Perbandingan Hasil setiap Kondisi Operasi.....                          | 28 |
| Tabel 3.5 Perbandingan Karakteristik <i>Renewable Diesel</i> yang Dihasilkan..... | 28 |
| Tabel 4.1 Perbandingan Karakteristik Sampel C dengan Solar Konvensional.....      | 39 |
| Tabel 4.2 Perbandingan Nilai Konversi dan Yield Setiap Sampel .....               | 41 |
| Tabel 4.3 Komposisi Senyawa Tertinggi pada Minyak Jarak Kepyar.....               | 46 |
| Tabel 4.4 Komposisi Senyawa Tertinggi pada Sampel C.....                          | 47 |
| Tabel 4.5 Komposisi Senyawa pada Lemak Sapi .....                                 | 52 |
| Tabel 4.6 Komposisi Senyawa pada Sampel Hasil Reaksi .....                        | 53 |
| Tabel 4.7 Perbandingan Hasil Produk dengan Penelitian Lainnya .....               | 57 |

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Penggunaan bahan bakar diesel yang berasal dari fosil di Indonesia masih tergolong sangat tinggi. Dengan penggunaan bahan bakar diesel mencapai 40% penggunaan BBM di sektor transportasi, dan penggunaan pada industri dan PLTD mencapai 74% dari total penggunaan keseluruhan (Gabungan Pengusaha Kelapa Sawit Indonesia (GAPKI), 2017). Seperti yang telah diketahui, penggunaan bahan bakar fosil ini memberikan dampak buruk dari segi emisi, polusi, maupun sifat tidak dapat diperbaharunya bahan bakar fosil tersebut.

Sebagai langkah mengurangi adanya ketergantungan terhadap bahan bakar solar dari fosil, dilakukan pengembangan mengenai *biofuel* seperti diesel generasi pertama, yaitu biodiesel. Namun sayangnya, pengembangan biodiesel saja belum bisa menjadi solusi jangka panjang untuk sepenuhnya, dikarenakan biodiesel terbatas menjadi campuran ke dalam bahan bakar dan tidak direkomendasikan untuk menggantikan bahan bakar diesel secara menyeluruh. Pada biodiesel juga masih memiliki kelemahan, yaitu memiliki stabilitas oksidasi yang buruk, sehingga mempengaruhi atomisasi bahan bakar dalam ruang bakar motor diesel (Bustaman, 2009). Dari segi bahan baku, pembuatan biodiesel masih berasal dari bahan baku *edible oil*. Hal tersebut dapat menciptakan adanya persaingan antara industri biodiesel dengan industri pangan, sehingga dapat mengakibatkan kenaikan harga komoditi, atau bahkan kelangkaan sumber bahan baku minyak tersebut.

Terdapat beberapa solusi yang dapat dilakukan untuk mengatasi permasalahan dan kelemahan dari biodiesel ini. Yang pertama adalah dengan cara meningkatkan kualitas biodiesel itu sendiri melalui metode *partial hydrogenation*. Metode ini bertujuan untuk meningkatkan stabilitas oksidasi dengan memutuskan ikatan rangkap pada biodiesel.

Adapun dengan jenis solusi kedua, adalah dengan adanya pengembangan *biofuel* seperti diesel generasi kedua yang disebut sebagai *renewable diesel*. *Renewable diesel* ini telah diteliti dan diuji memiliki banyak keunggulan dibandingkan biodiesel maupun bahan bakar solar. Beberapa jalur proses reaksi

dapat dilakukan untuk mensintesis *renewable diesel* ini, seperti proses hidrideoksigenasi, pirolisis, dan yang diuji pada penelitian ini, proses perengkahan secara katalitik termal.

Proses perengkahan sendiri merupakan reaksi pemutusan ikatan karbon – karbon (C-C) dan karbon – oksigen (C – O) dari hidrokarbon rantai panjang dengan berat molekul besar menjadi hidrokarbon rantai pendek. Pada penelitian ini perengkahan dilakukan secara simultan dengan dua macam proses yaitu perengkahan menggunakan suhu tinggi (*thermal cracking*) dan proses perengkahan menggunakan katalis (*catalytic cracking*).

Untuk penggunaan katalis yang diuji dalam proses perengkahan, yaitu katalis MgO, diharapkan untuk meningkatkan reaksi perengkahan yaitu pemutusan ikatan rangkap dan gugus fungsi pada senyawa, khususnya dengan dekarboksilasi, dan dekarbonilasi, dan juga untuk meningkatkan sifat dari *renewable diesel* dengan menghilangkan senyawa-senyawa teroksigenasi melalui pembentukan H<sub>2</sub>O dan CO<sub>2</sub>. Riyandhi et al. (2016) telah melakukan pengujian menggunakan katalis MgO ini dan dihasilkan fraksi C12-C19 sebesar 82,15%. Stefandis et al. (2016) juga telah membandingkan katalis MgO dengan katalis ZSM-5, dan dihasilkan bahwa sifat kebasaaan dari katalis MgO mendukung proses sintesis *renewable diesel*.

Bahan baku yang digunakan pada penelitian ini, digunakan minyak dari tanaman jarak kepyar, atau dikenal dengan *castor oil*. Dalam minyak ini terdapat lebih dari 89% kandungan asam lemak rantai C18 yaitu asam ricinoleat, yang dimana kandungan asam lemak ini sangat potensial untuk digunakan sebagai bahan baku dari *renewable diesel*, namun masih kurang diteliti. Orozco et al. (2017) telah menghasilkan *renewable diesel* dengan minyak jarak kepyar dengan *yield* sebesar 98%, dan memenuhi standar EN590.

Dengan dilakukannya penelitian ini, sintesis *renewable diesel* melalui perengkahan katalitik termal minyak jarak kepyar menggunakan katalis MgO, bertujuan untuk mendapatkan kondisi paling baik untuk proses sintesis *renewable diesel*, dengan konversi, *yield*, dan selektivitas terbaik. Yang kemudian dianalisis perbandingan karakteristiknya dengan bahan bakar solar sesuai dengan SNI 8220:2017 agar dapat dilihat kompatibilitas dan kualitas bahan bakar yang dihasilkan.

## 1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan dari latar belakang yang telah dipaparkan diatas, maka perumusan masalah yang dibahas ialah sebagai berikut:

1. Bagaimana kondisi operasi dari proses perengkahan katalitik termal minyak jarak kepyar menggunakan bantuan katalis MgO untuk menghasilkan produk *renewable diesel*
2. Bagaimana karakteristik secara fisik dan kimia dari *renewable diesel* yang dihasilkan jika dibandingkan dengan bahan bakar solar
3. Bagaimana hasil produk yang dihasilkan dari proses reaksi perengkahan katalitik termal yang dilakukan

## 1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian yang dilakukan ialah sebagai berikut:

1. Mendapatkan kondisi operasi dari sintesis *renewable diesel*, dengan melalui proses perengkahan katalitik termal minyak jarak menggunakan bantuan katalis MgO dari berbagai macam variasi suhu, tekanan, dan juga adanya penambahan gas nitrogen
2. Mendapatkan perbandingan karakteristik sifat fisik dan kimia dari *renewable diesel* hasil sintesis dengan bahan bakar solar
3. Mendapatkan analisis hasil *renewable product* lainnya dari proses sintesis *renewable diesel* yang dilakukan

## 1.4. Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini meliputi:

1. Minyak jarak yang digunakan pada penelitian ini ialah minyak jarak kepyar murni (*castor oil*) yang didapatkan dari distributor lokal
2. Kondisi operasi yang diinginkan adalah kondisi operasi yang menghasilkan *renewable diesel* dengan persentase konversi, *yield*, dan selektivitas tertinggi dari variabel uji
3. Proses perengkahan katalitik termal minyak jarak menggunakan reaktor *autoclave* berpengaduk dengan suhu maksimal 400 °C
4. Karakterisasi yang dilakukan adalah analisis dari viskositas, densitas, bilangan asam, bilangan iodin, gugus fungsi, dan komposisi senyawa

5. Data karakterisasi dari bahan bakar solar, sebagai pembanding, menggunakan data syarat mutu bahan bakar solar yang diatur pada SNI 8220:2017
6. Hasil *renewable product* lainnya, diartikan sebagai adanya produk dengan fraksi rantai karbon selain dari fraksi *renewable diesel* yang diharapkan untuk disintesis

### 1.5. Sistematika Penulisan

Untuk sistematika penulisan dari penelitian ini, dibagi menjadi lima bab, dengan penjelasan sebagai berikut:

#### **BAB I PENDAHULUAN**

Bab ini berisikan penjelasan yang mencakup latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan dari penelitian ini

#### **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

Bab ini berisikan teori pendukung dan literatur yang digunakan sebagai acuan untuk penelitian yang dilakukan. Teori pendukung dan literatur yang digunakan mencakup dari *renewable diesel*, proses perengkahan, bahan baku minyak non pangan, dan pemilihan katalis

#### **BAB III METODE PENELITIAN**

Bab ini berisikan rancangan penelitian yang dilakukan, mengenai diagram alir penelitian, variabel – variabel dalam penelitian, serta prosedur dari penelitian ini

#### **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

Bab ini berisikan analisis dari hasil eksperimen, serta teori pendukung yang berkaitan dengan penelitian ini

#### **BAB V KESIMPULAN**

Bab ini berisikan kesimpulan dari hasil dan analisis penelitian yang telah dilakukan, beserta saran untuk menjadi dasar pengembangan penelitian selanjutnya

## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. *Renewable Diesel*

##### 2.1.1. Pengertian dan Pengembangan *Renewable Diesel*

*Renewable diesel* merupakan jenis *biofuel* setara diesel generasi kedua, yang merupakan langkah pengembangan lebih lanjut dari generasi sebelumnya yaitu biodiesel. Adapun perbedaannya terletak pada segi bahan baku dan proses sintesisnya. Pada penggunaan bahan baku, *renewable diesel* memanfaatkan sumber bahan baku non-pangan, seperti limbah perhutanan atau pertanian, kayu, biomasa, dan minyak *non-edible* (Dutta et al., 2014). Beberapa studi juga menimbang minyak goreng bekas (WCO / *Waste Cooking Oil*) dan lemak binatang termasuk kedalam bahan baku yang digunakan untuk sintesis *renewable diesel* (Bhuiya et al., 2014). Kemudian dari segi proses sintesisnya, berbeda dengan biodiesel yang melalui proses transesterifikasi, *renewable diesel* disintesis melalui beberapa jalur proses reaksi, seperti proses hidrideoksigenasi, pirolisis, dan proses perengkahan secara katalitik dan termal.

Adanya studi pengembangan untuk *renewable diesel* ini didasari oleh kekurangan biodiesel pada beberapa faktor yaitu sifat, karakteristik dan sumber bahan baku. Yaitu pada biodiesel memiliki kelemahan yaitu stabilitas oksidasinya yang kurang baik, mempengaruhi atomisasi bahan bakar dalam ruang bakar motor diesel. Atomisasi yang kurang baik akan menurunkan daya mesin dan pembakaran mesin menjadi tidak sempurna (Bustaman, 2009).

Dari segi bahan baku, pembuatan biodiesel membutuhkan asam lemak rantai panjang, berasal dari minyak nabati dan hewani yang masih bersifat *edible oil* atau menjadi bahan pangan. Hal tersebut dapat menciptakan adanya persaingan antara industri biodiesel dengan industri pangan, sehingga dapat mengakibatkan kenaikan harga komoditi, atau bahkan kelangkaan sumber bahan baku minyak tersebut (Bentivoglio & Rasetti, 2015; Malins, 2017).

### 2.1.2. Kelebihan dan Kekurangan *Renewable Diesel*

Pengembangan *renewable diesel* membawa beberapa keunggulan apabila dibandingkan dengan biodiesel dan diesel konvensional. Tidak ada persaingan komoditi dengan tanaman pangan, dan lebih rendah emisi gas rumah kaca adalah manfaat utama dari *renewable diesel* (Aron et al., 2020). Kemudian bahan baku nabati yang berasal dari produksi bahan limbah tidak membutuhkan lahan tambahan untuk bercocok tanam. Juga, tanaman rumput dan minyak yang tidak dapat dimakan dapat tumbuh di lahan marginal, yang tidak sesuai untuk menanam tanaman pangan.

Kemudian dilihat dari karakteristik bahan bakar yang digunakan untuk mesin dieselnnya, *renewable diesel* memiliki sifat yang lebih baik dibandingkan dengan biodiesel, dan hampir menyamai bahkan lebih baik pada beberapa aspek bila dibandingkan dengan diesel konvensional. Yaitu pada angka setana yang lebih tinggi, nilai kalor (LHV) yang lebih tinggi, dan kandungan sulfur yang sangat rendah, dengan lebih detail dijelaskan pada Tabel 2.1 berikut.

**Tabel 2.1** Perbandingan Karakteristik *Renewable Diesel*

| Kandungan                                 | Karakteristik Fisika dan Kimia |                  |                         |
|-------------------------------------------|--------------------------------|------------------|-------------------------|
|                                           | <i>Petroleum Diesel</i>        | <i>Biodiesel</i> | <i>Renewable Diesel</i> |
| Carbon (wt%)                              | 86,8                           | 76,2             | 84,9                    |
| Hidrogen (wt%)                            | 13,2                           | 12,6             | 15,1                    |
| <i>Specific Gravity</i>                   | 0,84                           | 0,88             | 0,78                    |
| Oksigen (wt%)                             | 0                              | 11,2             | 0                       |
| Angka Setana (CN)                         | 40-67                          | 45-65            | 70-90                   |
| LHV (Mj/kg)                               | 42,34-43,1                     | 37,2-38          | 43,7-44,5               |
| Densitas pada 15°C (kg/m <sup>3</sup> )   | 796-841                        | 880              | 770-790                 |
| Kandungan Sulfur (ppm)                    | <10                            | <1               | <1                      |
| Titik Nyala (°C)                          | 54-148                         | 100-180          | 59-138                  |
| Viskositas pada 40°C (mm <sup>2</sup> /s) | 1,9-4,1                        | 2,9-11           | 2,0-4,0                 |

(Mahdi et al., 2021)

Dari perbandingan diatas dapat dilihat bahwa *renewable diesel* bersifat jauh lebih baik daripada biodiesel, sehingga secara sifat *renewable diesel* sangat memungkinkan untuk dijadikan sebagai pengganti bahan bakar diesel konvensional secara menyeluruh, disebut sebagai D100, berbeda dengan biodiesel yang sebatas menjadi campuran bahan bakar dengan persentase komponen tertentu. Seperti B20 yang berarti terdapat biodiesel 20% dan minyak solar 80 % (Zuhdi, 2002).

Namun disamping kelebihan yang telah dijelaskan, bukan berarti *renewable diesel* tidak mempunyai kekurangan. Beberapa kekurangan yang dimiliki oleh *renewable diesel* antara lain adalah biaya produksinya yang masih lebih mahal jika dibandingkan dengan diesel konvensional, kemudian dari banyaknya sumber bahan baku yang dapat digunakan, tidak memiliki kesetaraan sifat dan karakteristik *renewable diesel* yang dihasilkan antara satu bahan baku dengan bahan baku lainnya. Selain itu pada proses sintesisnya, bersifat endotermik dan terjadi pada suhu dan tekanan yang tinggi. Sehingga proses sintesis *renewable diesel* merupakan proses yang membutuhkan energi secara intensif, dan rentan terhadap deaktivasi katalis.

### 2.1.3. Standar Karakteristik dan Kualitas *Renewable Diesel*

Dalam mengembangkan *renewable diesel*, perlu dilakukan penyesuaian sifat-sifat *renewable diesel* sebagai indikasi kecocokan penggunaan bahan bakar ini dengan performa dan emisi mesin diesel yang beredar di pasaran. Dengan karakteristik utamanya meliputi bilangan asam, nilai kalor, viskositas, densitas, titik nyala, titik api, titik awan, titik tuang, kadar abu dan kandungan residu karbon (Karmakar et al, 2018).

Karakteristik dan kualitas *renewable diesel* ini diatur oleh suatu standar pada parameter dan metode ujinya, Namun di Indonesia sendiri belum ada peraturan yang secara langsung mengatur *renewable diesel* atau *biofuel* seperti diesel generasi kedua. Sehingga sebagai acuan, akan digunakan standar spesifikasi dari bahan bakar solar 48 murni, yang diatur pada SNI 8220:2017, dan dapat dilihat pada Tabel 2.2 berikut.

**Tabel 2.2** Syarat Mutu Bahan Bakar Solar 48 Berdasarkan SNI 8220:2017

| No | Parameter                      | Satuan               | Nilai     | Metode              |
|----|--------------------------------|----------------------|-----------|---------------------|
| 1  | Densitas<br>(pada suhu 15 °C)  | kg/m <sup>3</sup>    | 850 – 890 | ASTM<br>D4052/D1298 |
| 2  | Viskositas<br>(pada suhu 40°C) | mm <sup>2</sup> /sec | 2,3 – 6,0 | ASTM D445           |
| 3  | Bilangan Setana                | minimal              | 48        | ASTM D613           |
| 4  | Titik nyala                    | °C, min              | 52        | ASTM D93            |
| 5  | Titik tuang                    | °C, maks             | 18        | ASTM D97            |

**Tabel 2.2** Syarat Mutu Bahan Bakar Solar 48 Berdasarkan SNI 8220:2017 (Lanjutan)

|    |                                                     |                   |                    |                       |
|----|-----------------------------------------------------|-------------------|--------------------|-----------------------|
| 6  | Korosi bilah tembaga                                | maksimal          | Kelas 1            | ASTM D130             |
| 7  | Residu karbon                                       | % m/m             | 0,1                | ASTM D 4530 / D 189   |
| 8  | Kandungan sedimen                                   | % m/m, maks       | 0,01               | ASTM D473             |
| 9  | Distilasi:<br>90% vol. penguapan                    | °C, maks          | 370                | ASTM D86              |
| 10 | Kandungan abu                                       | % m/m, maks       | 0,01               | ASTM D482             |
| 11 | Kandungan sulfur                                    | % m/m             | 0,30               | ASTM 4294/D2622/D5453 |
| 12 | Kandungan air                                       | mg/kg             | 500                | ASTM D6304            |
| 13 | Bilangan asam kuat                                  | mgKOH/gr,<br>maks | 0                  | ASTM D664             |
| 14 | Bilangan asam total                                 | mgKOH/gr,<br>maks | 0,5                | ASTM D664             |
| 15 | Penampilan visual                                   | -                 | Jernih &<br>Terang | Visual                |
| 16 | Warna                                               | no.ASTM,<br>maks  | 3,0                | ASTM D1500            |
| 17 | Lubrisitas*<br>(HFRR wear scar diameter pada 60 °C) | micron, maks      | 460                | ASTM D6079            |

## 2.2. Proses Perengkahan

Proses perengkahan, atau disebut juga *cracking*, merupakan proses reaksi pemutusan ikatan karbon – karbon (C – C) ataupun ikatan karbon – oksigen (C – O) dari suatu senyawa hidrokarbon, sehingga menjadi senyawa hidrokarbon dengan rantai yang lebih pendek dan berat molekul lebih kecil. Pada prosesnya, perengkahan ini dapat dibantu oleh beberapa variabel, seperti suhu tinggi (*thermal cracking*), keberadaan katalis (*catalytic cracking*) ataupun dengan dialirkan gas hidrogen (*hydrocracking*).

### 2.2.1. Perengkahan Katalitik Termal

Perengkahan katalitik dan termal, atau *catalytic thermal cracking*, merupakan proses reaksi perengkahan yang dapat mengkonversi berbagai jenis

bahan baku dari minyak fraksi berat, biomassa, minyak bumi, dan sebagainya. (Speight dan Ozum, 2002; Parkash, 2003; Hsu dan Robinson, 2006; Gary et al., 2007). Konsep dari perengkahan ini pada dasarnya sama dengan perengkahan termal, tetapi terdapat perbedaan pada penggunaan katalis yang (secara teori) tidak dikonsumsi pada prosesnya. Adanya penggunaan katalis pada proses ini bertujuan untuk meningkatkan efisiensi proses dan kualitas produk utama (Speight, 2020).

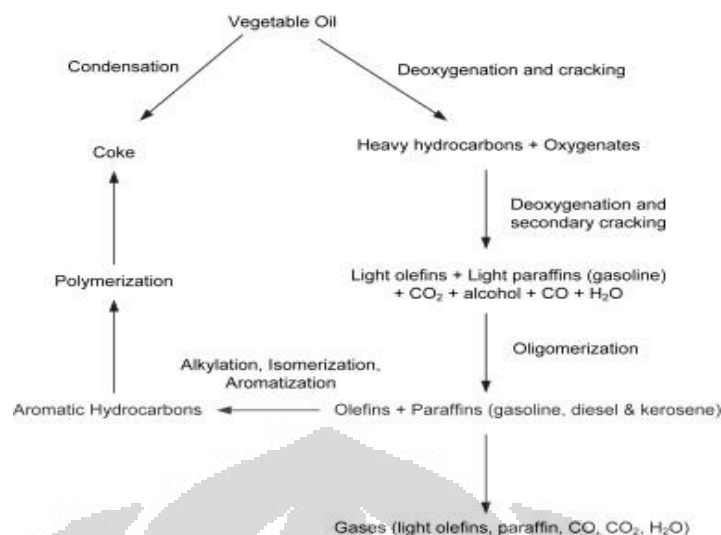
Proses perengkahan katalitik dan termal ini memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan pemrosesan trigliserida lainnya (Ong dan Bhatia, 2010), dari segi produk yang dihasilkan, proses ini menghasilkan gas, produk cair organik (*Organic Liquid Product/OLP*), dan air. Dimana dalam produk cair organik ini terkandung aldehida, keton, dan asam karboksilat, serta senyawa hidrokarbon yang rentangnya sesuai dengan rentang titik didih bensin, kerosene, dan diesel.

Kemudian dalam prosesnya, perengkahan katalitik dan termal tidak menghabiskan energi seintensif seperti pada proses pirolisis atau perengkahan termal, dikarenakan dengan adanya penggunaan katalis, membantu menurunkan energi aktivasi yang dibutuhkan. Chew dan Bhatia (2008) telah melakukan reaksi pirolisis untuk menghasilkan hidrokarbon mirip bensin, kerosene, dan diesel umumnya dibutuhkan suhu  $500^{\circ}\text{C}$  –  $850^{\circ}\text{C}$  namun dengan perengkahan katalitik, suhu reaksi yang dibutuhkan hanya mencapai  $450^{\circ}\text{C}$ .

Pada penelitian ini, untuk pemilihan variabel suhu reaksi, akan dipilih pada suhu  $370^{\circ}\text{C}$ , yang berada diatas dari suhu titik didih minyak jarak kepyar pada  $320^{\circ}\text{C}$ . Untuk variabel suhu kedua, akan dipilih suhu tertinggi yang mampu dicapai oleh reaktor yaitu  $400^{\circ}\text{C}$ . Pada teorinya, meningkatnya suhu reaksi akan menghasilkan reaksi perengkahan secara termal yang lebih baik, dengan pemutusan ikatan karbon yang lebih banyak terjadi.

### **2.2.2. Skema dan Mekanisme Reaksi Perengkahan Katalitik Termal**

Telah banyak penelitian yang dilakukan untuk menentukan dan menggambarkan jalan reaksi dari perengkahan katalitik termal, salah satunya adalah penelitian yang dilakukan oleh Leng, Mohamed dan Bhatia (1999) untuk mengetahui mekanisme perengkahan katalitis termal pada minyak nabati seperti yang digambarkan pada Gambar 2.1 berikut ini.



**Gambar 2.1** Skema Reaksi Perengkahan Katalitik dan Termal (Bhatia et al., 1999)

Pada reaksi perengkahan tersebut, mula-mula minyak nabati akan mengalami perengkahan secara katalitik untuk menghasilkan hidrokarbon fraksi berat dan oksigenat. Kemudian produk-produk tersebut mengalami perengkahan kedua kalinya secara termal sehingga terpecah menjadi alkena, alkana fraksi ringan, air, karbon dioksida, dan karbon monoksida. Alkena fraksi ringan dapat mengalami oligomerisasi untuk menghasilkan campuran alkana dan alkena yang berada pada rentang fraksi rantai karbon bensin, kerosin, dan diesel.

Selain reaksi tersebut, dapat dihasilkan juga hidrokarbon aromatik melalui aromatisasi, alkilasi, dan isomerisasi dari senyawa olefin dan parafin yang lebih berat. Coke atau kokas pun juga dapat terbentuk pada reaksi ini akibat kondensasi langsung minyak sawit ataupun dengan adanya reaksi polimerisasi pada senyawa aromatik,

### 2.3. Bahan Baku Minyak Non Pangan

Sebagai salah satu pengembangan dari *biofuel* mirip diesel generasi sebelumnya, *renewable diesel* menggunakan bahan baku dari minyak yang tidak dapat dimanfaatkan pada sektor pangan. Pergeseran fokus bahan baku menjadi minyak non pangan diakibatkan oleh penggunaan minyak nabati yang dimakan, atau bahan baku *biofuel* mirip diesel generasi pertama, yang dikhawatirkan dapat menimbulkan persaingan dengan industri pangan. Sehingga mungkin dapat

menyebabkan kelaparan pada negara berkembang, dan masalah lingkungan lainnya seperti deforestasi hutan untuk tujuan perkebunan, dan ketidakseimbangan ekologi (Atabani et al., 2013).

Beberapa keuntungan dari penggunaan minyak nabati non pangan sebagai bahan baku ialah, selain dari pencegahan kompetisi dengan industri pangan diatas, minyak non pangan dapat menggunakan lahan yang sebagian besar tidak produktif, berada pada daerah miskin nutrisi, ataupun di hutan yang telah terdegradasi. Adanya pengembangan bahan baku non pangan ini juga dapat menjadi program pengatasan kemiskinan, dan meningkatkan sektor non-pertanian dari sebuah desa ataupun kelompok masyarakat (Syers JK, 2007).

Dalam pemilihan minyak non pangan yang cocok sebagai bahan baku *renewable diesel*, faktor terpenting yang harus dipertimbangkan ialah komposisi asam lemak yang terkandung pada minyak tersebut. Komposisi asam lemak merupakan properti penting karena sangat berefek dalam penentuan hasil produk dan efisiensi proses untuk produksi *renewable diesel*. Presentase dan jenis asam lemak yang terkandung ini umumnya bergantung pada spesies tanaman dan kondisi pertumbuhannya.

Pada minyak nabati non pangan yang digunakan sebagai bahan baku *renewable diesel*, memiliki komposisi dan distribusi asam lemak yang umumnya merupakan senyawa alifatik dengan gugus karboksil pada ujung rantainya (Singh S.P., 2007). Dengan asam lemak yang paling umum terkandung adalah asam C16 dan C18, walaupun pada beberapa bahan baku terdapat juga sejumlah besar asam lemak selain asam C16 dan C18 yang general. Dengan beberapa minyak non pangan yang telah dievaluasi dan dinilai secara luas sebagai sumber bahan baku produksi *renewable diesel* ialah minyak biji rami (*Linseed Oil*), minyak jarak pagar (*Jatropha Oil*), minyak karanja (*Karanja Oil*), dan minyak jarak kepyar (*Castor Oil*) (Karmakar, Dhawane dan Halder, 2018).

### **2.3.1. Minyak Jarak Kepyar**

Jarak kepyar (*ricinus communis*) merupakan tumbuhan yang termasuk dalam famili Euphorbiaceae (Kirk-Othmer, 1979). Jarak kepyar adalah tumbuhan yang tidak dapat dimakan, dan mudah tumbuh dan tahan terhadap kekeringan. Tumbuhan ini banyak tumbuh di negara Amerika Serikat, India, Cina, Brazil, dan

Indonesia dengan aktivitas budidaya yang berbeda-beda. Minyak dari tumbuhan jarak kepyar ini diperoleh dari bijinya dengan pengempaan maupun ekstraksi secara kimia. Di industri dengan sebutan *castor oil* dan dimanfaatkan pada industri tekstil, percetakan, pembuatan pelumas bermutu tinggi dan juga dalam pengobatan tradisional.

Minyak jarak kepyar memiliki karakteristik kental, sedikit berbau, berwarna kuning pucat, bersifat tidak mudah mengering atau menguap, dan memiliki rasa yang hambar. Rata-rata biji jarak kepyar mengandung sekitar 46-55 persen minyak. Dalam kandungan asam lemak pada minyaknya, terdapat lebih dari 89 persen kandungan Asam ricinoleat. Asam lemak lain yang terkandung adalah asam linoleat (4,2%), asam oleat (3,0%), asam stearat (1%), asam palmitat (1%), asam dihidroksistearat (0,7%), asam linolenat (0,3%), dan asam eikosanoat (0,3%) (Kumar et al., 2004). Dimana dari kandungan asam lemak ini sangat layak untuk dijadikan salah satu bahan baku dari *renewable diesel*. Dengan parameter kandungan lebih detail terdapat Tabel 2.3 dan 2.4 berikut.

**Tabel 2.3** Karakteristik Minyak Jarak Kepyar

| No | Parameter                      | Nilai    |
|----|--------------------------------|----------|
| 1  | Bilangan Iodin                 | 84 – 88  |
| 2  | Viskositas pada 100°C          | 90       |
| 3  | Titik Leleh                    | -23°C    |
| 4  | Kandungan Asam Ricinoleat      | 90%      |
| 5  | Kandungan Asam Linoleat        | 4,2%     |
| 6  | Stabilitas Oksidasi oleh RPVOT | 25 Menit |

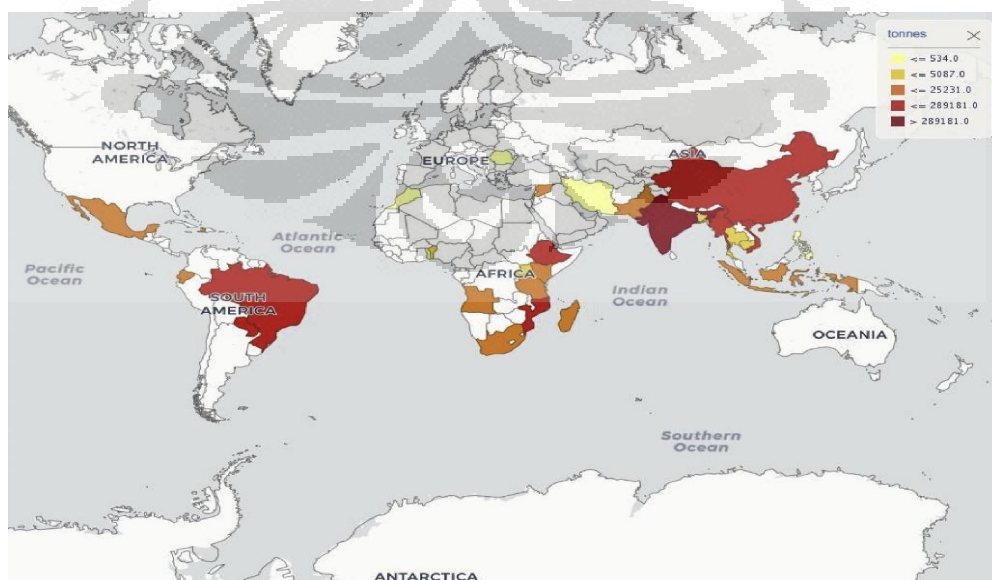
(J.A.C. da Silva, 2011)

**Tabel 2.4** Kandungan Minyak Jarak Kepyar dari Berbagai Negara

| Kandungan Asam Lemak                 | Struktur | Persentase |        |       |
|--------------------------------------|----------|------------|--------|-------|
|                                      |          | Malaysia   | Brazil | India |
| Palmitat,                            | C16:0    | 1,3        | 0,7    | -     |
| Stearat,                             | C18:0    | 1,2        | 0,9    | 1,0   |
| Oleat,                               | C18:2    | 5,5        | 2,8    | -     |
| Linoleat,                            | C18:2    | 7,3        | 4,4    | 4,3   |
| Linolenik,                           | C18:3    | 0,5        | 0,2    | -     |
| Ricinoleat,                          | C18:1    | 84,2       | 90,2   | 94,0  |
| <b>Jumlah Asam Lemak Jenuh</b>       |          | 2,5        | 1,6    | 1,0   |
| <b>Jumlah Asam Lemak Tidak Jenuh</b> |          | 97,5       | 97,6   | 98,3  |

(Kumar et al., 2004)

Dengan demikian, dari kandungan asam lemak pada minyak jarak kepyar yang cocok untuk dijadikan bahan baku *renewable diesel*, beserta kemampuan dan ketersediaan tumbuhan jarak kepyar untuk dibudidayakan di Indonesia, yang didukung dengan data pada Gambar 2.5 untuk produksi *castor oil* di dunia dan di Indonesia yang termasuk cukup tinggi. Hal ini membuka peluang untuk diadakannya penelitian dan diharapkan dapat menjadikannya salah satu jenis *renewable diesel* yang dapat mensubstitusikan penggunaan bahan bakar solar dari fosil di Indonesia, atau bahkan di dunia.



**Gambar 2.2** Produksi *Castor Oil* di Dunia pada 2013-2016  
(Food and Agriculture Organization (FAO), 2016)

## 2.4. Katalis

Seperti yang telah disebutkan pada sub-bab sebelumnya, katalis merupakan salah satu faktor penting yang mempengaruhi hasil konversi, *yield*, dan selektivitas dari produk pada proses perengkahan. Pengertian katalis sendiri ialah suatu substansi, yang jika ditambahkan ke dalam sistem reaksi, maka akan dapat mempercepat laju reaksi untuk mencapai ke keadaan kesetimbangan. Katalis hanya mempengaruhi laju reaksi, dengan menurunkan energi aktivasi, tanpa ikut mempengaruhi kesetimbangan dari reaksi itu sendiri. Katalis umumnya dibagi menjadi dua kelompok: heterogen dan homogen, yang dibedakan pada fase antara katalis dan reaktan. Kedua jenis katalis homogen dan heterogen telah diuji dan dipakai pada percobaan proses perengkahan.

### 2.4.1. Katalis Homogen

Katalis homogen merupakan katalis yang reaksi kimianya terjadi pada fasa yang sama, antara reaktan dengan katalis, yang pada umumnya terjadi pada fasa cair. Reaksi katalisisnya terjadi melalui pembentukan kompleks dan pembentukan kembali antara molekul-molekul dan ligan-ligan katalis, dimana reaksi ini terjadi sangat spesifik dan dapat menghasilkan selektivitas tinggi dan dilakukan pada kondisi operasi yang tidak terlalu sulit (Nasikin dan Bambang, 2010).

Walaupun dari segi operasional, reaksi dari katalis homogen ini cenderung lebih murah dan tidak membutuhkan energi yang banyak, namun katalis homogen jarang digunakan pada industri. Hal ini disebabkan adanya proses dan peralatan tambahan untuk memurnikan produk dari katalis yang tercampur, yang akan menambah kompleksitas dan biaya dari keseluruhan proses.

### 2.4.2. Katalis Heterogen

Untuk katalisis heterogen, merupakan katalis yang reaksi kimianya terjadi pada fase yang berbeda, antara reaktan dengan katalis. Untuk reaksi katalisis heterogen, reaktan akan teradsorp pada permukaan aktif katalis, yang selanjutnya akan terjadi interaksi berupa reaksi pada permukaan katalis ataupun pelemahan ikatan dari molekul. Dan setelah reaksi selesai terjadi, produk hasil reaksi akan dilepas dari permukaan katalis. Walaupun katalis heterogen tidak sesimpel dan seefisien reaksi katalisis homogen, katalisis heterogen masih lebih digunakan secara luas pada industri. Hal ini disebabkan oleh beberapa keuntungan katalis

heterogen dibandingkan katalis homogen yang dibandingkan pada Tabel 2.5 dibawah ini.

**Tabel 2.5** Perbedaan Karakteristik Katalis Heterogen dengan Homogen

| Karakteristik               | Katalis Heterogen                         | Katalis Homogen   |
|-----------------------------|-------------------------------------------|-------------------|
| Pusat Reaktif               | Hanya pada permukaan                      | Semua atom logam  |
| Bentuk                      | Padat, seringkali logam atau oksida logam | Kompleks logam    |
| Jumlah                      | Banyak                                    | Kecil             |
| Sensitivitas terhadap racun | Tinggi                                    | Rendah            |
| Masalah difusi              | Terjadi                                   | Tidak terjadi     |
| Spesifik/selektifitas       | Variabel (Rendah)                         | Tinggi            |
| Stoikiometri                | Tidak dikenal                             | Dapat diketahui   |
| Modifikasi                  | Sukar                                     | Mudah             |
| Kondisi Reaksi              | Tinggi                                    | Ringan            |
| Pemisahan Katalis           | Mudah                                     | Sulit             |
| Kejelasan Mekanisme         | Mudah                                     | Sulit             |
| Daur ulang (recycling)      | Mudah                                     | Sukar (dan mahal) |
| Rata-rata waktu pakai       | Variabel                                  | Lama              |

(Nasikin dan Bambang, 2010)

#### 2.4.3. Katalis MgO

Untuk percobaan penelitian ini, akan digunakan katalis magnesium oksida atau MgO. Dimana magnesium oksida sendiri merupakan alkali tanah oksida, dengan wujud padatan mineral putih, yang bersifat higroskopis. Penggunaan MgO sebagai katalis telah menarik perhatian peneliti karena potensi kimia dan elektroniknya yang memberikan sifat magnetik, optis, elektronik, termal, mekanis serta sifat kimia yang unik (Julkapli dan Bagheri, 2015)

Sebagai sebuah katalis, katalis MgO yang merupakan katalis heterogen basa telah mengkatalisis berbagai reaksi, seperti Reaksi Cannizzaro, Tischenko, Michael, Wittig, Kondensasi Knoevenagel, Reaksi Transesterifikasi, Isomerisasi ikatan rangkap dua, kondensasi silang maupun *self-condensation*, Reaksi Henry, Kopling alkohol, dan reaksi transfer hidrogen (Cosimo et.al, 2014).

Untuk penggunaan katalis MgO di proses perengkahan katalitik dan termal, bertujuan untuk meningkatkan reaksi pemutusan ikatan, dekarboksilasi, dan dekarbonilasi, dan juga untuk meningkatkan sifat dari *renewable diesel* dengan menghilangkan senyawa-senyawa teroksigenasi melalui pembentukan H<sub>2</sub>O dan CO<sub>2</sub>.

Mengutip hasil pada penelitian yang dilakukan oleh Stefanidis et al. (2016), yang menggunakan katalis MgO untuk sintesis *biofuel* dari lignoselulosa dengan proses perengkahan katalitik biomassa (yang terdapat reaksi hidrolisis, dekarbonilasi, dekarboksilasi, dan dehidrasi) didapatkan hasil bahwa sintesis menggunakan katalis MgO dapat menghasilkan peningkatan aktivitas konversi, dengan menghasilkan air dan gas yang lebih banyak dibandingkan dengan sampel lainnya. Penggunaan katalis MgO ini juga menghasilkan produk dengan fraksi organik yang lebih tinggi walaupun dengan hasil jumlah oksigen yang sama. Selain itu, Riyandhi et al. (2016) telah melakukan sintesis *renewable diesel* menggunakan katalis MgO ini juga, dan dihasilkan fraksi C12-C19 yang cukup tinggi, sebesar 82,15%.

Dalam pemilihan variabel %berat katalis yang akan digunakan pada penelitian ini, berdasarkan literatur dari penelitian yang telah dilakukan oleh Riyadhi et al. (2020) didapati bahwa komposisi *organic liquid product* yang berbeda fraksiakan bergantung dari jumlah %berat katalis yang digunakan. Pada penelitian tersebut didapati bahwa menggunakan 2% berat katalis MgO menghasilkan persentase fraksi bensin, minyak tanah, dan diesel secara beruntun; 22,28%, 30,13%, dan 47,59% sedangkan pada 4%berat katalis menghasilkan persentase fraksi bensin, minyak tanah, dan diesel; 28,84%, 35,50%, dan 35,56%. Hasil tersebut menandakan bahwa semakin banyaknya jumlah katalis yang digunakan, reaksi perengkahan akan semakin berlanjut untuk pemutusan ke senyawa rantai karbon yang semakin kecil.

## 2.5. *State of the Art*

Penelitian terkait sintesis *renewable diesel* yang berasal dari minyak jarak atau menggunakan katalis MgO sudah pernah dilakukan oleh peneliti dari berbagai negara. Tabel 2.6 berikut menunjukkan beberapa hasil dari penelitian yang telah berhasil dilakukan oleh para peneliti dengan judul terkait.

Tabel 2.6 State of the Art dari Penelitian

| Peneliti        | Tahun | Bahan Baku        | Katalis                             | Proses Sintesis         | Rangkuman Hasil                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|-----------------|-------|-------------------|-------------------------------------|-------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Naveenkumar     | 2020  | <i>Castor Oil</i> | CaO                                 | Transesterifikasi       | Dihasilkan biodisel dari minyak jarak kepyar dengan bantuan katalis CaO, dengan yield 84.9% dengan perbandingan rasio metanol dengan minyak sebesar 10,5 : 1.                                                                                                                       |
| Ni Putu         | 2020  | Asam Oleat        | MgO                                 | Transesterifikasi       | Didapatkan konversi asam oleat menjadi biodiesel sebesar 96,5% dengan bantuan katalis MgO. Dengan reusabilitas setelah 5 kali penggunaan, konversinya menurun ke 80%.                                                                                                               |
| Riyadhi et al.  | 2020  | Lemak Sapi        | MgO                                 | Perengkahan             | Digunakan katalis MgO pada sintesis <i>biofuel</i> dari lemak hewan. Dihasilkan pada 4%berat katalis, <i>biofuel</i> yang disintesis mengandung alkana (55.56 %), alkena (8.94 %), alkohol (5.27 %), dan keton (13.73 %), dan pada 5%berat katalis dihasilkan 82,15% fraksi diesel. |
| Karmakar et al. | 2018  | <i>Castor Oil</i> | -                                   | Simulasi dan Optimisasi | Dihasilkan biodiesel menggunakan pendekatan orthogonal taguchi, dengan yield sebesar 90.83%. Pada 1%berat katalis, dan rasio metanol dengan minyak sebesar 20:1.                                                                                                                    |
| Orozco et al.   | 2017  | <i>Castor Oil</i> | NiMO/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Hydrocracking           | Dihasilkan <i>renewable diesel</i> dengan bantuan katalis NiMO/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> dengan yield sebesar 98% dan kemurnian 95, dan terkarakterisasi sesuai dengan standar EN590. Proses dilakukan pada suhu 270 °C dan 350 °C dan tekanan 35 bar.                         |

Tabel 2.6 State of the Art dari Penelitian (Lanjutan)

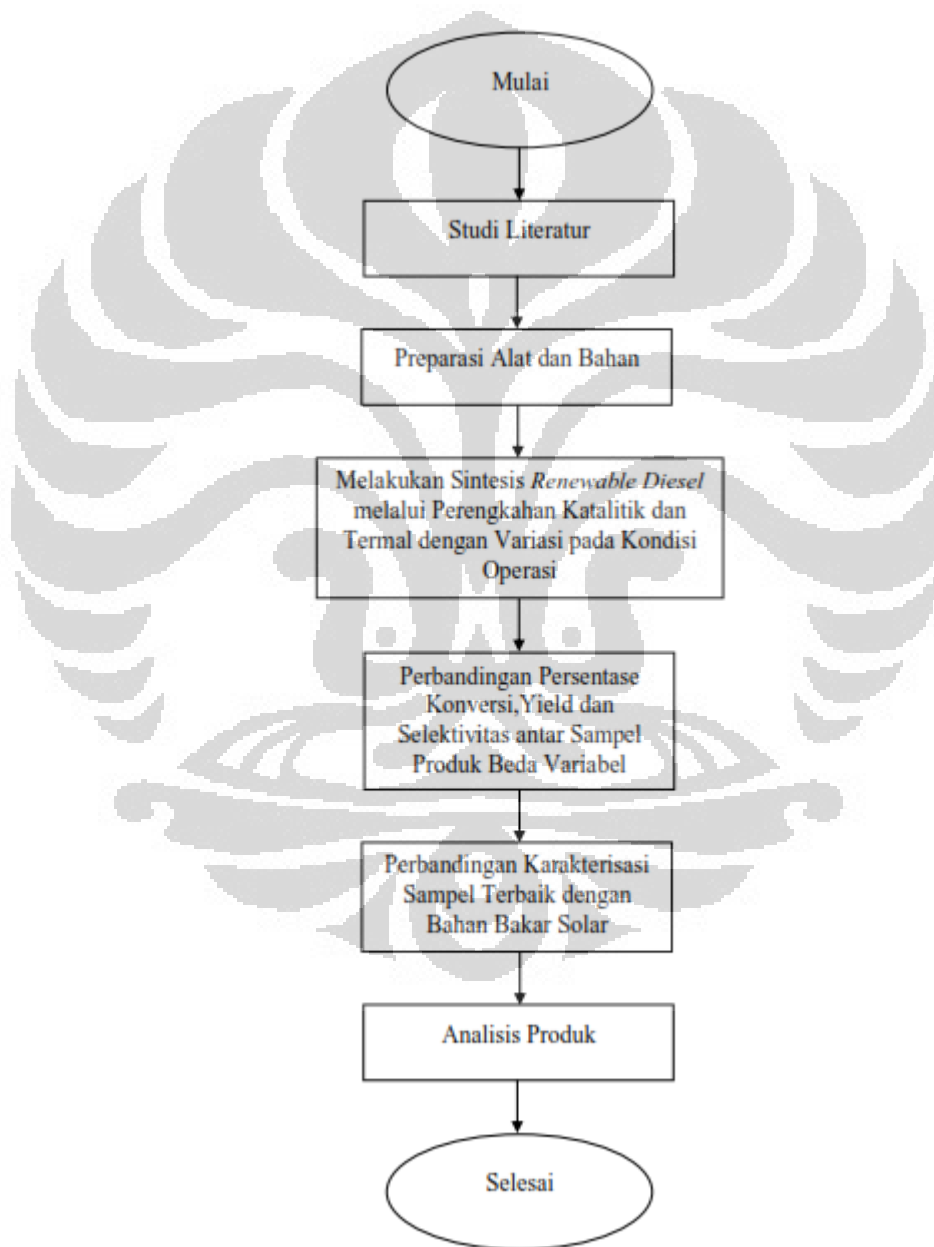
| Peneliti          | Tahun | Bahan Baku                                    | Katalis                         | Proses Sintesis              | Rangkuman Hasil                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|-------------------|-------|-----------------------------------------------|---------------------------------|------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Stefanidis et al. | 2016  | Biomassa                                      | MgO dan ZSM-5                   | Perengkahan Katalitik        | Dilakukan perbandingan hasil produk bio-oil pada proses pirolisis antara katalis ZSM-5 dengan MgO. Didapatkan bahwa kebasaaan katalis MgO mendukung deoksigenasi, terlihat dari peningkatan aktivitas konversi produk, dan fraksi organik yang lebih tinggi walaupun dengan hasil jumlah oksigen yang sama. |
| Susanto et al.    | 2016  | <i>Jatropha Oil</i> dan <i>Crude Palm Oil</i> | NiMO/ZAL                        | Hydrocracking                | Dilakukan sintesis renewable diesel melalui proses hidredeoksigenasi dari minyak jarak dan minyak kelapa sawit dengan bantuan katalis NiMO/ZAL. Dihasilkan produk dengan konversi 80,87%, selektivitas 52,78%, dan yield sebesar 45,66%.                                                                    |
| Laksmono,et al.   | 2013  | Biomassa                                      | MgO, Zeolit, dan Alumina Oksida | Perengkahan Katalitik Termal | Dihasilkan biodiesel dari perengkahan termal dengan yield 73,67%. Kemudian untuk perengkahan katalitik dengan adanya Zeolit, MgO, dan Alumina Oksida menghasilkan masing-masing 62%, 66%, dan 71% yield. Dengan karakteristik yang mendekati bahan bakar konvensional.                                      |

## BAB 3

### METODE PENELITIAN

#### 3.1. Tahapan Penelitian

Pada bagian sub-bab ini dijabarkan tahapan beserta prosedur dari penelitian ini, Tahapan-tahapan ini terdapat ada diagram alir yang terlampir pada Gambar 3.1 berikut.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

### 3.1.1. Variabel Bebas

Variabel bebas merupakan variabel yang dapat diubah. Variabel ini diubah untuk melihat pengaruhnya terhadap variabel terikat. Data dari variabel bebas pada penelitian ini adalah:

1. Suhu operasi yaitu 370°C dan 400°C
2. Berat katalis yaitu sebesar 2% dan 4% dari berat umpan
3. Penggunaan gas nitrogen pada reaksi

### 3.1.2. Variabel Terikat

Variabel terikat adalah variabel yang dipengaruhi. Artinya adalah variabel ini nantinya akan dilihat perubahannya terhadap nilai dari variabel bebas. Data dari variabel Terikat pada penelitian ini adalah:

1. Persentase konversi, *yield*, dan selektivitas dari produk *renewable diesel*
2. Karakteristik dan fraksi produk yang dihasilkan

### 3.1.3. Variabel Terkendali

Variabel terkontrol merupakan variabel berpengaruh yang dibuat sama dan terkontrol pada setiap percobaannya. Data dari variabel terkontrol pada penelitian ini adalah:

1. Jenis katalis yang digunakan, katalis MgO
2. Volume bahan baku minyak jarak kepyar sebanyak 250 mL
3. Tekanan reaksi dijaga konstan di 4 – 5 bar
4. Waktu proses reaksi selama 1,5 jam

## 3.2. Alat dan Bahan Penelitian

### 3.2.1. Alat Uji Untuk Proses Perengkahan Katalitik Termal

1. Reaktor *autoclave* berpengaduk
2. Kondensor
3. Pengatur (suhu, tekanan, dan pengaduk)
4. *Wire Mesh SS304 300*
5. *Heating Jacket*
6. Pompa air
7. Baskom

### 3.2.2. Bahan Uji

1. Pada penelitian ini, digunakan katalis magnesium oksida atau MgO
2. Pada penelitian ini, digunakan minyak jarak kepyar (*Castor Oil*)
3. Gas Nitrogen

### 3.3. Prosedur Penelitian

Prosedur dari penelitian ini terdiri dari preparasi bahan baku minyak, proses perengkahan katalitik termal, serta analisis karakteristik produk.

#### 3.3.1. Preparasi Minyak Jarak Kepyar

1. Minyak jarak kepyar murni didapatkan dari distributor lokal, disimpan ke dalam wadah tertutup agar tidak terkontaminasi dan mempengaruhi hasil produk
2. Apabila proses perengkahan mulai dilakukan, minyak jarak kepyar ke gelas piala agar mempermudah pemindahan bahan baku ke dalam reaktor.

#### 3.3.2. Prosedur Aktivasi Katalis

1. Katalis dimasukkan ke dalam reaktor *autoclave* sebanyak yang telah ditentukan pada massa umpan
2. Katalis diaktivasi menggunakan gas hidrogen pada suhu dan tekanan yang telah ditentukan.

#### 3.3.3. Proses Perengkahan Katalitik Termal



**Gambar 3.2** Rangkaian Reaktor Proses Perengkahan

1. Memasukkan bahan baku minyak jarak kepyar ke dalam reaktor.
2. Memasang pompa air dan selang *water pass* pada reaktor dan kondensor, serta memasukkan pompa air pada baskom.
3. Mengisi baskom dengan air serta es balok.
4. Memasang nampan untuk katalis.
5. Memasukkan katalis MgO pada nampan yang sudah terpasang.
6. Menutup reaktor *autoclave*.
7. Mengatur suhu reaksi yang diinginkan.
8. Menjaga tekanan reaksi pada 4 hingga 5 bar dengan cara membuka katup bawah kondensor untuk mengeluarkan tekanan.
9. Mengambil produk cair apabila reaksi telah selesai.
10. Menganalisis produk untuk mendapatkan karakteristik gugus fungsi dan komposisi senyawa *renewable diesel* hasil sintesis.

#### 3.3.4. Proses Distilasi

Pengukuran distilasi menggunakan alat Distilasi Sederhana dengan kondensor Liebig. Berikut langkah kerja distilasi adalah sebagai berikut:

1. Mempersiapkan peralatan distilasi dan *digital hotplate*.
2. Memasukkan sampel yang ingin didistilasi ke dalam labu berukuran 500 ml.
3. Mempersiapkan pompa air, selang *water pass*, baskom, air, dan es.
4. Mengatur suhu pada *digital hotplate* dengan *initial point* sebesar 250°C untuk mendistilasi fraksi ringan serta air.
5. Memisahkan fraksi ringan dan air yang telah didistilasi.
6. Menimbang fraksi ringan dan air yang terpisah.
7. Menimbang fraksi *renewable diesel* yang tidak menguap pada labu

### 3.4. Prosedur Analisis

#### 3.4.1. Analisis Viskositas

Untuk mengukur viskositas, digunakan alat *viscometer* SVM 3000 dan berdasarkan metode ASTM D7042-04 di Lab RPKA Departemen Teknik Kimia FTUI.

1. Mengambil sampel dengan jumlah tertentu yang nantinya akan diukur dan dilakukan pengukuran suhu sampel

2. 10cc sampel dimasukan ke *tube viscometer Fenske*
3. Menyedot larutan dengan *bulb* sampai melewati garis atas tube
4. Mengamati larutan apakah mengalir disepanjang *tube*
5. Jika mengalir, mengukur waktu alir fluida saat menyentuh batas garis atas sampai menyentuh batas garis bawah *tube*
6. Menentukan nilai viskositas kinematika dengan menggunakan persamaan berikut

$$v = C \times t \quad (3.1)$$

7. Nilai C untuk 40°C adalah...dan Nilai C untuk 100°C adalah.... Nilai tersebut didapat dari hasil kalibrasi *viscometer Fenske Seri 300*
8. Menentukan nilai viskositas dinamik berdasarkan nilai viskositas kinematik dan densitas yang telah ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut

$$\mu = v. \rho. 10^{-3} \quad (3.2)$$

#### 3.4.2. Analisis Densitas

1. Menimbang piknometer yang belum terisi
2. Mengambil air yang sudah ditentukan jumlahnya dan sudah diukur suhunya, kemudian dimasukan kedalam piknometer yang telah ditimbang
3. Menutup piknometer
4. Menimbang piknometer yang berisi air
5. Menghitung volume piknometer dengan menggunakan persamaan berikut:

$$V_{\text{piknometer}} = \frac{\text{massa piknometer isi air} - \text{massa piknometer kosong}}{\text{densitas air pada suhu air terukur}} \quad (3.3)$$

6. Mengambil sampel yang ingin diuji dan dimasukkan ke dalam piknometer
7. Menutup piknometer
8. Menimbang sampel dan piknometer
9. Menghitung berat jenis larutan menggunakan persamaan berikut:

$$\rho_{\text{sampel}} = \frac{\text{massa piknometer isi sampel} - \text{massa piknometer kosong}}{\text{volume cairan pada piknometer}} \quad (3.4)$$

### 3.4.3. Analisis FTIR

Analisis FT-IR (*Fourier Transform Infra Red*) dilakukan dengan standar ASTM E1252-13, dengan tujuan untuk mengetahui analisis gugus fungsi secara kualitatif pada sampel produk. Rentang bilangan gelombang yang diukur adalah  $4000 - 500 \text{ cm}^{-1}$ . Adapun prosedur yang dilakukan untuk mendapatkan *sp spectrum* FTIR dari sampel adalah sebagai berikut.

1. Menghidupkan Spektrometer dengan menyalakan tombol on di bagian belakang dari alat
2. Menghidupkan komputer
3. Menyiapkan *software* OMNIC pada komputer, dan mengatur sesuai standar
4. Permukaan *sample holder* ATR dibersihkan dengan menggunakan tisu yang di basahi pelarut isopropil alkohol
5. Pengukuran *background* dilakukan dan *sample holder* dipastikan bersih dari sampel dan kotoran
6. Memasukkan sampel yang akan diuji kedalam *sample holder*
7. Pengukuran FTIR pada sampel dapat dimulai
8. Hasil akan terekam dan muncul pada komputer

### 3.4.4. Analisis GC – MS

Pengujian GC menggunakan alat *Gas Chromatography*:

1. Alat GC dinyalakan dan mengaktifkan metode 8 pada kontrol panel GC
2. Mengatur kondisi operasi GC sesuai Tabel 3.1 di bawah.
3. Mengatur rasio injeksi 1:50
4. Sampel diambil sebanyak 1 micron menggunakan *syringe* dan diinjeksikan
5. Dilakukan analisa komponen oleh GC-MS selama 60 menit
6. Mendapatkan hasil analisa komposisi senyawa

**Tabel 3.1** Kondisi Operasi GC - MS

|                           |                                                                                    |
|---------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Detektor</b>           | <b>Flame ionization</b>                                                            |
| <b>Kolom</b>              | Capillary column VF-1ms 30m x 0.53 mm i.d. DF=1.5<br>Suhu awal 35 °C untuk 2 menit |
| <b>Temperatur Kolom</b>   | Program rate 15 °C per menit                                                       |
| <b>Program</b>            | Suhu akhir 300 °C                                                                  |
| <b>Detektor</b>           | Flame ionization                                                                   |
| <b>Carrier Gas</b>        | Helium 14.7 ml/min<br>Temperature 325 °C                                           |
| <b>Parameter Detektor</b> | Rentang: 12, Elektronik: On                                                        |
| <b>Detektor</b>           | Flame ionization                                                                   |
| <b>Flame Gases</b>        | Hidrogen: 30ml/min<br>Udara: 300ml/min                                             |

#### 3.4.5. Analisis Bilangan Asam

Angka asam adalah jumlah miligram KOH yang diperlukan untuk menetralkan asam bebas dalam 1 g per contoh. Untuk contoh yang mengandung asam bebas terdiri dari asam lemak, angka asam dapat secara langsung diubah dengan faktor yang sesuai untuk persen asam lemak bebas.

Pengujian angka asam mengacu pada ASTM D 664, langkah-langkahnya adalah sebagai berikut :

1. Menimbang sampel alkil ester sebanyak 20 gram ke dalam tabung erlenmeyer 250 ml
2. Menambahkan 100 ml pelarut alkohol 95% ke dalam labu erlenmeyer, kemudian menambahkan 5 ml indikator p-naftolbenzene
3. Melakukan pengadukan menggunakan *magnetic stirrer*
4. Menitrasi larutan pada labu erlenmeyer dengan larutan KOH dalam alkohol sampai berwarna merah jambu atau sampai titik akhir titrasi
5. Mencatat volume titran
6. Menghitung nilai bilangan asam dengan persamaan berikut:

$$\text{Bilangan asam} = \frac{(A-B) \times N \times 56,1}{w} \frac{\text{mg KOH}}{g} \quad (3.5)$$

Dengan keterangan:

A = volume alkali standar dalam ml yang digunakan pada titrasi contoh

B = volume alkali standar dalam ml yang digunakan pada titrasi blanko

N = normalitas alkali standar

W = berat contoh dalam gram

56,1 = berat molekul KOH

#### 3.4.6. Analisis Bilangan Iodin

1. Menimbang 0,1300 ( $\pm 0,02$ ) gram sampel ke dalam Erlenmeyer, kemudian menambahkan 15 ml  $\text{CHCl}_3$  dan 25 ml reagen Wijs. Lalu dibiarkan ditempat gelap dan menunggu selama 60 menit dengan sesekali dikocok kuat
2. Menambahkan larutan KI 10% sebanyak 20 ml ke dalam Erlenmeyer tersebut serta menambahkan aquades yang telah dididihkan sebanyak 150 ml.
3. Larutan tersebut dititrasi dengan larutan  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  0,1 N. Larutan dititrasi sampai berwarna kuning pucat
4. Menambahkan 2 ml amilum dan dititrasi lagi hingga warna biru menghilang
5. Menghitung iodine number dengan persamaan berikut

$$\text{Bilangan Iodin} = \frac{(A-B) \times N \times 12,69}{w} \frac{\text{mg Iodin}}{g} \quad (3.6)$$

Dengan keterangan:

A = volume  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  dalam ml yang digunakan pada titrasi contoh

B = volume  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  dalam ml yang digunakan pada titrasi blanko

N = normalitas  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$

W = berat contoh dalam gram

12,69 = berat molekul iodine

### 3.5. Pengolahan Data

#### 3.5.1. Penamaan Hasil Uji Reaksi

Untuk mempermudah analisis dari sampel dari *renewable diesel*, pada Bab 4 dibuat penamaan sampel berdasarkan kondisi operasi masing-masing sampel. Penamaan tersebut terdapat pada Tabel 3.2 dibawah.

**Tabel 3.2** Penamaan dan Kondisi Operasi Sampel

| Sampel                    | Suhu Reaksi (C) | %Berat Katalis | Gas N2 | Tekanan Reaksi |
|---------------------------|-----------------|----------------|--------|----------------|
| <i>Renewable Diesel A</i> | 370             | 2%             | Tidak  | 4 - 5 Bar      |
| <i>Renewable Diesel B</i> | 370             | 4%             |        |                |
| <i>Renewable Diesel C</i> | 400             | 2%             |        |                |
| <i>Renewable Diesel D</i> | 400             | 4%             |        |                |
| <i>Renewable Diesel E</i> | 400             | 2%             | Ya     |                |

### 3.5.2. Hasil Uji GC – MS

Uji GC-MS dilakukan untuk mengetahui jenis dan komposisi senyawa yang terkandung pada sampel produk. Dari hasil Uji GC-MS didapatkan menunjukkan senyawa yang terkandung pada sampel produk *renewable diesel* ini. Kemudian, data-data tersebut dimasukkan ke dalam Tabel 3.3 berikut.

**Tabel 3.3** Komposisi Senyawa Produk *Renewable Diesel*

| Komposisi        | Sampel |   |   |   |   |
|------------------|--------|---|---|---|---|
|                  | A      | B | C | D | E |
| C12              |        |   |   |   |   |
| C13              |        |   |   |   |   |
| C14              |        |   |   |   |   |
| C15              |        |   |   |   |   |
| C16              |        |   |   |   |   |
| C17              |        |   |   |   |   |
| C18              |        |   |   |   |   |
| <b>Total (%)</b> |        |   |   |   |   |

Dari Hasil uji GC – MS dapat diperoleh hasil konversi, *yield*, dan selektivitas dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Konversi} = \frac{\text{berat produk}}{\text{berat umpan}} \times 100\% \quad (3.8)$$

$$\text{Yield} = \frac{\text{berat produk utama}}{\text{berat produk total}} \times 100\% \quad (3.9)$$

$$\text{Selektivitas} = \frac{\text{komposisi senyawa C12-C18}}{\text{komposisi senyawa total}} \times 100\% \quad (3.10)$$

### 3.5.3. Hasil Uji Reaksi Perengkahan Katalitik Termal

Setelah mendapatkan hasil konversi dan yield dari setiap *renewable diesel* yang disintesis, data tersebut dimasukkan ke dalam Tabel 3.4, dengan tujuan untuk membandingkan hasil *renewable diesel* di setiap kondisi, dan mengetahui kondisi operasi yang menghasilkan *renewable diesel* dengan konversi, *yield*, dan selektivitas terbaik.

**Tabel 3.4** Perbandingan Hasil setiap Kondisi Operasi

| Persentase   | Sampel |   |   |   |   |
|--------------|--------|---|---|---|---|
|              | A      | B | C | D | E |
| Konversi     |        |   |   |   |   |
| <i>Yield</i> |        |   |   |   |   |
| Selektivitas |        |   |   |   |   |

### 3.5.4. Hasil Perbandingan Karakteristik *Renewable Diesel*

Dari *renewable diesel* yang telah disintesis dan diuji, sampel dengan persentase konversi, *yield*, dan selektivitas tertinggi, sebagai sampel terbaik, dibandingkan karakteristiknya dengan bahan bakar solar yang sudah digunakan dan diatur dalam SNI 8220:2017.

Hal ini bertujuan untuk memberikan perbandingan dan gambaran akan kelayakan *renewable diesel* yang dihasilkan untuk bersaing dan bahkan mensubstitusikan bahan bakar yang sudah ada. Format data untuk perbandingan karakteristik dapat dilihat pada Tabel 3.5 berikut ini.

**Tabel 3.5** Perbandingan Karakteristik *Renewable Diesel* yang Dihasilkan

| Parameter         | <i>Renewable Diesel</i> | BBM Solar |
|-------------------|-------------------------|-----------|
| Viskositas        |                         |           |
| Densitas          |                         |           |
| Bilangan Asam     |                         |           |
| Bilangan Iodin    |                         |           |
| Komposisi Senyawa |                         |           |

## BAB 4

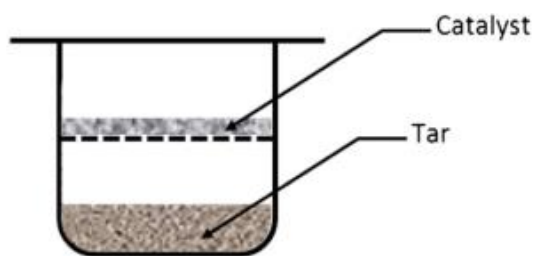
### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1. Hasil Uji Reaksi Perengkahan Katalitik Termal

Uji reaksi perengkahan katalitik ini dilakukan untuk mensintesis *renewable diesel* dari minyak jarak kepyar, dengan tujuan untuk mengetahui kondisi operasi paling baik dari reaksi tersebut. Dimana reaksi perengkahan katalitik ini dilakukan pada suhu 370 °C dan 400 °C, dengan %berat katalis sebesar 2% dan 4% dari umpan, dan waktu reaksi selama 1,5 jam. Selain itu dilakukan juga pengujian reaksi perengkahan katalitik dan termal ini dengan bantuan gas nitrogen, dengan harapan untuk membantu menghilangkan gas oksigen yang terdapat pada reaktor dan pada saat reaksi berlangsung, sehingga dapat diamati dan dianalisis perbedaan dari masing - masing reaksi.

Reaksi ini dilangsungkan pada reaktor *autoclave*, dengan sedikit modifikasi agar dapat mendukung skema reaksi yang diinginkan, yaitu *indirect contact* seperti ilustrasi pada Gambar 4.1 dibawah. Metode *indirect contact* dipilih pada reaksi ini, dengan tujuan untuk mengontakkan bahan baku dengan katalis secara efektif, sehingga reaksi perengkahan katalitik termal dapat terjadi. Dikarenakan apabila katalis MgO yang digunakan langsung tercampur dengan bahan baku (*direct contact*), dikhawatirkan tidak seluruh bahan baku dapat dikontakkan dengan katalis, dan adanya kecenderungan pada bahan baku yang mengendap dan menggumpal saat terkontak dengan katalis secara langsung.

Minyak jarak kepyar sebagai umpan akan dipanaskan hingga menguap, yang kemudian uap tersebut akan dikontakkan dengan katalis yang telah digantungkan di wadah pada bagian atas dari reaktor. Wadah katalis ini terbuat dari *wire mesh* SS304 300 yang dipotong menjadi corong berdiameter 10 cm dan diletakkan di atas pengaduk reaktor, dengan rangkaian final seperti pada Gambar 4.2. Dengan adanya pemanasan dan pengontakkan katalis dengan uap, diharapkan perengkahan dari ikatan rangkap C maupun ikatan C=O dapat terjadi. Selanjutnya uap tersebut akan dialirkan menuju kondenser, dan didinginkan sehingga dapat berubah wujud menjadi fasa cair, yang kemudian dapat diambil sebagai hasil produk utama atau kondensat.

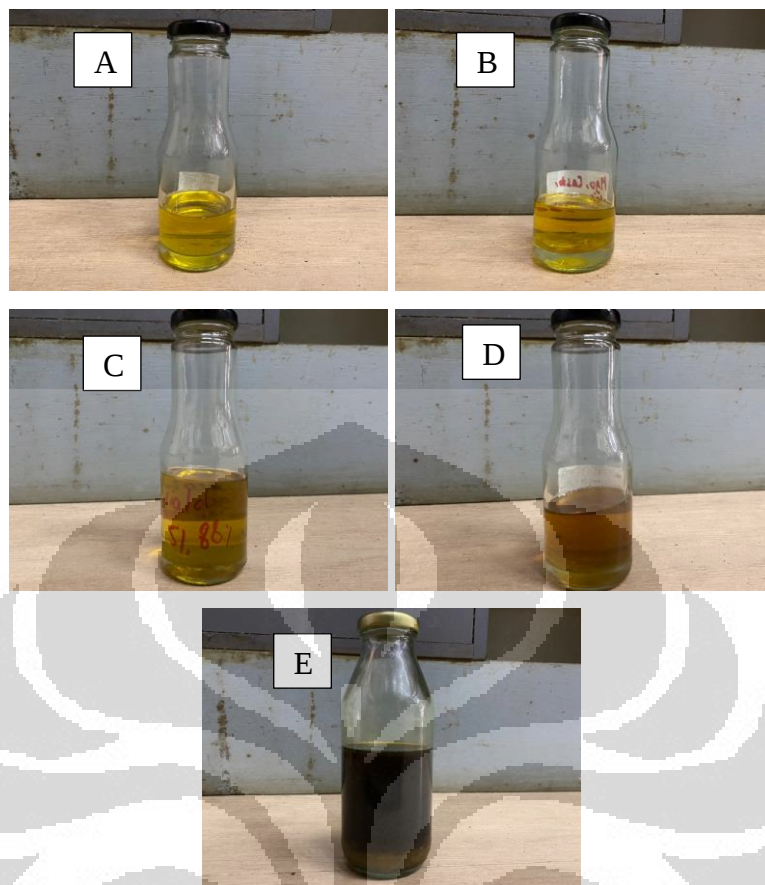


**Gambar 4.1** Skema Reaksi Perengkahan *Indirect Contact*  
(N.laksmono et al, 2013)



**Gambar 4.2** Modifikasi Reaktor untuk Reaksi Perengkahan Katalitik Termal  
(Dokumentasi Penulis, 2022)

Dari hasil pengujian reaksi yang telah dilakukan, dihasilkan kondensat dan endapan produk bawah yang dapat dilihat pada Gambar 4.3 dan 4.4. Untuk produk kondensat yang dihasilkan semuanya bersifat cair, namun dengan tingkat kecerahan warna dan kebeningan yang berbeda. Pada sampel A dan B, yang direaksikan pada suhu 375 °C dengan 2%berat dan 4%berat katalis berurutan, dihasilkan kondensat dengan warna kuning cerah dan bening. Sedangkan saat suhu reaksi ditingkatkan, pada sampel C dan D, yang direaksikan pada suhu 400 °C dengan 2%berat dan 4%berat katalis berurutan, kondensat yang dihasilkan memiliki warna kuning yang lebih pekat dan tidak secerah dua sampel sebelumnya. Untuk pengujian terakhir yaitu sampel E, dengan dialirkan gas nitrogen dan direaksikan pada suhu 400 °C dengan 2%berat katalis, dihasilkan kondensat dengan warna kuning-hitam pekat dan visual yang berbeda cukup jauh dibanding sampel-sampel sebelumnya.



**Gambar 4.3** Hasil Kondesat dari Masing-Masing Sampel Beda Variabel  
(Dokumentasi Penulis, 2022)

Selain dari kondesat sebagai produk cair organik, dari pengujian reaksi perengkahan katalitik dan termal ini juga menghasilkan produk samping berupa *black paste* yang memiliki wujud fisik berwarna hitam, dengan tekstur yang kental, dan juga lengket. Produk samping ini terbentuk akibat sisa minyak jarak kepyar yang dipanaskan, namun tidak menguap, melainkan menggumpal menjadi produk bawah. Produk samping tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.4 dibawah ini.



**Gambar 4.4** Produk Samping dari Reaksi Perengkahan  
(Dokumentasi Penulis, 2022)

Untuk memperoleh produk *renewable diesel* yang murni dan bebas dari pengotor maka dilakukan proses distilasi. Distilasi dilakukan pada beberapa rentang suhu untuk memisahkan hidrokarbon berdasarkan titik didihnya. Dikarenakan yang menjadi tujuan penelitian berupa diesel yang memiliki rantai panjang, maka akan dilakukan distilasi hingga mencapai suhu 270 °C, dimana cairan yang menguap sebelum mencapai suhu 270 °C dapat dianggap sebagai hidrokarbon fraksi ringan, dan zat cair yang masih tertinggal didalam labu saat sudah mencapai suhu 270 °C, merupakan *renewable diesel* yang telah terdistilasi. Distilasi dilakukan dengan menggunakan alat distilasi dengan kapasitas labu distilasi sebesar 500 mL, dan dengan kondensor yang digunakan adalah jenis kondensor Liebig. Rangkaian distilasi menggunakan *thermocouple* yang diletakkan dalam labu distilasi. Rangkaian alat dan juga hasil dari tiap sampel yang telah terdistilasi dapat dilihat pada Gambar 4.5 dan 4.6 berikut.



**Gambar 4.5** Rangkaian Alat Distilasi  
(Dokumentasi Penulis, 2022)



**Gambar 4.6** Produk *Renewable Diesel* setelah Distilasi  
(Dokumentasi Penulis, 2022)

Hasil akhir dari produk *renewable diesel* yang dihasilkan pada setiap sampel dapat dilihat pada Gambar 4.6 diatas. Setelah sampel dipisahkan berdasarkan titik didihnya, senyawa yang tidak menguap setelah suhu pemanasan mencapai 270 °C dapat dianggap sebagai fraksi berat hidrokarbon, yaitu *renewable diesel*. Setelah proses pemanasan dan distilasi berlangsung, sampel hasil sintesis juga mengalami perubahan warna yang cenderung menjadi semakin gelap, dan sedikit lebih kental dibandingkan dengan sebelum dipisahkan.

#### 4.2. Hasil Karakterisasi Sampel Produk

Karakteristik fisik dari suatu bahan bakar akan sangat mempengaruhi kemampuan dan kualitas bahan bakar saat digunakan dalam mesin kendaraan. Sama seperti pada solar konvensional, produk *renewable diesel* yang telah disintesis pada penelitian ini akan diuji dan ditentukan karakteristik fisiknya setelah melalui proses distilasi.

Karakteristik tersebut kemudian akan diperbandingkan dengan standar solar konvensional yang berlaku di Indonesia (SNI 8220:2017), dengan tujuan untuk mengetahui apakah karakteristik *renewable diesel* yang telah disintesis telah memenuhi standar/setara dengan solar konvensional yang beredar dipasaran atau tidak, sehingga dapat memberikan gambaran akan kelayakan *renewable diesel* yang dihasilkan untuk bersaing atau bahkan mensubstitusikan solar konvensional.

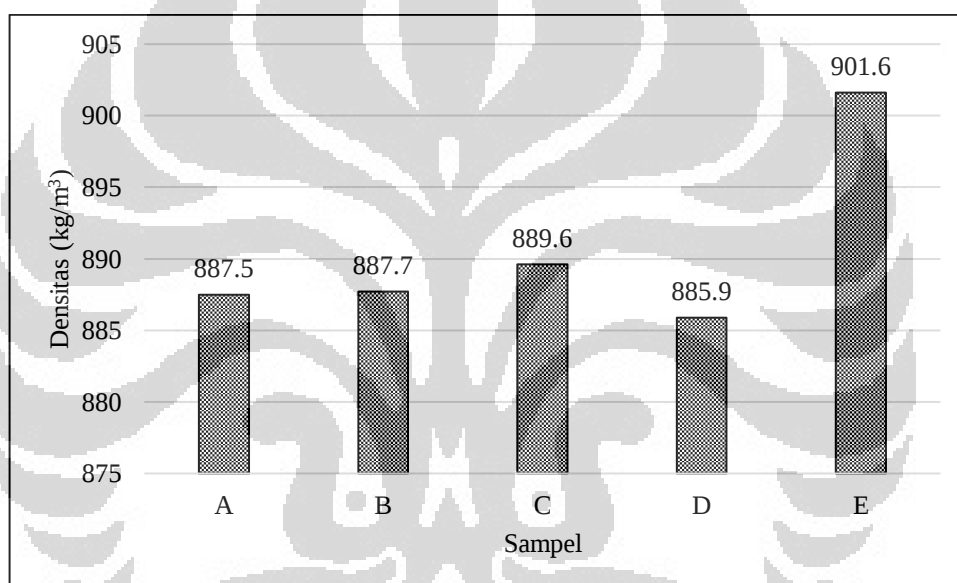
*Renewable diesel* yang telah disintesis juga akan diperbandingkan dengan minyak jarak kepyar sebagai bahan baku, untuk mengetahui sejauh mana aktivitas reaksi perengkahan telah terjadi, dengan mengidentifikasi komponen senyawa yang terkandung pada *renewable diesel* dan pada bahan baku. Pengujian karakteristik yang dilakukan pada penelitian ini adalah pengujian nilai densitas, viskositas, bilangan iodin, dan bilangan asam, yang kemudian diteruskan dengan identifikasi lebih lanjut untuk mengetahui komposisi senyawa melalui instrumen FT-IR dan GC-MS pada subbab berikutnya.

##### 4.2.1. Uji Densitas Sampel Produk

Uji densitas dilakukan dengan menggunakan piknometer dengan volume 10 mL. Nilai densitas dalam bahan bakar akan mempengaruhi nilai energi dari bahan bakar tersebut. Dimana pada mesin diesel, bahan bakar diinjeksikan dalam

basis ukuran volume, maka dengan adanya variasi pada nilai densitas dapat menyebabkan perbedaan *power output*. Semakin tinggi densitas, mengandung nilai energi dan juga kerapatan yang lebih tinggi, sehingga menghasilkan tenaga yang lebih tinggi juga.

Namun apabila nilai densitas ini terlalu tinggi juga, mengakibatkan tingginya kuantitas nilai energi dan kerapatan bahan bakar, dapat menyebabkan bahan bakar tersebut sulit dialirkan dan semakin pendeknya semprotan penetrasi bahan bakar melalui *nozzle*. Berikut adalah perbandingan densitas dari masing-masing sampel *renewable diesel* yang telah disintesis, disajikan pada Gambar 4.7 berikut ini.



**Gambar 4.7** Perbandingan Nilai Densitas Setiap Sampel

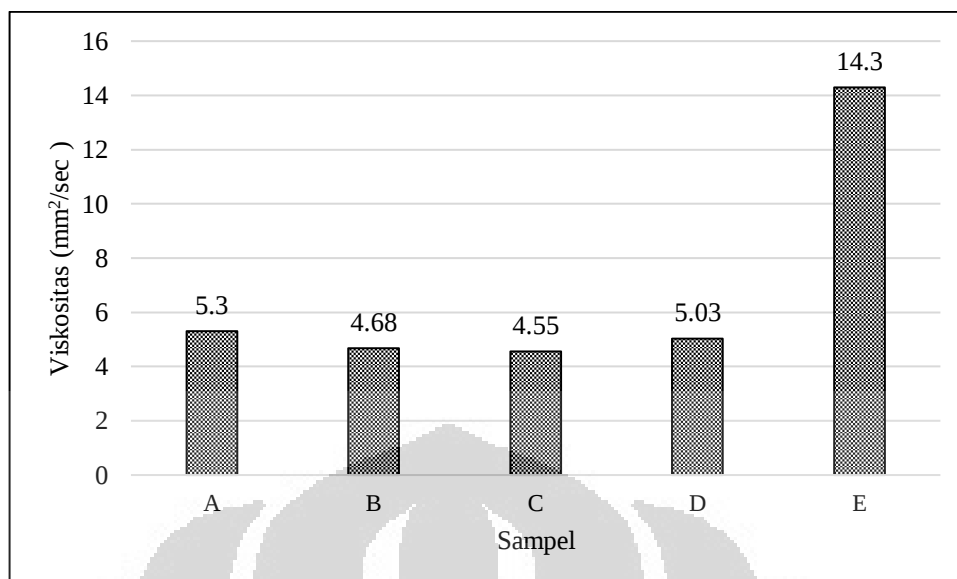
Dari gambar diatas dapat diamati bahwa seluruh sampel A, B, C, D, dan E dari sintesis *renewable diesel* memiliki nilai densitas yang nilainya lebih rendah dibandingkan dengan nilai densitas minyak jarak kepyar saat menjadi bahan baku, yaitu bernilai  $950 \text{ kg/m}^3$ . Hal ini menandakan bahwa telah terjadi reaksi perengkahan katalitik dan termal selama proses sintesis. Dikarenakan reaksi perengkahan akan memutus ikatan rantai karbon panjang yang terkandung pada minyak jarak kepyar, menjadi rantai karbon yang lebih pendek. Pemutusan rantai karbon tersebut akan menurunkan berat molekul produk *renewable diesel*, yang mana berat molekul suatu komponen akan mempengaruhi nilai densitas yang bersangkutan juga.

Kemudian pada sampel A, B, C, dan D, yang merupakan sampel dengan kondisi operasi reaksi perengkahan yang tidak menggunakan gas nitrogen, dengan variabel suhu dan %berat katalis yang berbeda-beda, memiliki nilai densitas yang sudah berada di rentang SNI untuk solar konvensional yaitu pada kisaran 850-890 kg/m<sup>3</sup>. Hasil ini menandakan bahwa produk *renewable diesel* yang dihasilkan pada kondisi operasi sampel A hingga D telah memiliki spesifikasi sama dengan solar konvensional berdasarkan karakteristik densitasnya. Sedangkan pada sampel E, yang merupakan sampel dengan reaksi perengkahan menggunakan gas nitrogen, nilai densitasnya melebihi batas yang disyaratkan pada SNI. Hal ini menunjukkan bahwa pada sampel E, produk masih banyak terkandung ikatan rangkap ataupun rantai karbon panjang yang belum terputus, sehingga reaksi perengkahan dapat dianggap berjalan namun belum sempurna.

#### 4.2.2. Uji Viskositas Sampel Produk

Uji viskositas pada penelitian ini menggunakan alat Stadlinger Viskometer SVM 3000 yang mengacu pada ASTM D7042-04. Nilai viskositas merupakan salah satu parameter fisik yang harus diketahui pada karakteristik suatu bahan bakar. Perlunya nilai viskositas kinematis bahan bakar yang tepat, dan cukup rendah. Karena nilai viskositas yang rendah memudahkan fase penginjeksian bahan bakar melalui *nozzle*, yang mengakibatkan peningkatan kecepatan penyalan (*frame speed*) sehingga mengurangi pembentukan *particulate matter* atau emisi jelaga, dan menghasilkan nyala tenaga yang optimal.

Nilai viskositas yang terlalu tinggi atau kental dapat menyebabkan atomisasi bahan bakar yang kurang baik, sehingga berdampak pada pembakaran yang buruk dan menurunkan tenaga yang dihasilkan. Di sisi lain, nilai viskositas yang terlalu rendah juga dapat mengakibatkan panas berlebih pada ruang mesin, karena kurangnya pelumasan pada dinding piston dan mesin, yang menyebabkan mesin cepat aus dan panas. Berikut adalah perbandingan viskositas dari masing-masing sampel *renewable diesel* yang telah disintesis, disajikan pada Gambar 4.8 berikut ini.



**Gambar 4.8** Perbandingan Nilai Viskositas Setiap Sampel

Telah diketahui sebelumnya bahwa nilai viskositas dari minyak jarak kepyar, sebagai bahan baku pada penelitian ini, berada di angka yang cukup tinggi yaitu 90 mm<sup>2</sup>/sec. Apabila diamati pada Gambar 4.8 diatas, seluruh sampel A, B, C, D, dan E dari sintesis *renewable diesel* memiliki nilai viskositas yang telah mengalami penurunan secara signifikan apabila dibandingkan dengan viskositas bahan baku yang digunakan. Hal ini menandakan terjadinya pemutusan ikatan karboksilat dari rangkaian senyawa minyak jarak kepyar yang mengandung gugus karbonil (CO) dan hidroksil (-OH) saat reaksi perengkahan berlangsung. Dikarenakan pada ikatan karboksilat, gugus hidroksil (-OH) dapat membentuk ikatan hidrogen dengan gugus karbonil (CO) yang menyebabkan ikatan antar molekul menjadi semakin kuat, sehingga meningkatkan nilai viskositas juga.

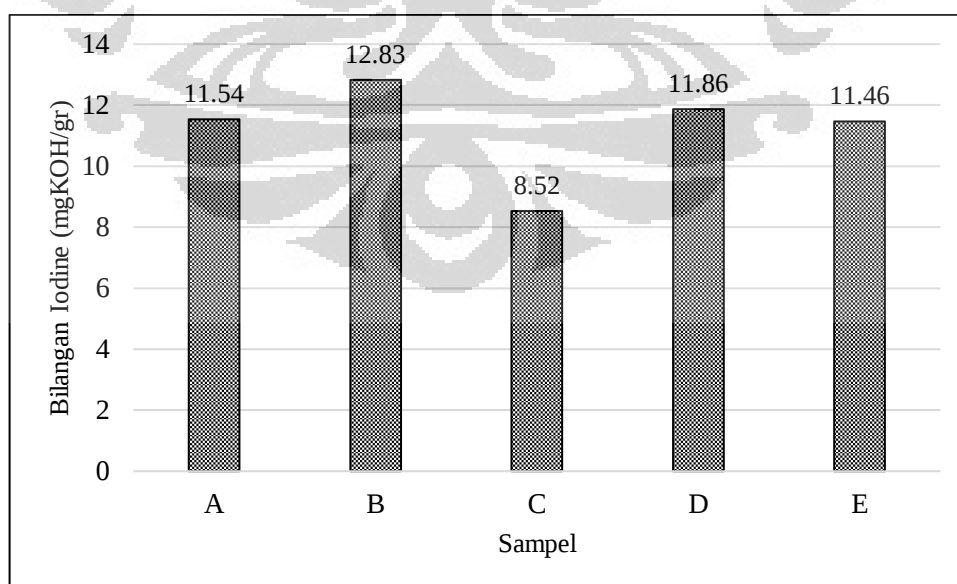
Apabila dibandingkan dengan rentang SNI untuk nilai viskositas bahan bakar solar, yaitu di angka 2,3 – 6,0 mm<sup>2</sup>/sec, hanya sampel A, B, C, dan D yang telah memenuhi persyaratan nilai viskositas tersebut. Dapat dilihat pula bahwa nilai viskositas akan semakin mengecil disaat reaksi berlangsung di suhu yang lebih tinggi, yaitu pada kondisi operasi sampel C di 400 °C dengan 2%berat katalis sedangkan di suhu yang sama namun dengan penambahan jumlah katalis menjadi 4%berat katalis, yaitu kondisi operasi sampel D, nilai viskositasnya naik kembali.

Hal ini dapat disimpulkan bahwa nilai viskositas *renewable diesel* paling baik didapatkan disaat reaksi berjalan pada kondisi operasi sampel C.

Untuk sampel E, yang merupakan satu-satunya sampel dengan reaksi sintesis menggunakan gas nitrogen, didapatkan nilai viskositas yang terpaut lebih tinggi dibandingkan dengan SNI dan keempat sampel lainnya. Hal ini bisa disebabkan oleh masih terkandungnya ikatan karboksilat dari minyak jarak kepyar yang belum terputus seluruhnya, sehingga masih terdapat ikatan hidrogen yang meningkatkan nilai viskositasnya dibandingkan dengan beberapa sampel lainnya.

#### 4.2.3. Uji Bilangan Iodin Sampel Produk

Bilangan iodin merupakan ukuran empirik untuk menentukan jumlah ketidakjenuhan dalam asam lemak. Ketidakjenuhan tersebut berada dalam bentuk ikatan rangkap, yang akan bereaksi dengan senyawa iodin. Bilangan iodin dinyatakan dalam sentigram iodium yang diabsorpsi pergram sampel. Semakin tinggi bilangan iodin, semakin banyak pula ikatan rangkap yang ada pada senyawa tersebut dikarenakan lemak yang tidak jenuh dengan mudah dapat bersatu dengan iodium tersebut. Sehingga apabila bilangan iodin yang dimiliki semakin rendah, maka kualitas *renewable diesel* yang dihasilkan semakin baik. Karena dengan tidak adanya ikatan rangkap, kualitas pembakaran akan semakin baik. Berikut adalah perbandingan bilangan iodin dari masing-masing sampel *renewable diesel* yang telah disintesis, disajikan pada Gambar 4.9 berikut ini.

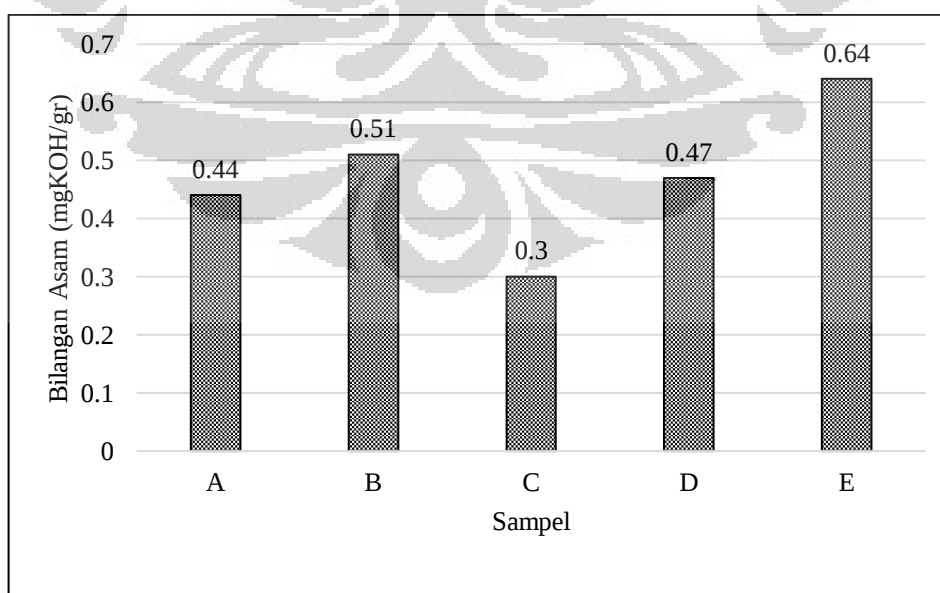


**Gambar 4.9** Perbandingan Bilangan Iodin Setiap Sampel

Dapat diamati pada gambar diatas bahwa seluruh sampel A, B, C, D, dan E dari penelitian ini memiliki nilai bilangan iodin pada kisaran yang sama, dengan sampel C pada kondisi operasi 400 °C dengan 2%berat katalis memiliki nilai terkecil dibandingkan sampel lainnya. Hasil pengujian bilangan iodin ini dapat dianggap cukup kecil dan sangat baik sebagai salah satu karakteristik bahan bakar, dimana hasil ini menandakan reaksi perengkahan secara katalitik termal telah berjalan dengan hasil yang diharapkan yaitu pemutusan ikatan rangkap pada senyawa sampel pun telah tercapai. Dengan rendahnya nilai dari bilangan iodin ini menunjukkan jumlah ikatan tak jenuh sudah sangat sedikit, dan dapat diamati lebih detail apabila telah dilakukan analisis kandungan senyawa pada pembahasan berikutnya.

#### 4.2.4. Uji Bilangan Asam Sampel Produk

Bilangan asam merupakan parameter dalam karakteristik bahan bakar yang merupakan perhitungan kadar asam lemak bebas yang terkandung dalam suatu bahan bakar, dimana bilangan asam ini didapatkan berdasarkan jumlah milligram KOH yang dibutuhkan untuk menetralkan asam lemak bebas dari satu gram minyak ataupun lemak. Bilangan asam yang tinggi akan mempengaruhi tingkat keasaman dan korosifitas dari bahan bakar tersebut. Terdapat perbandingan bilangan asam dari masing-masing sampel *renewable diesel* yang telah disintesis, yang disajikan pada Gambar 4.10 berikut ini.



**Gambar 4.10** Perbandingan Bilangan Asam Setiap Sampel

Pada gambar dapat diamati bahwa hampir seluruh sampel dari penelitian ini berada di batas persyaratan SNI dengan nilai bilangan asam maksimal sebesar 0,5 mgKOH/gr. Dengan sampel B yang sedikit melewati batas, dan Sampel E yang merupakan produk *renewable diesel* dengan menggunakan gas nitrogen memiliki nilai bilangan asam yang terpaut diatas batas maksimal yang tertera pada SNI. Dimana dari hasil pengujian ini dapat disimpulkan bahwa telah terjadi pemecahan ikatan tak jenuh yang terkandung pada senyawa, sehingga terjadi penurunan dari nilai bilangan asam yang ada.

#### 4.2.5. Perbandingan Karakteristik Produk dengan Solar Konvensional

Berdasarkan dari analisis dan penjelasan yang telah dijabarkan pada subbab diatas, dapat dilihat bahwa sampel C dari sintesis *renewable diesel* merupakan sampel dengan karakteristik paling baik dibandingkan keempat sampel lainnya. Sampel C merupakan sampel yang direaksikan pada kondisi operasi 400 °C, dengan 2%berat katalis MgO, dan tanpa dialiri gas nitrogen selama reaksi berlangsung.

Sebagai sampel dengan karakteristik paling baik, sampel C akan diperbandingkan dengan syarat mutu SNI 8220:2017, sehingga dapat diamati apakah sampel C juga dapat bersaing dan memenuhi syarat dari solar konvensional yang digunakan di Indonesia.

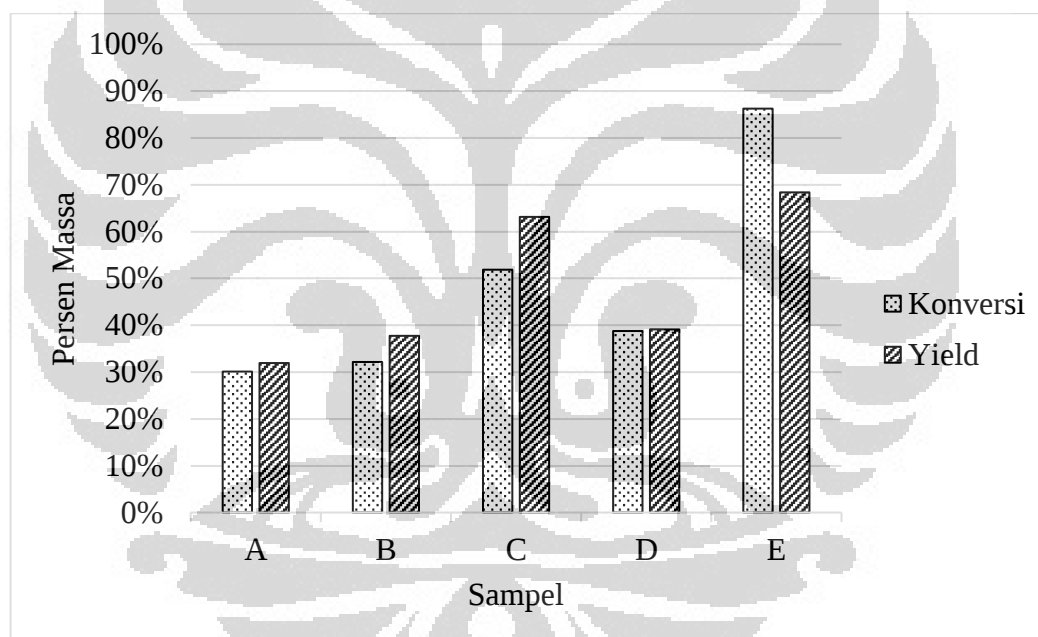
**Tabel 4.1** Perbandingan Karakteristik Sampel C dengan Solar Konvensional

| Parameter       | Satuan               | Sampel C | Solar Konvensional (SNI 8220:2017) |
|-----------------|----------------------|----------|------------------------------------|
| Bilangan Asam   | mgKOH/gr,            | 0,3      | 0,5 (maksimum)                     |
| Bilangan Iodine | mgKOH/gr             | 8,52     | -<br>(Semakin rendah semakin baik) |
| Densitas        | kg/m <sup>3</sup>    | 889,6    | 850 - 890                          |
| Viskositas      | mm <sup>2</sup> /sec | 4,55     | 2,3 - 6                            |

Berdasarkan perbandingan yang telah dipaparkan pada Tabel 4.1 diatas, diperoleh bahwa sampel C telah memenuhi seluruh standar dari beberapa parameter yang ada pada solar konvensional. Dan tentu tidak menutup kemungkinan, dengan penelitian lebih lanjut, minyak jarak kepyar ini dapat menjadi bahan baku untuk *renewable diesel* yang dapat menggantikan solar konvensional secara menyeluruh di masa depan.

### 4.3. Konversi dan Yield Hasil Produk

Dalam proses reaksi sintesis *renewable diesel* dari penelitian ini, besarnya konversi, yaitu persentase perubahan dari bahan baku minyak jarak kepyar menjadi produk cair organik, dan *yield*, persentase *biofuel* atau *renewable diesel* yang dihasilkan, dapat menjadi faktor pertimbangan dalam kelayakan berjalannya reaksi. Variabel ini pun dapat dipengaruhi oleh banyak faktor, seperti tekanan, suhu, waktu reaksi, jenis katalis yang digunakan, dan bahkan dari bahan baku itu sendiri. Sehingga pada penelitian ini variabel yang diamati ialah suhu reaksi, jenis katalis yang digunakan, dan ada atau tidaknya gas nitrogen, agar dapat mengetahui keberhasilan dari reaksi perengkahan katalitik termal yang dilakukan. Pada Gambar 4.11 dan Tabel 4.2 berikut ini dapat dilihat perbandingan setiap sampel pada nilai konversi dan *yield* yang dihasilkan.



Gambar 4.11 Perbandingan Konversi dan Yield Setiap Sampel

Dapat diamati dari gambar dan tabel berikut, bahwa sampel yang direaksikan pada suhu 370 °C baik dengan 2%berat ataupun 4%berat katalis (Sampel A dan Sampel B), menghasilkan konversi dari minyak jarak kepyar menjadi produk organik cair dengan persentase terendah dengan nilai 30,16% dan 32,15%, begitu juga dengan *yield renewable diesel* yang dihasilkan yaitu pada 31,92% dan 37,73%. Hal tersebut mungkin terjadi akibat suhu reaksi yang masih terlalu dekat dengan suhu penguapan bahan baku minyak jarak kepyar yaitu pada

320 °C, sehingga menyebabkan banyak minyak jarak kepyar yang belum menguap dan tidak bereaksi sehingga menjadi produk samping *black paste*.

Apabila reaksi dinaikkan menjadi 400 °C, pada saat digunakan katalis dengan 2%berat, menghasilkan konversi produk organik cair dan *yield renewable diesel* yang lebih tinggi secara signifikan dibandingkan sampel lainnya, yaitu dengan nilai konversi 51,88%, dan *yield* 63,14% untuk sampel C. Dan juga nilai konversi 86,25%, dan *yield* 68,34% untuk sampel E. Namun pada saat suhu reaksi 400 °C dan jumlah katalis ditambah menjadi 4%berat, persentase konversi dan *yield* yang dihasilkan menurun dan cenderung mendekati nilai dari persentase konversi dan *yield* pada sampel A dan B yaitu dengan nilai konversi 38,76% , dan nilai *yield* 39,05%.

**Tabel 4.2** Perbandingan Nilai Konversi dan Yield Setiap Sampel

| <b>Sampel</b> | <b>Suhu Reaksi (°C)</b> | <b>%Berat Katalis</b> | <b>Konversi</b> | <b>Yield</b> |
|---------------|-------------------------|-----------------------|-----------------|--------------|
| A             | 370                     | 2%                    | 30,16%          | 31,92%       |
| B             | 370                     | 4%                    | 32,15%          | 37,73%       |
| C             | 400                     | 2%                    | 51,88%          | 63,14%       |
| D             | 400                     | 4%                    | 38,76%          | 39,05%       |
| E             | 400                     | 2%                    | 86,25%          | 68,43%       |

Saat dibandingkan kedua sampel dengan nilai konversi dan *yield* tertinggi pada reaksi penelitian ini, kedua sampel C dan E, memiliki kondisi operasi yang sama. Perbedaannya hanya terletak pada penggunaan nitrogen, dimana sampel E menggunakan gas nitrogen untuk meminimalisir adanya kandungan oksigen pada reaktor. Adanya penggunaan gas nitrogen pada sampel E ini ternyata menghasilkan nilai konversi tertinggi dibandingkan dengan seluruh sampel tetapi dengan *yield* yang tidak terpaut jauh dari sampel C. Tetapi hal tersebut tidak menggambarkan secara keseluruhan kualitas dari sampel E, dimana setelah dilakukan analisis, sampel E merupakan satu-satunya sampel yang tidak memenuhi standar batas SNI 8220:2017, dan cenderung memiliki sifat fisik yang buruk.

Sehingga dapat disimpulkan, Sampel C dengan reaksi yang dijalankan pada suhu 400 °C, 2%berat katalis dan tidak menggunakan gas nitrogen merupakan kondisi operasi terbaik untuk penelitian ini. Dapat menghasilkan nilai konversi dan

yield kedua tertinggi dari keseluruhan sampel dan juga karakteristik sifat fisik dan kimia, yang setelah dianalisis, mampu memenuhi syarat dari SNI 8220:2017.

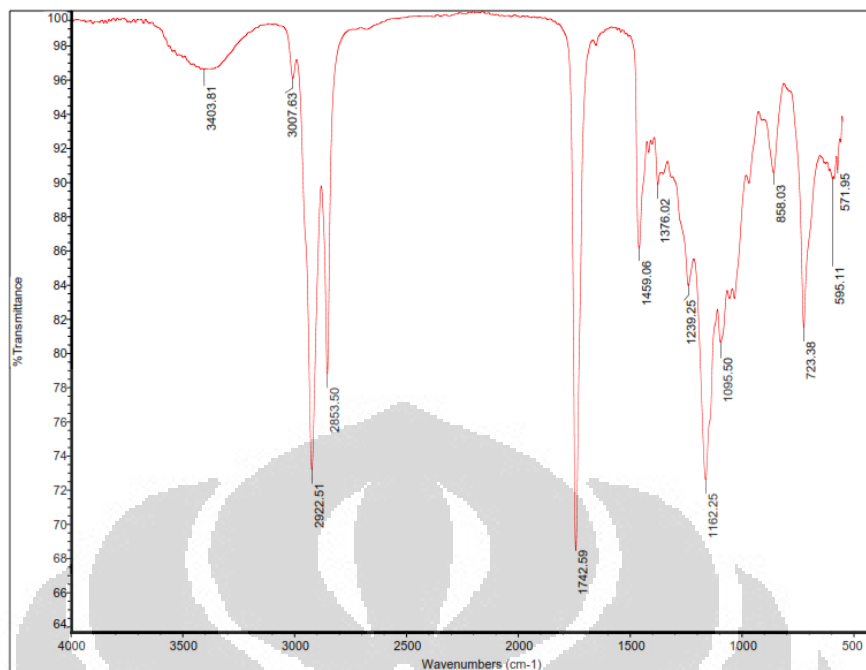
#### **4.4. Identifikasi Kandungan Gugus Fungsi dan Komponen Senyawa**

##### **4.4.1. Identifikasi Gugus Fungsi Sampel Produk**

Dilakukan analisis secara kualitatif dengan mengidentifikasi gugus fungsi yang terkandung pada sampel *renewable diesel* hasil sintesis penelitian ini, yang kemudian akan dibandingkan dengan minyak jarak kepyar sebagai bahan baku. Identifikasi gugus fungsi ini menggunakan alat FT-IR, dimana spektrum IR yang dihasilkan dapat menggambarkan keberadaan suatu gugus fungsi ataupun ikatan senyawa yang terkandung dalam sampel yang diuji berdasarkan dari tipe vibrasi masing-masing molekul.

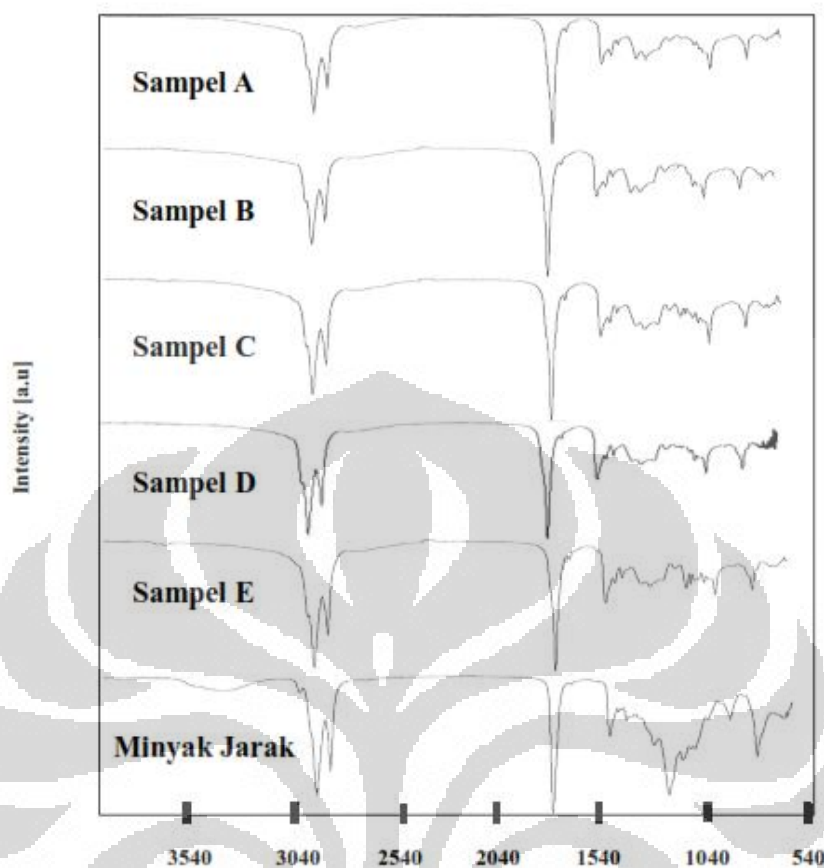
Banyak atau sedikitnya keberadaan gugus fungsi ataupun ikatan senyawa yang terkandung dari sampel tersebut dapat diketahui melalui besaran sinar IR yang diteruskan saat ditembakkan, atau dikenal dengan transmisi (%T). Apabila %T dari suatu sampel rendah pada rentang bilangan gelombang tertentu, menandakan tingginya sinar IR yang terserap oleh gugus fungsi atau ikatan senyawa yang terdeteksi pada rentang gelombang tersebut. Sehingga dapat diketahui bahwa terdapat keberadaan gugus fungsi atau ikatan senyawa yang dominan pada sampel. Demikian juga sebaliknya apabila %T tinggi pada rentang bilangan gelombang tertentu, menandakan bahwa tidak ada atau sangat rendahnya kandungan gugus fungsi ataupun ikatan senyawa pada sampel tersebut, dikarenakan banyaknya sinar IR yang diteruskan dan tidak terserap.

Dari pengujian ini akan diamati masing-masing spektrum IR yang dihasilkan oleh setiap sampel, dan juga akan dibandingkan dengan spektrum minyak jarak sebagai bahan baku. Sehingga dapat diamati kandungan gugus fungsi dan ikatan senyawa dari setiap sampel, dan juga adanya indikator berhasil atau tidaknya reaksi perengkahan katalitik termal dengan membandingkan spektrum minyak jarak kepyar dengan sampel. Hasil dari pengukuran spektrum untuk masing-masing sampel, dan juga spektrum minyak jarak kepyar, dapat dilihat pada Gambar 4.12 dan 4.13 dibawah ini.



Gambar 4.12 Hasil Spektrum Minyak Jarak Kepyar

Dapat diamati bahwa pada hasil spektra dari minyak jarak kepyar, masih terdeteksi adanya serapan pada bilangan gelombang  $3400\text{cm}^{-1}$  dan  $3000\text{cm}^{-1}$  yang menandakan adanya ikatan rangkap pada rantai karbon minyak jarak kepyar. Dimana serapan pada bilangan gelombang  $3400\text{cm}^{-1}$  menandakan terkandungnya gugus alkuna pada minyak jarak kepyar, dan serapan pada bilangan gelombang  $3000\text{cm}^{-1}$  menandakan terkandungnya gugus alkena pada minyak jarak kepyar. Dapat dilihat bahwa sebelum reaksi sintesis dilakukan, terdapat kandungan ikatan rangkap dua maupun rangkap tiga pada bahan baku. Apabila kandungan tersebut tidak terengkah dan masih terbawa pada saat sampel *renewable diesel* telah disintesis, dapat mempengaruhi hasil dan kualitas dari bahan bakar yang dihasilkan. Setelah mengetahui spektrum dari bahan baku, dapat kemudian dibandingkan dengan spektrum dari setiap sampel, pada *overlay* gambar berikut ini.



**Gambar 4.13** Perbandingan Hasil Spektrum Setiap Sampel

Dapat diamati dari Gambar 4.13 yang merupakan hasil spektrum dari masing-masing sampel, bahwa serapan pada bilangan gelombang  $3400\text{ cm}^{-1}$  dan  $3000\text{ cm}^{-1}$  yang terdapat pada rantai karbon minyak jarak kepyar, tidak terdeteksi lagi pada seluruh sampel yang disintesis. Sehingga dapat disimpulkan bahwa reaksi perengkahan katalitik termal telah terjadi dan berhasil dilakukan penjenruhan ikatan rangkap yang tadinya terkandung pada minyak jarak kepyar.

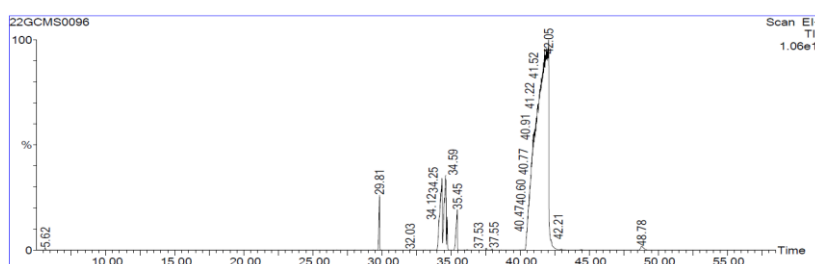
Kemudian dapat diamati pada spektrum minyak jarak kepyar terdapat serapan yang tinggi pada rentang bilangan gelombang  $2920\text{ cm}^{-1}$  dan  $2850\text{ cm}^{-1}$ . Dan serapan yang tinggi pada rentang gelombang ini pun masih terbawa dan terkandung saat sampel *renewable diesel* telah disintesis. Serapan pada rentang gelombang  $2920\text{ cm}^{-1}$  mengindikasikan adanya ikatan C-H dan C-C, dan serapan pada rentang gelombang  $2850\text{ cm}^{-1}$  mengindikasikan adanya pita serapan khas dari hidrokarbon alifatik, seperti vibrasi ulur asimetri dan simetri C-H. Dari tingginya

serapan pada rentang gelombang tersebut menunjukkan bahwa seluruh sampel hasil sintesis ini mengandung senyawa dengan atom C dan H.

Namun sayangnya, dari uji analisis FTIR ini juga terlihat bahwa dari bahan baku minyak jarak kepyar memiliki tingkat serapan pada rentang gelombang  $1710\text{ cm}^{-1}$  yang menandakan adanya ikatan C=O atau gugus karboksilat. Adapun serapan pada rentang gelombang ini setelah reaksi perengkahan katalitik termal dilakukan, masih terkandung dan tidak berkurang secara signifikan pada seluruh sampel. Sehingga disimpulkan perengkahan memang benar terjadi, dilihat dari perubahan sifat-sifat fisik pada analisis sebelumnya, namun belum sesuai dengan tujuan dari penelitian ini, yaitu untuk memutus ikatan C=O atau gugus karboksilat pada minyak nabati melalui reaksi dekarboksilasi. Hal ini juga dapat dijustifikasi lebih lanjut dengan melihat kandungan komponen senyawa secara spesifik dengan identifikasi melalui GC-MS pada penjelasan di subbab setelah ini.

#### 4.4.2. Identifikasi Komponen Senyawa pada Sampel Produk

Dengan adanya indikasi secara kualitatif bahwa reaksi perengkahan katalitik termal pada penelitian ini tidak berjalan sesuai dengan tujuan utama, yaitu pemutusan ikatan C=O, dilakukan pengujian secara kuantitatif menggunakan kromatografi gas. Untuk mengkonfirmasi apakah struktur hidrokarbon minyak jarak kepyar telah berubah strukturnya. Selain itu, analisa menggunakan kromatografi gas juga dapat digunakan untuk menentukan secara spesifik senyawa-senyawa lain yang terkandung dalam produk renewable diesel yang ikut terbentuk selama reaksi perengkahan katalitik termal. Gas kromatografi yang digunakan adalah kromatografi gas-spektra massa (GC-MS) yang dapat memisahkan komponen-komponen campuran *renewable diesel* dan diidentifikasi sebagai suatu senyawa tertentu oleh spektra massa sebagai detektor. Hasil analisa GC-MS untuk bahan baku minyak jarak kepyar adalah sebagai berikut.



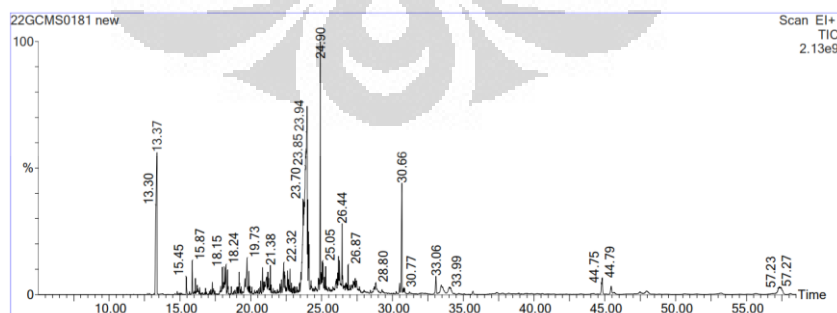
Gambar 4.14 Hasil Grafik GC-MS Minyak Jarak Kepyar

**Tabel 4.3** Komposisi Senyawa Tertinggi pada Minyak Jarak Kepyar

| No. | RT<br>(detik) | Area<br>(%) | Senyawa                | Rumus<br>Senyawa  |
|-----|---------------|-------------|------------------------|-------------------|
| 1   | 42,05         | 86,59       | <i>Ricinoleic Acid</i> | $C_{18}H_{34}O_3$ |
| 2   | 34,34         | 4,76        | <i>Linoleic Acid</i>   | $C_{18}H_{32}O_2$ |
| 3   | 34,59         | 4,74        | <i>Oleic Acid</i>      | $C_{18}H_{34}O_2$ |
| 4   | 35,45         | 1,92        | <i>Stearic Acid</i>    | $C_{18}H_{36}O_2$ |
| 5   | 29,81         | 1,4         | <i>Palmitic Acid</i>   | $C_{16}H_{32}O_2$ |

Dapat diamati pada Gambar 4.14 dan Tabel 4.3 bahwa bahan baku minyak jarak kepyar yang digunakan, memiliki kandungan senyawa terbanyak pada rantai C18, yaitu asam risinoleat dengan persentase sebesar 86,59% kemudian diikuti dengan asam linoleat dan asam oleat pada 4,76% dan 4,74% masing – masing. Diketahuinya komposisi kandungan senyawa awal pada bahan baku sebelum reaksi dilakukan, agar dapat diamati dan dibandingkan dengan jelas perbedaan komponen yang terkandung pada senyawa saat sebelum dan setelah reaksi perengkahan katalitik termal dilakukan, dan juga untuk mengetahui apakah reaksi ini pun telah berhasil dijalankan sesuai secara teoritis.

Pada analisis ini, tidak seluruh sampel hasil reaksi akan di uji menggunakan GC-MS, melainkan hanya sampel C, yang direaksikan pada suhu 400 °C dengan 2%berat katalis. Sampel C dipilih berdasarkan dari analisis sifat – sifat fisik sebelumnya, sampel ini memiliki nilai dan kualitas terbaik dibandingkan dengan keempat sampel lainnya. Sehingga hasil analisa GC-MS untuk menganalisis komponen rantai karbon sampel C dapat dilihat pada Gambar 4.15 dan Tabel 4.3 berikut.

**Gambar 4.15** Hasil Grafik GC-MS Sampel C

**Tabel 4.4** Komposisi Senyawa Tertinggi pada Sampel C

| No. | RT<br>(detik) | Area<br>(%) | Senyawa                     | Rumus<br>Senyawa  |
|-----|---------------|-------------|-----------------------------|-------------------|
| 1   | 23,97         | 30,56       | <i>Undecylenic Acid</i>     | $C_{11}H_{20}O_2$ |
| 2   | 13,37         | 10,33       | <i>Heptanal</i>             | $C_7H_{14}O$      |
| 3   | 24,9          | 6,89        | <i>2-Nonenal, 2-pentyl-</i> | $C_{14}H_{26}O$   |
| 4   | 23,99         | 6,33        | <i>Undecanoic Acid</i>      | $C_{11}H_{22}O_2$ |
| 5   | 33,44         | 5,05        | <i>Oxalic Acid</i>          | $C_2H_2O_4$       |

Sesuai pengamatan sebelumnya bahwa pada reaksi perengkahan yang terjadi pada sampel C, tidak menghasilkan *renewable diesel* dengan selektivitas yang tinggi pada rentang rantai karbon C12 hingga C18, khususnya pada persentase rantai karbon C16 yang rendah, padahal seharusnya terkandung tinggi pada sebuah bahan bakar diesel.

Sebagai perbandingan, pada bahan baku minyak jarak kepyar yang digunakan terkandung lebih dari 86,59% asam ricinoleat dengan rantai karbon C18. Namun setelah reaksi perengkahan katalitik dilakukan, sampel *renewable diesel* yang dihasilkan malah memiliki persentase tertinggi pada rantai karbon C11 (30,89%) dan juga C7 (10,33%), dengan kandungan oksigenat yang masih tinggi juga, dilihat dari adanya senyawa *undecylenic acid* ( $C_{11}H_{20}O_2$ ), heptanal ( $C_7H_{14}O$ ), *undecanoic acid* ( $C_{11}H_{22}O_2$ ), dan sebagainya.

Hal ini sesuai dengan dugaan pada analisis subbab sebelumnya, bahwa memang benar reaksi perengkahan telah terjadi, namun tidak sesuai dengan harapan pada ikatan C=O yang idealnya akan memutus gugus – gugus oksigenat yang terkandung pada bahan baku, seperti gugus asam karboksilat, dan mengubahnya kandungannya menjadi senyawa hidrokarbon rantai lurus. Melainkan, senyawa yang terputus atau terengkah pada reaksi ini adalah rantai C – C yang ada pada senyawa rantai panjang C18, dan memperpendeknya menjadi oksigenat dengan rantai karbon C7 dan C11. Hal ini juga diperkuat dengan adanya perubahan karakteristik fisik dari sampel *renewable diesel* dibanding dengan bahan baku awal, yang ternyata penurunan atau perubahan nilai sifat fisik tersebut bukan akibat dari pemutusan gugus karboksilat atau ikatan C=O, namun karena memendeknya rantai ikatan C tersebut.

#### 4.5. Perbandingan Reaksi Perengkahan Katalitik Termal dengan Variasi

Dengan adanya ketidakberhasilan pada reaksi yang diinginkan, dengan tidak dihasilkannya rantai karbon C12 hingga C18 yang menjadi komponen rantai karbon utama dari sebuah bahan bakar diesel, dilakukan perbandingan reaksi perengkahan menggunakan katalis MgO, namun dengan beberapa variasi sebagai berikut:

1. Reaksi perengkahan minyak jarak kepyar, dengan bantuan gas nitrogen
2. Reaksi perengkahan minyak jarak kepyar, dengan *pre-treatment* hidrolisis
3. Reaksi perengkahan lemak sapi (*beef tallow*), dengan katalis MgO

Dilakukannya beberapa reaksi ini kembali, dengan beberapa perubahan variasi. Pada prosesnya, diharapkan dapat mengidentifikasi dan menganalisa penyebab gagal didapatkannya fraksi karbon diesel pada penelitian ini.

##### 4.5.1. Perengkahan Katalitik Minyak Jarak Kepyar dengan Gas Nitrogen

Reaksi perengkahan katalitik termal dengan adanya aliran gas nitrogen awalnya direncanakan sebagai variabel pembanding dengan keempat sampel lainnya yang tidak menggunakan gas nitrogen. Namun dengan tidak didapatkannya senyawa *renewable diesel* dengan fraksi rantai karbon yang sesuai, hasil pengamatan dari reaksi perengkahan katalitik termal menggunakan gas nitrogen ini dapat dianalisis sebagai variasi untuk mengidentifikasi dan menganalisa kurang berhasilnya reaksi pada penelitian ini.

Reaksi ini diawali dengan langkah prosedur yang sama dengan setiap sampel lainnya, namun sebelum reaksi dimulai, reaktor akan disambungkan dengan tabung gas nitrogen yang tersedia, dan sebelum proses pemanasan oleh *heating jacket*, valve gas akan dibuka untuk mengalir bagian dalam reaktor dengan nitrogen. Hal ini dilakukan dengan tujuan *purging* atau pengusiran gas oksigen yang terkandung di dalam reaktor ataupun yang masuk dari pipa kondensor hingga mencapai kadar yang sedikit. Pengaliran gas nitrogen ini akan berjalan secara terus menerus hingga reaksi selesai. Dengan adanya pengaliran gas nitrogen ini, secara teoritis akan menghasilkan nilai konversi dan *yield* produk cair organik yang lebih signifikan persentasenya.

Reaksi ini masih menggunakan minyak jarak kepyar, dengan kondisi operasi yang sama dengan hasil sampel terbaik, yaitu sampel C, pada 400 °C dan 2%Berat katalis dengan katalis yang sama pula yaitu magnesium oksida (MgO). Dan seperti yang telah dibahas pada subbab sebelum ini, benar sampel E dengan adanya aliran gas nitrogen menghasilkan sampel dengan konversi dan *yield* terbesar. Namun sayangnya hal tersebut diikuti dengan adanya karakteristik sifat fisik yang tidak cukup baik.

Dari segi identifikasi gugus fungsi dan komponen pun dapat dilihat bahwa reaksi dengan menggunakan aliran gas nitrogen tetap tidak menghasilkan reaksi perengkahan katalitik termal yang memutus ikatan C=O. Sehingga apabila disimpulkan, sebenarnya reaksi ini secara teoritis hampir berhasil, namun dengan beberapa keterbatasan yang terjadi, dengan digunakannya reaktor autoclave berpengaduk ini. Pertama *purging* nitrogen tidak dapat dilakukan secara efisien, karena tetap reaktor bersifat *semi batch* dan perlu dibuka kembali untuk memasukkan bahan baku, sehingga meningkatkan kemungkinan kembali masuknya gas oksigen setelah *purging* dilakukan. Kedua, berdasarkan literatur, perengkahan dengan ketiadaan gas oksigen seharusnya dilakukan pada suhu yang lebih tinggi yaitu pada kisaran 500 - 600 °C, yang tidak mampu dicapai oleh reaktor *autoclave* yang digunakan pada penelitian ini.

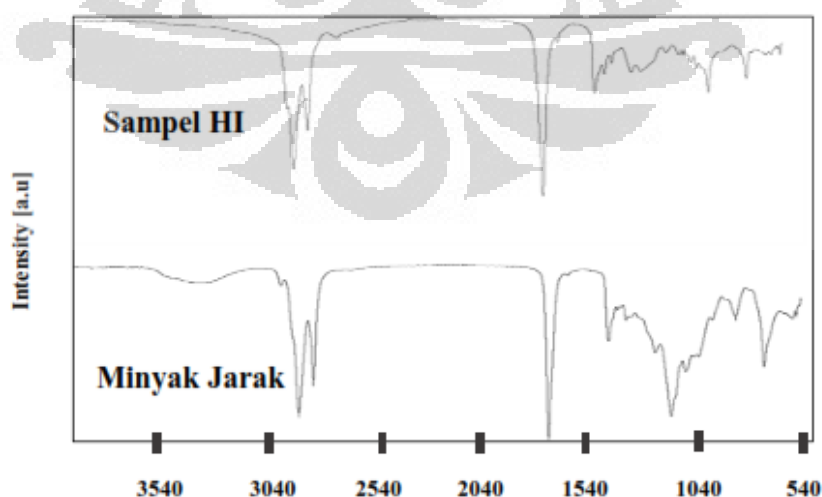
#### 4.5.2. Perengkahan Katalitik Minyak Jarak Kepyar dengan Hidrolisis

Dilakukan reaksi perengkahan katalitik termal pada minyak jarak kepyar kembali, dengan kondisi operasi yang sama dengan hasil sampel terbaik, yaitu sampel C, pada 400 °C dan 2%berat katalis dengan katalis yang sama pula yaitu magnesium oksida (MgO). Namun sebagai variasi percobaan untuk terus menganalisa dan mengidentifikasi penyebab kurang berhasilnya reaksi pada penelitian ini, dilakukan *pre-treatment* berupa hidrolisis terhadap minyak jarak kepyar yang akan digunakan. Hidrolisis ini bertujuan untuk merubah trigliserida menjadi asam lemak dan gliserol. Dimana dengan terpisahnya gliserol dapat membantu mengarahkan reaksi perengkahan untuk pada asam lemak yang dihasilkan.

Prosedur proses hidrolisis ini dilakukan berdasarkan dari tahapan penelitian yang telah dilakukan oleh Setyoprato (2012), yaitu dengan tahapan sebagai berikut:

1. Minyak jarak kepyar dicampur ke dalam air dengan perbandingan 1:2
2. Kemudian campuran zat cair tersebut akan dipanaskan hingga mencapai suhu 80 °C
3. Setelah suhu mencapai 80 °C, diteteskan katalis HCL pekat sebanyak 1%
4. Dilakukan pengadukan semenjak pemanasan dimulai hingga reaksi selesai selama 2 jam
5. Akan terbentuk produk dengan 2 fasa, asam lemak bebas di fasa atas sedangkan air dan gliserol di fasa bawah, yang akan dipisahkan dengan corong pisah

Setelah proses hidrolisis selesai dilakukan, asam lemak yang telah dipisahkan baru akan melalui reaksi perengkahan katalitik termal. Diharapkan dengan adanya *pre-treatment* hidrolisis ini dapat mengurangi gugus karboksilat yang terkandung dalam minyak jarak kepyar, dan mengarahkan reaksi perengkahan katalitik termal yang sesuai dengan tujuan penelitian ini. Berikut adalah hasil spektrum FT-IR dari sampel HI yang telah direaksikan dan dilakukan *pre-treatment* hidrolisis, serta spektrum dari minyak jarak kepyar sebagai pembanding.



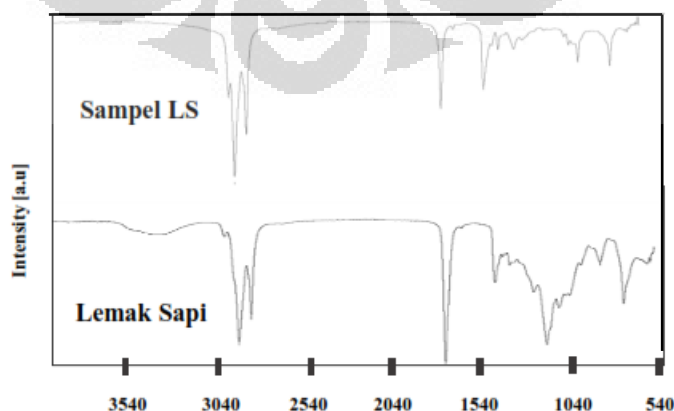
**Gambar 4.16** Perbandingan Hasil Spektrum Reaksi dengan Hidrolisis

Dapat diamati dari perbandingan Gambar 4.16 diatas, bahwa hasil dari reaksi yang dilakukan masih memiliki kesamaan dengan kasus sampel sebelumnya, dimana tidak ada penurunan pada tingkat serapan di rentang gelombang  $1700\text{ cm}^{-1}$ . Hal tersebut kembali menandakan bahwa ikatan  $\text{C}=\text{O}$  pada setelah reaksi perengkahan katalitik termal dilakukan, masih terkandung dan tidak berkurang secara signifikan pada seluruh sampel, sehingga dekarboksilasi atau pemutusan ikatan  $\text{C}=\text{O}$  yang diharapkan terjadi masih belum dapat berjalan pada reaksi ini, meskipun dengan adanya penambahan tahapan *pre-treatment* hidrolisis.

#### 4.5.3. Perengkahan Katalitik Lemak Sapi dengan Katalis $\text{MgO}$

Dilakukan reaksi perengkahan katalitik termal sesuai dengan prosedur yang telah dilakukan sebelumnya pada saat sampel A hingga E disintesis, namun dengan menggunakan bahan baku yang berbeda yaitu lemak sapi atau *beef tallow*. Lemak sapi ini akan direaksikan pada kondisi operasi yang sama dengan hasil sampel terbaik, yaitu sampel C, pada  $400\text{ }^{\circ}\text{C}$  dan 2% berat katalis dengan katalis yang sama pula yaitu magnesium oksida ( $\text{MgO}$ ) dan disebut sebagai sampel LS.

Reaksi ini dilakukan kembali dengan menggunakan bahan baku lemak sapi sebagai variabel pembeda, untuk melakukan pengamatan dan pengujian apakah katalis magnesium oksida yang digunakan pada penelitian ini tidak berdampak secara signifikan pada reaksi perengkahan katalitik termal, atau adanya indikasi perbedaan efek reaksi antara minyak nabati dengan minyak hewani sebagai bahan baku saat direaksikan. Sehingga kemudian hasil spektrum FT-IR sebelum dan setelah reaksi perengkahan katalitik termal pada lemak sapi dapat dilihat pada Gambar 4.17 berikut ini.



**Gambar 4.17** Perbandingan Hasil Spektrum Lemak Sapi dengan Sampel

Dari analisis spektrum FT – IR lemak sapi sebagai bahan baku, dapat diamati bahwa lemak sapi memiliki tingkat intensitas serapan yang tinggi pada kisaran gelombang  $1700\text{ cm}^{-1}$ , yang menandakan tingginya kandungan asam karboksilat pada senyawa lemak sapi. Hal ini terjadi karena tingginya kandungan asam stearat dan asam oleat pada lemak sapi tersebut.

Selanjutnya dapat diamati pada sampel LS bahwa reaksi perengkahan katalitik termal berhasil berjalan sesuai harapan penelitian, dimana serapan gelombang  $1700\text{ cm}^{-1}$  yang tadinya memiliki *peak* yang tinggi pada kandungan lemak sapi, telah berhasil dikurangi secara signifikan. Hal ini menandakan bahwa ikatan C=O yang terdapat pada gugus asam karboksilat, telah banyak terputus sehingga reaksi dapat dikatakan berhasil.

Berbeda dengan reaksi perengkahan katalitik termal pada minyak jarak kepyar sebelumnya, bahwa setelah reaksi terjadi pun masih terkandung asam karboksilat dengan jumlah yang banyak, terlihat dari serapan gelombang  $1700\text{ cm}^{-1}$  yang tidak mengalami perubahan pada spektrum.

Sebagai data pendukung, rekan penelitian penulis saat ini, yaitu Felix (2022) juga telah mensintesis *renewable fuel* yaitu *jet fuel* atau avtur, dengan fraksi karbon yang tidak terpaut jauh dengan *renewable diesel*, yaitu di rantai C9 hingga C15. Sintesis *renewable jet fuel* ini juga menggunakan lemak sapi dengan katalis MgO, dengan reaktor dan kondisi operasi yang sama. Dimana telah didapatkan data komposisi senyawa yang terkandung dari sampel hasil sintesis melalui analisis GC-MS, dengan hasil perbandingan sebagai berikut.

**Tabel 4.5** Komposisi Senyawa pada Lemak Sapi

| No. | RT<br>(detik) | Area<br>(%) | Senyawa                                   | Rumus<br>Senyawa  |
|-----|---------------|-------------|-------------------------------------------|-------------------|
| 1   | 34.65         | 35.86       | <i>Stearic Acid</i>                       | $C_{18}H_{36}O_2$ |
| 2   | 35.65         | 30.31       | <i>Methyl Stearate</i>                    | $C_{19}H_{38}O_2$ |
| 3   | 29.89         | 19.58       | <i>Methyl Palmitate</i>                   | $C_{17}H_{34}O_2$ |
| 4   | 26.76         | 3.95        | <i>Methyl Myristate</i>                   | $C_{15}H_{30}O_2$ |
| 5   | 34.82         | 1.94        | <i>11-Octadecenoic acid, methyl ester</i> | $C_{19}H_{36}O_2$ |

**Tabel 4.6** Komposisi Senyawa pada Sampel Hasil Reaksi

| No. | RT<br>(detik) | Area<br>(%) | Senyawa              | Rumus<br>Senyawa |
|-----|---------------|-------------|----------------------|------------------|
| 1   | 24.12         | 6.80        | <i>Pentadecane</i>   | $C_{15}H_{32}$   |
| 2   | 22.70         | 5.29        | <i>Tetradecene</i>   | $C_{14}H_{28}$   |
| 3   | 26.47         | 4.08        | <i>Heptadecane</i>   | $C_{17}H_{36}$   |
| 4   | 22.81         | 3.99        | <i>Tetradecane</i>   | $C_{14}H_{30}$   |
| 5   | 25.22         | 2.34        | <i>2-Hexadecanol</i> | $C_{16}H_{34}O$  |

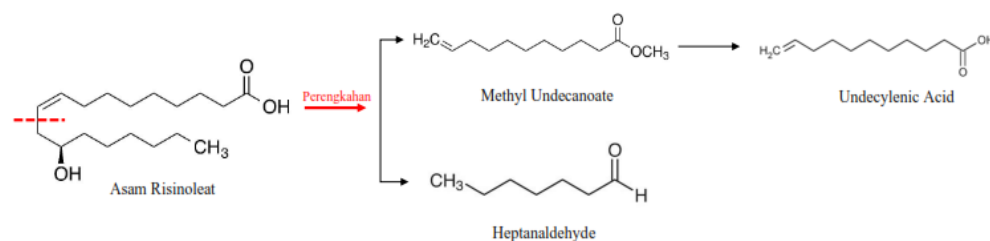
(Felix, 2022)

Apabila diperbandingkan pada Tabel 4.5 dengan Tabel 4.6, dapat diamati bahwa reaksi perengkahan katalitik termal yang dilakukan pada lemak sapi telah berhasil terjadi. Hal ini dilihat dari perubahan kandungan senyawa yang ada pada lemak sapi, asam lemak yang terkandung dari rantai C18 hingga C15, telah berhasil terengkah menjadi hidrokarbon rantai lurus pada rantai C15, C14, dan C17. Meskipun masih terkandung oksigenat pada hasil sampel, secara garis besar reaksi sudah dapat dianggap berhasil dengan perubahan kandungan senyawa yang terjadi. Sehingga apabila disimpulkan, berhasilnya reaksi perengkahan katalitik termal pada lemak sapi menggunakan reaktor yang sama, dengan kondisi operasi yang sama, dan bantuan katalis MgO yang sama, menandakan bahwa kesalahan yang terjadi pada penelitian ini bukanlah pada penggunaan alat dan katalis tersebut.

#### 4.6. Analisis Perbandingan Seluruh Reaksi Perengkahan Katalitik Termal

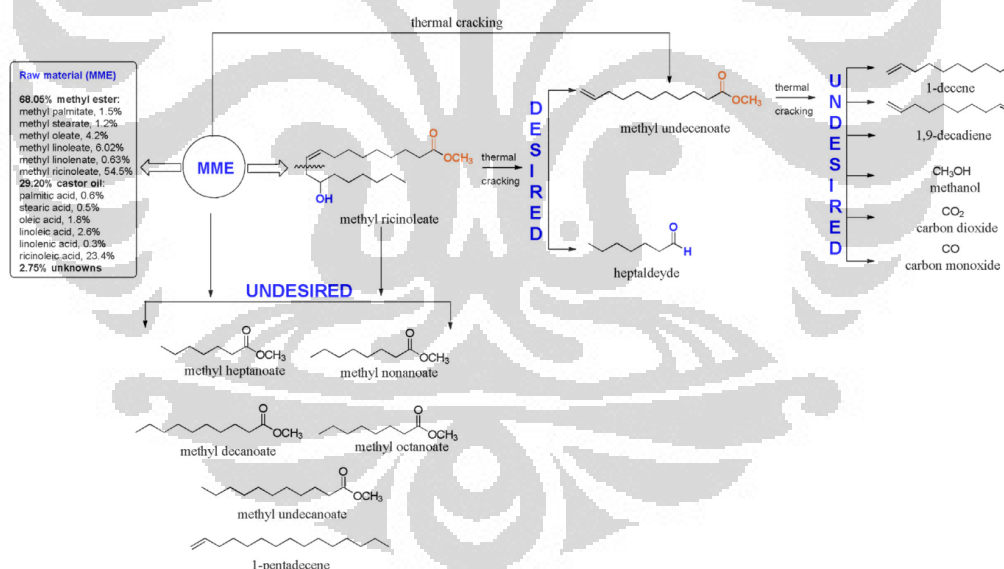
Dengan hasil pengujian variasi reaksi perengkahan katalitik termal yang telah dilakukan dan dibahas pada subbab 4.5.1. hingga 4.5.3., dapat diuraikan beberapa aspek yang mungkin menjadi penyebab kurang dihasilkannya fraksi rantai karbon C12 hingga C18 untuk sintesis *renewable diesel* dari minyak jarak kepyar dengan bantuan katalis MgO. Setiap kemungkinan akan dibahas dengan analisis sebagai berikut.

Dari beberapa pengujian reaksi yang telah dilakukan pada penelitian ini, didukung dengan data literatur, didapati bahwa reaksi perengkahan pada minyak jarak kepyar memiliki jalur reaksi utama sebagai berikut:



**Gambar 4.18** Skema Reaksi Perengkahan Minyak Jarak Kepyar

Seperti yang diilustrasikan pada Gambar 4.18 diatas, bahwa asam risinoleat yang merupakan senyawa asam lemak karboksilat dengan kandungan hingga 86,59% pada minyak jarak kepyar. Apabila dilakukan reaksi perengkahan pada senyawa tersebut, reaksi utama yang terjadi ialah pemutusan pada rantai karbon ke 11, sehingga menghasilkan pemecahan 18 rantai karbon yang terkandung, menjadi senyawa dengan rantai C11 dan C7 masing – masing, yaitu *methyl undecanoate* dan *heptanaldehyde*. Kemudian *methyl undecanoate* akan tereaksikan lebih lanjut menjadi *undecylenic acid*.



**Gambar 4.19** Skema Reaksi Perengkahan Literatur  
(Botton et al., 2016)

Hal ini pun selaras dengan usulan rangkaian reaksi yang telah dikemukakan oleh Botton (2016) pada Gambar 4.19. Pada reaksi perengkahan termal yang diuji pada *castor oil* atau minyak jarak kepyar tersebut, didapati bahwa reaksi yang diutamakan atau diinginkan ialah reaksi perengkahan dari asam ricinoleat menjadi *heptaldehyde/heptanaldehyde* dan *methyl undecanoate*.

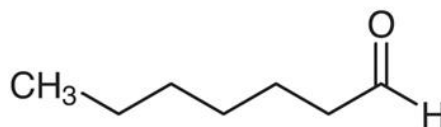
Perbedaannya ialah pada penelitian yang dilakukan sekarang, terjadi reaksi perengkahan lebih lanjut yang memutus *methyl undecanoate* menjadi *undecylenic acid*.

Setelah melakukan penelitian dan mengetahui jalur utama reaksi perengkahan ini, dapat dianalisis bahwa untuk menghasilkan *renewable diesel* dengan fraksi karbon C12 hingga C18, diperlukan reaksi kimia yang cenderung ke dekarboksilasi untuk mengarahkan pemutusan terhadap gugus karboksilat dan ikatan rangkap.

Hal yang mungkin menjadi penyebab ialah adanya batasan suhu reaksi yang ada pada reaktor. Reaktor *autoclave* berpengaduk yang ada pada Laboratorium RPKA Departemen Teknik Kimia Universitas Indonesia memiliki batas maksimal suhu pemanasan pada 400 °C. Dimana suhu tersebut berjarak terlalu dekat dengan titik didih minyak jarak kepyar di 320 °C sedangkan lemak sapi memiliki titik didih di kisaran suhu 250 °C yang masih berjarak cukup jauh dengan batas maksimum suhu pemanasan. Tidak menutup kemungkinan apabila suhu reaksi dapat ditingkatkan dengan reaktor yang memadai, pada suhu pemanasan 500 °C hingga 600 °C, dapat terjadi reaksi perengkahan katalik termal dengan hasil pemutusan ikatan yang lebih baik lagi.

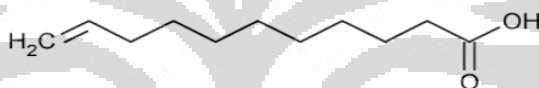
#### **4.7. Potensi Renewable Product Hasil Sintesis Sebagai Komoditas Industri**

Berdasarkan dari literatur penelitian yang telah dilakukan oleh Menshhein (2019) dan Botton (2016), dimana keduanya melakukan penelitian yang serupa dengan penelitian yang dituliskan saat ini, yaitu melakukan perengkahan terhadap minyak jarak kepyar. Namun bukan dengan tujuan untuk mensintesis senyawa *renewable diesel*, melainkan untuk mendapat senyawa *heptaldehyde* dan *methyl undecanoate*, yang kemudian *methyl undecanoate* akan dihidrolisis menjadi *undecylenic acid*. Kedua senyawa ini merupakan senyawa penting dalam industri kimia sebagai senyawa intermediat dalam pembuatan kosmetik, parfum, obat-obatan, dan formulasi polimer (H.-B. Hu et al., 2000).



**Gambar 4.20** Struktur Senyawa *Heptaldehyde*  
(Tcichemicals.com, 2022)

*Heptaldehyde* atau heptanal adalah senyawa alkana dengan rumus senyawa  $C_7H_{14}O$  dan dengan struktur seperti Gambar 4.20. Saat ini *heptaldehyde* diproduksi melalui hidroformulasi heksana ataupun dari degradasi ester dari asam ricinoleat. Kegunaan dari *heptaldehyde* pada industri adalah sebagai prekursor untuk *lactones* yang banyak digunakan dalam industri perasa, obat-obatan, dan parfum. Selain itu *heptaldehyde* digunakan sebagai pelarut untuk produksi karet dan resin, dan menurut Ogunniyi (2006), senyawa ini dapat dihidrogenasi untuk menghasilkan alkohol yang dapat digunakan sebagai *plasticizer*.



**Gambar 4.21** Struktur Senyawa *Undecylenic Acid*  
(Pharmacopeia.cn, 2022)

*Undecylenic acid* adalah senyawa asam lemak tak jenuh dengan rumus senyawa  $C_{11}H_{20}O_2$  dan dengan struktur seperti pada Gambar 4.21. *Undecylenic acid* dapat dihasilkan dari perengkahan minyak jarak kepyar, ataupun dari hidrolisis *methyl undecanoate* ( $C_{11}H_{22}O_2$ ). *Undecylenic acid* digunakan dalam produksi insektisida, fungisida, aditif, parfum dan perasa. Senyawa ini juga umumnya digunakan sebagai obat topikal yang digunakan untuk mengobati infeksi jamur kulit, dan selain itu *undecylenic acid* juga digunakan dalam produksi polimer poliamida, seperti nilon.

Sesuai dengan analisis komponen senyawa yang terkandung pada sampel hasil sintesis, di subbab 4.3.2, didapati bahwa kedua senyawa yang telah diteliti dan disebutkan diatas juga merupakan produk senyawa dengan persentase tertinggi yang didapatkan pada penelitian ini. Sehingga apabila diperbandingkan dengan data hasil literatur kedua penelitian Menshhein (2019) dan Botton (2016), dapat diamati pada Tabel 4.7 berikut.

**Tabel 4.7** Perbandingan Hasil Produk dengan Penelitian Lainnya

| <b>Parameter</b>                    | <b>Penelitian Ini<br/>(2022)</b>   | <b>Menshhein et al.<br/>(2019)</b>               | <b>Botton et al.<br/>(2016)</b> |
|-------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------------------|---------------------------------|
| Jenis Reaksi                        | Perengkahan<br>Katalitik<br>Termal | Perengkahan<br>Termal dengan<br>Sistem Distilasi | Perengkahan<br>Termal           |
| Penggunaan Katalis                  | MgO                                | -                                                | -                               |
| Suhu Reaksi                         | 400 °C                             | 525 °C                                           | 525 °C                          |
| Yield <i>Bio-oil</i>                | 63,14%                             | 80%                                              | 72%                             |
| Komposisi <i>Heptaldehyde</i>       | 10,33%                             | 33,33%                                           | 18%                             |
| Komposisi <i>Methyl Undecanoate</i> | 6,33%                              | 12,86%                                           | 12%                             |
| Komposisi <i>Undecylenic acid</i>   | 30,56%                             | -                                                | -                               |

Dari Tabel 4.7 terlihat bahwa sebenarnya hasil dari reaksi penelitian ini, yang tidak berhasil mendapatkan rantai karbon C12 hingga C18 sebagai *renewable diesel*, ternyata menghasilkan kandungan *Heptaldehyde* (C7) dan *Undecylenic acid* (C11) yang secara signifikan lebih baik dari penelitian-penelitian terdahulu. Dengan demikian, ketidakberhasilan sintesis *renewable diesel* pada penelitian ini telah menghadirkan perspektif baru dalam produksi *renewable product* dari minyak jarak kepyar untuk industri lainnya, khususnya kosmetik, obat-obatan, parfum, dan sebagainya.

## BAB 5

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1. Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian yang telah dilaksanakan ini ialah sebagai berikut:

1. (A) Kondisi operasi yang menghasilkan nilai konversi dan *yield* tertinggi didapatkan pada kondisi operasi sintesis sampel C, dengan suhu reaksi 400 °C, 2%berat katalis, dan tanpa menggunakan gas nitrogen. Kondisi operasi ini menghasilkan nilai konversi, yaitu perubahan minyak jarak kepyar menjadi produk cair organik, dengan nilai sebesar 51,88% kemudian didapatkan juga nilai *yield* dari produk utama sebesar 63,14. Namun sayangnya produk utama yang dihasilkan belum mengandung fraksi karbon rantai C12 hingga C18 yang sesuai dengan *renewable diesel*  
(B) Dengan ketidakberhasilan didapatkannya fraksi rantai karbon C12 hingga C18 pada penelitian ini, setelah melakukan beberapa variasi penelitian lanjutan, didapatkan hipotesis bahwa hal tersebut disebabkan oleh keterbatasan suhu pemanasan reaktor di angka maksimal 400 °C, yang berjarak terlalu dekat dengan titik didih minyak jarak kepyar di angka 320 °C. Adanya penambahan gas nitrogen dan *pre-treatment* hidrolisis pun tidak memberikan dampak perubahan signifikan dalam menghasilkan fraksi karbon rantai C12 hingga C18. Sedangkan pada lemak sapi yang memiliki titik didih 250 °C, berjarak cukup jauh dengan batas maksimum suhu pemanasan reaktor. Saat direaksikan menggunakan kondisi operasi yang sama, perengkahan katalitik termal berhasil dilakukan dan terjadi penurunan pada gugus karboksilat, yang menandakan adanya pemutusan rantai C=O melalui reaksi dekarboksilasi
2. Karakteristik dari sampel A, B, C, dan D pada pengujian nilai densitas, viskositas, bilangan iodin, dan bilangan asam telah berhasil memenuhi standar dari SNI 8220:2017. Sampel C yang memiliki karakteristik terbaik dibandingkan sampel lainnya yaitu dengan nilai densitas sebesar

889,6 kg/m<sup>3</sup>, nilai viskositas sebesar 4,55 mm<sup>2</sup>/sec, nilai bilangan iodin sebesar 8,52 mgKOH/gr, dan nilai bilangan asam sebesar 0,3 mgKOH/gr. Namun setelah analisis karakteristik sifat kimia lebih lanjut melalui instrumen FT-IR dan GC-MS, didapati bahwa sampel tersebut tidak dapat dianggap sebagai *renewable diesel* dikarenakan tidak terkandungnya fraksi rantai karbon C12 hingga C18

3. Hasil reaksi perengkahan katalitik termal pada penelitian ini tidak berhasil mensintesis senyawa *renewable diesel* dengan fraksi rantai karbon yang sesuai. Namun dengan demikian, hal ini telah menghadirkan perspektif baru dalam produksi *renewable product* dari minyak jarak kepyar untuk industri lainnya, khususnya kosmetik, obat-obatan, parfum, dan sebagainya. *Renewable product* ini ialah senyawa *heptaldehyde* dan *undecylenic acid*, yang menjadi senyawa terbanyak yang dihasilkan pada penelitian ini dengan *yield* sebesar 10,33% dan 30,56% masing-masing

## 5.2. Saran

Untuk saran dari penelitian ini, sebagai bahan pertimbangan dan pembelajaran penelitian kedepannya ialah:

1. Untuk lebih memahami pengaruh suhu reaksi pada reaksi perengkahan katalitik termal, dapat menggunakan reaktor dengan batas suhu pemanasan yang lebih tinggi dari 400 °C
2. Penelitian mengenai senyawa *heptaldehyde* dan *undecylenic acid* dapat diteliti dan dikembangkan lebih lanjut, agar dapat memberi dampak positif bagi industri kimia

## DAFTAR PUSTAKA

- Adiatma, J. C., & Prasojo, H. (2021). *Critical review on the biofuel development policy in Indonesia*.
- Amin, A. (2019). Review of diesel production from renewable resources: Catalysis, process kinetics and technologies. In *Ain Shams Engineering Journal* (Vol. 10, Issue 4, pp. 821–839). Ain Shams University. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2019.08.001>
- Arguelles-Arguelles, A., Amezcua-Allieri, M. A., & Ramírez-Verduzco, L. F. (2021). Life Cycle Assessment of Green Diesel Production by Hydrodeoxygenation of Palm Oil. *Frontiers in Energy Research*, 9. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2021.690725>
- Atabani, A. E., Silitonga, A. S., Ong, H. C., Mahlia, T. M. I., Masjuki, H. H., Badruddin, I. A., & Fayaz, H. (2013). Non-edible vegetable oils: A critical evaluation of oil extraction, fatty acid compositions, biodiesel production, characteristics, engine performance and emissions production. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 18, pp. 211–245). <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.10.013>
- Bhuiya, M. M. K., Rasul, M. G., Khan, M. M. K., Ashwath, N., Azad, A. K., & Hazrat, M. A. (2014). Second Generation Biodiesel: Potential Alternative to-edible Oil-derived Biodiesel. *Energy Procedia*, 61, 1969–1972. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.12.054>
- Botton, V., Torres De Souza, R., Wiggers, V. R., Scharf, D. R., Simionatto, E. L., Ender, L., & Meier, H. F. (2016). Thermal cracking of methyl esters in castor oil and production of heptaldehyde and methyl undecenoate. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 121, 387–393. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2016.09.002>
- Chen, S., Zhou, G., & Miao, C. (2019). Green and renewable bio-diesel produce from oil hydrodeoxygenation: Strategies for catalyst development and

- mechanism. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 101, pp. 568–589). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.11.027>
- Chireshe, F., Collard, F. X., & Görgens, J. F. (2020). Production of an upgraded bio-oil with minimal water content by catalytic pyrolysis: Optimisation and comparison of CaO and MgO performances. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 146. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2019.104751>
- Dawood, S., Ahmad, M., Ullah, K., Zafar, M., & Khan, K. (2018). Synthesis and characterization of methyl esters from non-edible plant species yellow oleander oil, using magnesium oxide (MgO) nano-catalyst. *Materials Research Bulletin*, 101, 371–379. <https://doi.org/10.1016/j.materresbull.2018.01.047>
- Du, L., Li, Z., Ding, S., Chen, C., Qu, S., Yi, W., Lu, J., & Ding, J. (2019). Synthesis and characterization of carbon-based MgO catalysts for biodiesel production from castor oil. *Fuel*, 258. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.116122>
- Dutta, K., Daverey, A., & Lin, J. G. (2014). Evolution retrospective for alternative fuels: First to fourth generation. *Renewable Energy*, 69, 114–122. <https://doi.org/10.1016/J.RENENE.2014.02.044>
- Gabungan Pengusaha Kelapa Sawit Indonesia (GAPKI). (2017). *Perkembangan Biodiesel di Indonesia dan Terbesar di Asia - Gabungan Pengusaha Kelapa Sawit Indonesia (GAPKI)*. [online] Tersedia di: <https://gapki.id/news/3250/perkembangan-biodiesel-di-indonesia-dan-terbesar-di-asia>
- Hermida, L., Abdullah, A. Z., & Mohamed, A. R. (2015). Deoxygenation of fatty acid to produce diesel-like hydrocarbons: A review of process conditions, reaction kinetics and mechanism. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 42, pp. 1223–1233). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.10.099>
- Hongloi, N., Prapainainar, P., & Prapainainar, C. (2021). Review of green diesel production from fatty acid deoxygenation over Ni-based catalysts. *Molecular Catalysis*. <https://doi.org/10.1016/j.mcat.2021.111696>

- Hsu, K. H., Wang, W. C., & Liu, Y. C. (2018). Experimental studies and techno-economic analysis of hydro-processed renewable diesel production in Taiwan. *Energy*, 164, 99–111. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.08.208>
- Hudaya, T., & Gede Pandega Wiratama, Me. I. (2015). *Hibah Monodisiplin Laporan Penelitian Proses Hidrotreating Minyak Biji Kapok (Ceiba pentandra) untuk Sintesa Biohidrokarbon*
- Ibrahim Ramadhan, F., & Ui, F. T. (2010). *PEMBUATAN ASAM RISINOLEAT MELALUI HIDROLISIS MINYAK JARAK DALAM LARUTAN BASA.*
- Karmakar, B., Dhawane, S. H., & Halder, G. (2018). Optimization of biodiesel production from castor oil by Taguchi design. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 6(2), 2684–2695. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2018.04.019>
- Kumar, A., & Sharma, S. (2011). Potential non-edible oil resources as biodiesel feedstock: An Indian perspective. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 15, Issue 4, pp. 1791–1800). <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.11.020>
- Luo, N., Yang, C., Li, J., Wei, G., & Zhao, Z.-W. (2016). Preparation of Ni<sub>2</sub>P/Zr-MCM-41 catalyst and its performance in the hydrodeoxygenation of Jatropha curcas oil. In *JOURNAL OF FUEL CHEMISTRY AND TECHNOLOGY* (Vol. 44, Issue 1).
- Naveenkumar, R., & Baskar, G. (2021). Process optimization, green chemistry balance and technoeconomic analysis of biodiesel production from castor oil using heterogeneous nanocatalyst. *Bioresource Technology*, 320. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.124347>
- Mat Aron, N. S., Khoo, K. S., Chew, K. W., Show, P. L., Chen, W. H., & Nguyen, T. H. P. (2020). Sustainability of the four generations of biofuels – A review. *International Journal of Energy Research*, 44(12), 9266–9282. <https://doi.org/10.1002/ER.5557>

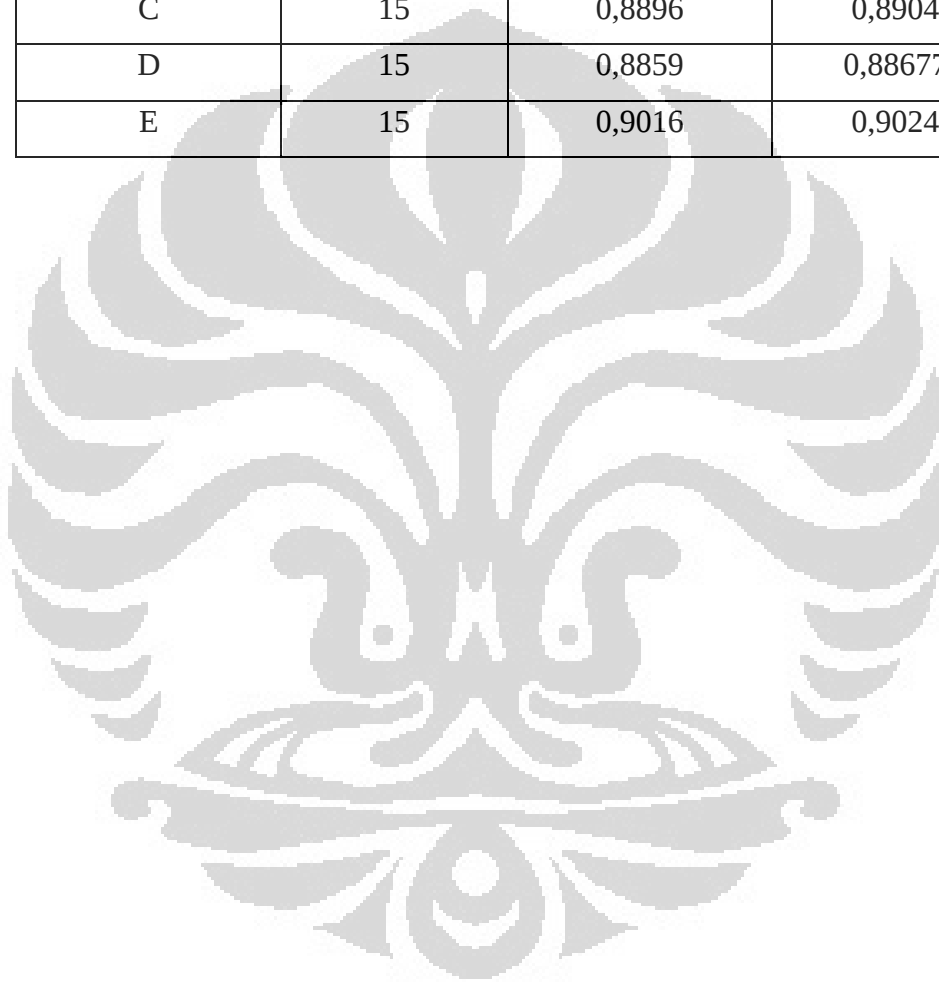
- Menshhein, G., Costa, V., Chiarello, L. M., Scharf, D. R., Simionato, E. L., Botton, V., Meier, H. F., Wiggers, V. R., & Ender, L. (2019). Concentration of renewable products of crude bio-oil from thermal cracking of the methyl esters in castor oil. *Renewable Energy*, 142, 561–568. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.04.136>
- Ogunniyi, D. S. (2006). Castor oil: A vital industrial raw material. In *Bioresource Technology* (Vol. 97, Issue 9, pp. 1086–1091). <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2005.03.028>
- Oh, H. Y., Park, J. H., Rhee, Y. W., & Kim, J. N. (2011). Decarboxylation of naphthenic acid using alkaline earth metal oxide. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 17(4), 788–793. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2011.05.024>
- Orozco, L. M., Echeverri, D. A., Sánchez, L., & Rios, L. A. (2017). Second-generation green diesel from castor oil: Development of a new and efficient continuous-production process. *Chemical Engineering Journal*, 322, 149–156. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2017.04.027>
- Papageridis, K. N., Charisiou, N. D., Douvartzides, S., Sebastian, V., Hinder, S. J., Baker, M. A., AlKhoori, S., Polychronopoulou, K., & Goula, M. A. (2020). Promoting effect of CaO-MgO mixed oxide on Ni/ $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> catalyst for selective catalytic deoxygenation of palm oil. *Renewable Energy*, 162, 1793–1810. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.09.133>
- Parvizsedghy, R., Sadrameli, S. M., & Towfighi Darian, J. (2016). Upgraded Biofuel Diesel Production by Thermal Cracking of Castor Biodiesel. *Energy and Fuels*, 30(1), 326–333. <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.5b01879>
- Pilarska, A. A., Klapiszewski, Ł., & Jesionowski, T. (2017). Recent development in the synthesis, modification and application of Mg(OH)<sub>2</sub> and MgO: A review. In *Powder Technology* (Vol. 319, pp. 373–407). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2017.07.009>

- Putri, R. U., Susanto, B. H., Pratama, D. F., & Prakasa, M. B. (2018). Synthesis of green diesel through hydrolysis and hydrodeoxygenation reaction from waste cooking oil using NiMo/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> catalyst. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 105(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/105/1/012051>
- Riyadhi, A., Yulizar, Y., & Susanto, B. H. (2020). Catalytic conversion of beef tallow with MgO derived from MgCO<sub>3</sub> for biofuels production. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 902(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/902/1/012049>
- Setyoprato, P. (2011). *PRODUKSI ASAM LEMAK DARI MINYAK KELAPA SAWIT DENGAN PROSES HIDROLISIS*.
- Singh, S. P., & Singh, D. (2010). Biodiesel production through the use of different sources and characterization of oils and their esters as the substitute of diesel: A review. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 14, Issue 1, pp. 200–216). <https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.07.017>
- Stefanidis, S. D., Karakoulia, S. A., Kalogiannis, K. G., Iliopoulou, E. F., Delimitis, A., Yiannoulakis, H., Zampetakis, T., Lappas, A. A., & Triantafyllidis, K. S. (2016). Natural magnesium oxide (MgO) catalysts: A cost-effective sustainable alternative to acid zeolites for the in situ upgrading of biomass fast pyrolysis oil. *Applied Catalysis B: Environmental*, 196, 155–173. <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2016.05.031>
- Tamantirto, S. (2017). *PENINGKATAN MUTU BIODIESEL DARI MINYAK JARAK KEPYAR (Ricinus communis) MELALUI PENCAMPURAN BIODIESEL DARI MINYAK NYAMPUNG (Calophyllum inophyllum)*
- Trisnayanti, N. P. (2020). *Penggunaan Katalis MgO Termodifikasi dalam Produksi Biodiesel*. <https://www.researchgate.net/publication/341755991>

## LAMPIRAN

## Lampiran 1. Hasil Uji Densitas

| Sampel | Suhu Densitas<br>(°C) | Densitas<br>(g/cm <sup>3</sup> ) | <i>Specific Gravity</i> |
|--------|-----------------------|----------------------------------|-------------------------|
| A      | 15                    | 0,8875                           | 0,882                   |
| B      | 15                    | 0,8877                           | 0,8885                  |
| C      | 15                    | 0,8896                           | 0,8904                  |
| D      | 15                    | 0,8859                           | 0,88677                 |
| E      | 15                    | 0,9016                           | 0,9024                  |



## Lampiran 2. Hasil Uji Viskositas

| Sampel | Bath Temp (°C) | Run 1           |                  | Run 2           |                  | Nilai Viskositas Rata-Rata (cSt) |
|--------|----------------|-----------------|------------------|-----------------|------------------|----------------------------------|
|        |                | Flow Time (sec) | Viskositas (cSt) | Flow Time (sec) | Viskositas (cSt) |                                  |
| A      | 40             | 177,94          | 05,3036          | 176,66          | 05,3036          | 05,3229                          |
| B      | 40             | 156,06          | 04,6852          | 156,24          | 04,6906          | 04,6879                          |
| C      | 40             | 151,63          | 04,5522          | 151,66          | 04,5531          | 04,5526                          |
| D      | 40             | 167,68          | 05,0340          | 167,64          | 05,0328          | 05,0334                          |
| E      | 40             | 477,44          | 14,3337          | 477,37          | 14,3316          | 14,3326                          |



### Lampiran 3. Hasil Uji Bilangan Iodin

$$\text{Rumus Perhitungan Bilangan Iod (g-I}_2\text{/100g)} = \frac{(B-S) \times N \text{ Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \times 12,69}{\text{gram sampel}}$$

Keterangan

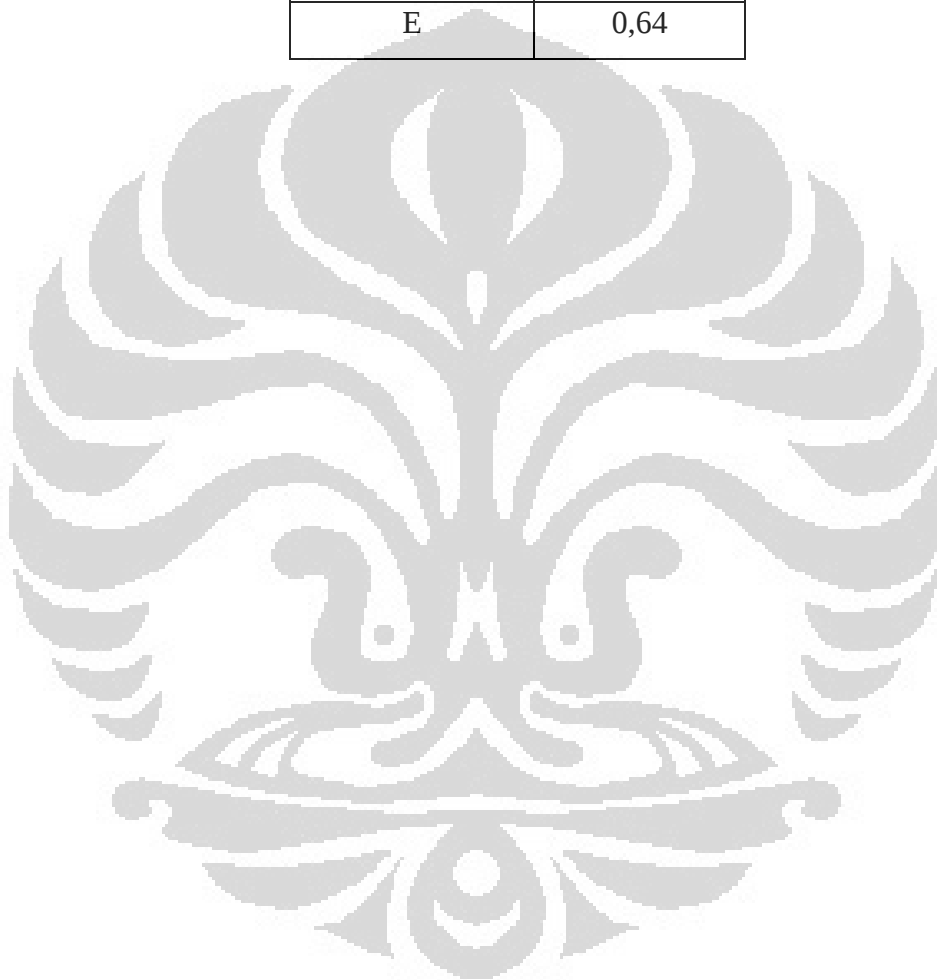
B = Volume Larutan Tiosulfat 0,1 N Blanko

S = Volume titrasi Sampel

| Sampel | Bobot<br>(g) | S<br>(mL) | B<br>(mL) | g-I <sub>2</sub> /100g |
|--------|--------------|-----------|-----------|------------------------|
| A      | 0,6206       | 19,5      | 25        | 11,54                  |
| B      | 0,7049       | 17,7      | 25        | 12,83                  |
| C      | 0,7033       | 20,4      | 25        | 8,52                   |
| D      | 0,7798       | 17,9      | 25        | 11,86                  |
| E      | 0,9094       | 17,0      | 25        | 11,46                  |

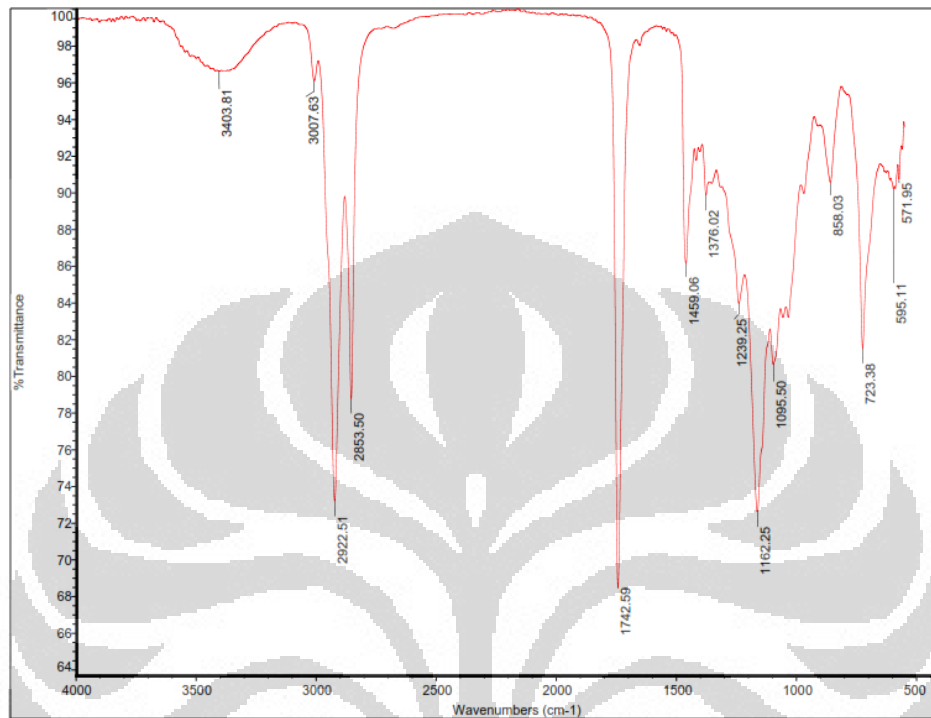
**Lampiran 4. Hasil Uji Bilangan Asam**

| <b>Sampel</b> | <b>mg-KOH/g</b> |
|---------------|-----------------|
| A             | 0,44            |
| B             | 0,51            |
| C             | 0,3             |
| D             | 0,47            |
| E             | 0,64            |

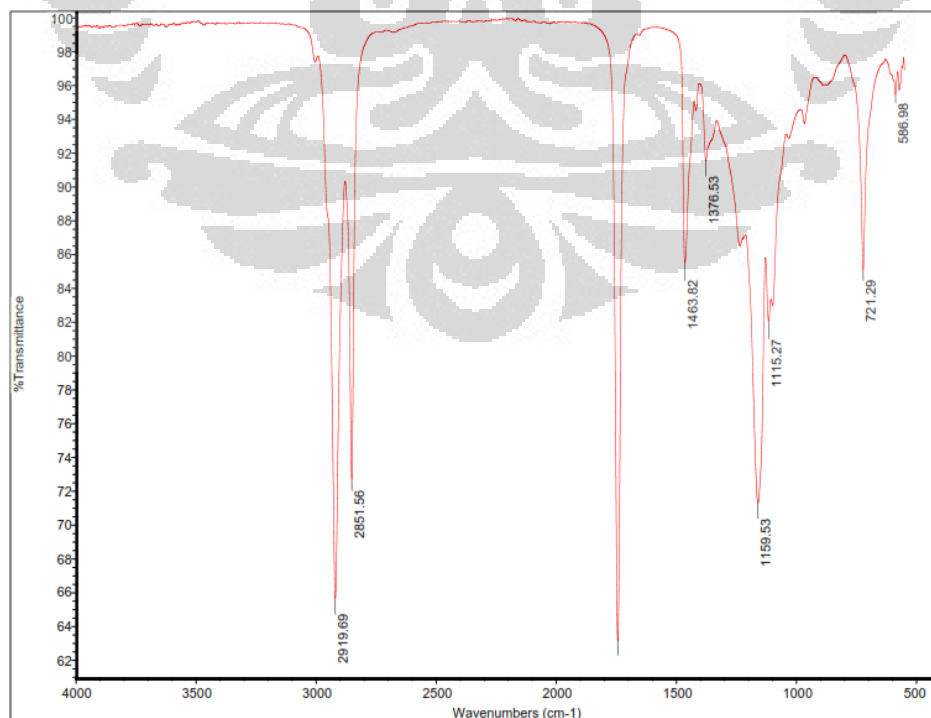


## Lampiran 5. Hasil Pengukuran FT-IR

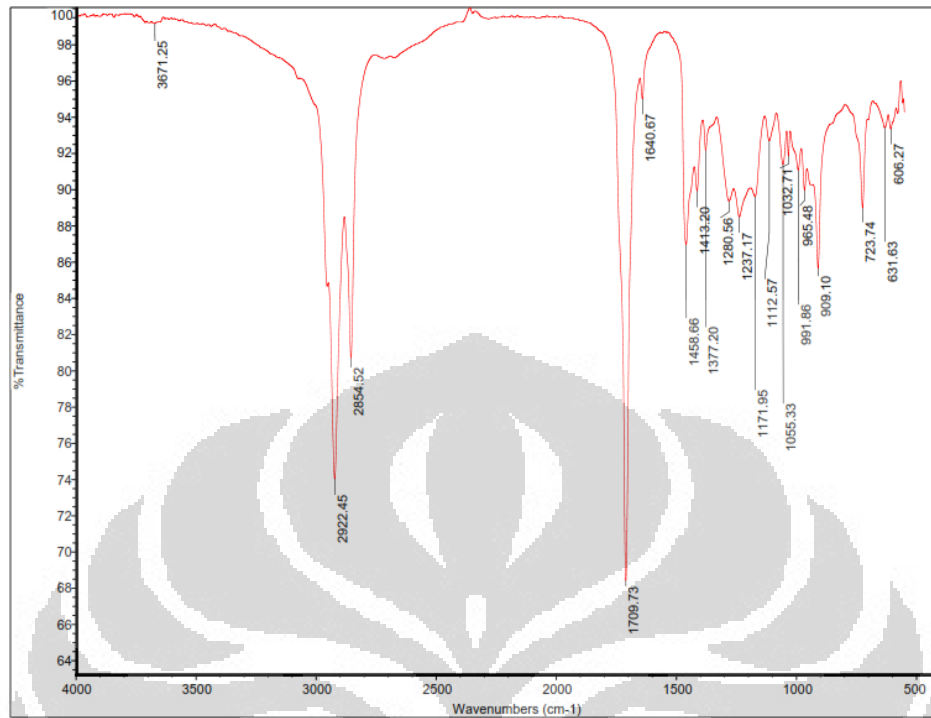
### • Spektrum FT-IR Minyak Jarak Kepyar



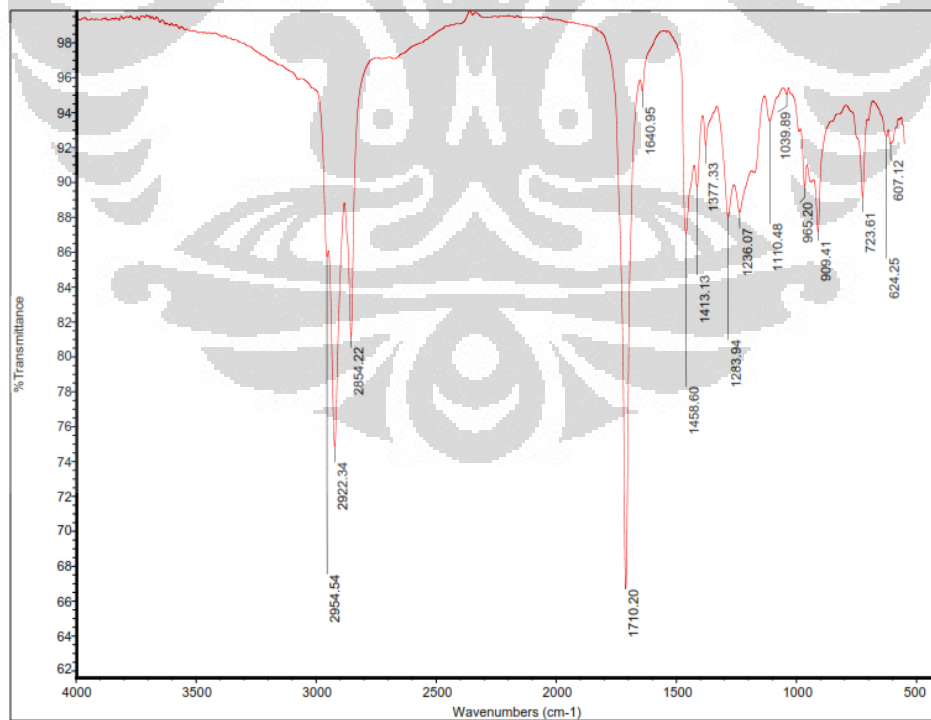
### • Spektrum FT-IR Lemak Sapi



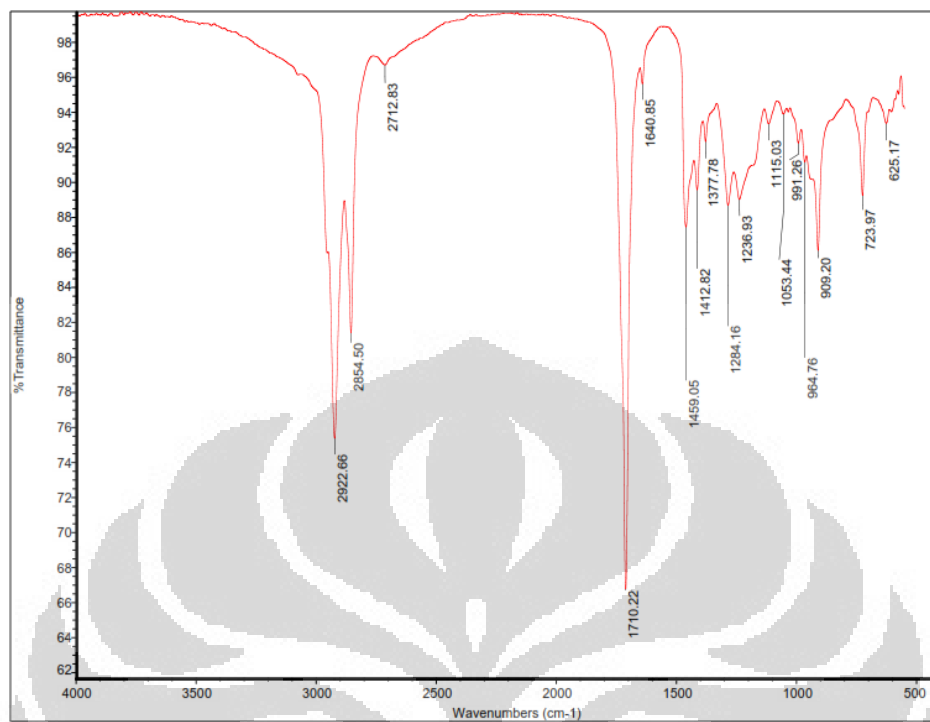
- Spektrum Sampel A (Reaksi pada 370 °C, 2%berat katalis, dan tanpa gas N<sub>2</sub>)



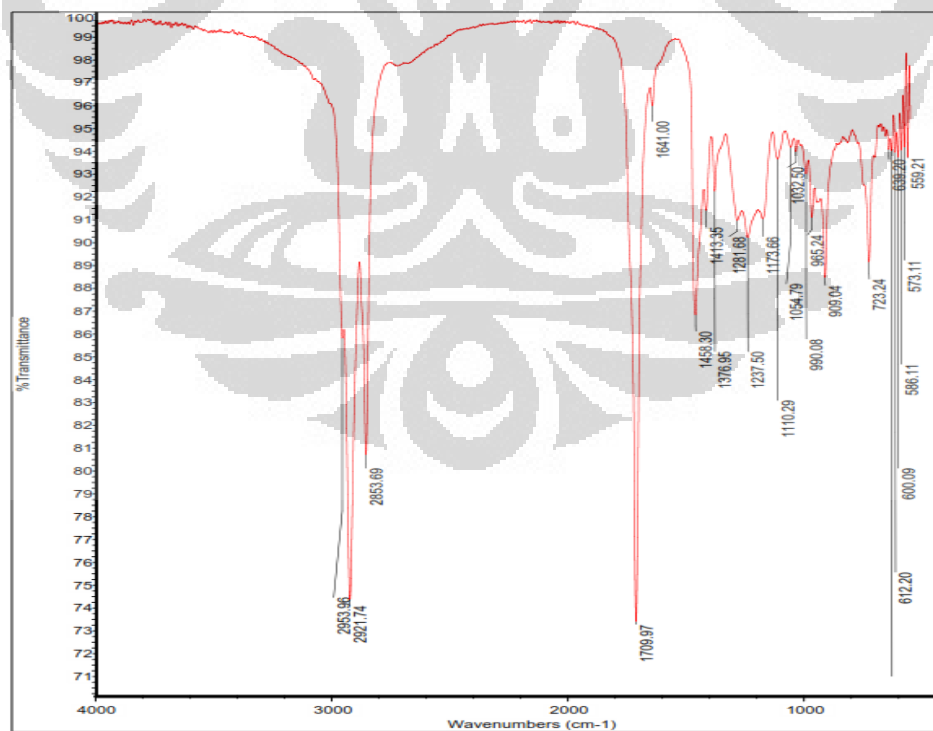
- Spektrum Sampel B (Reaksi pada 370 °C, 4%berat katalis, dan tanpa gas N<sub>2</sub>)



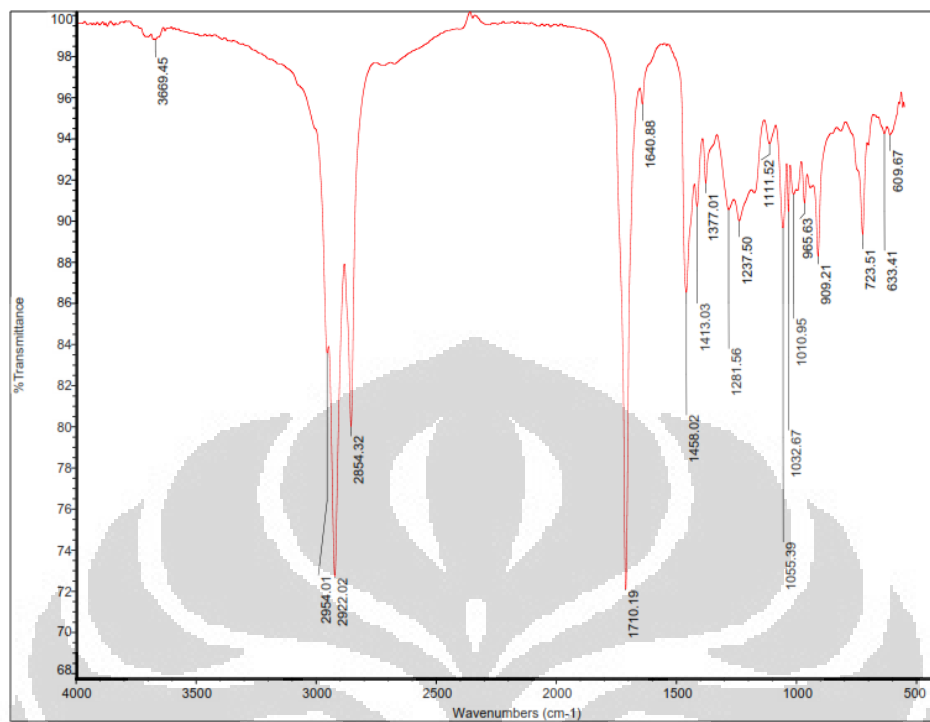
- Spektrum Sampel C (Reaksi pada 400 °C, 2%berat katalis, dan tanpa gas N2)



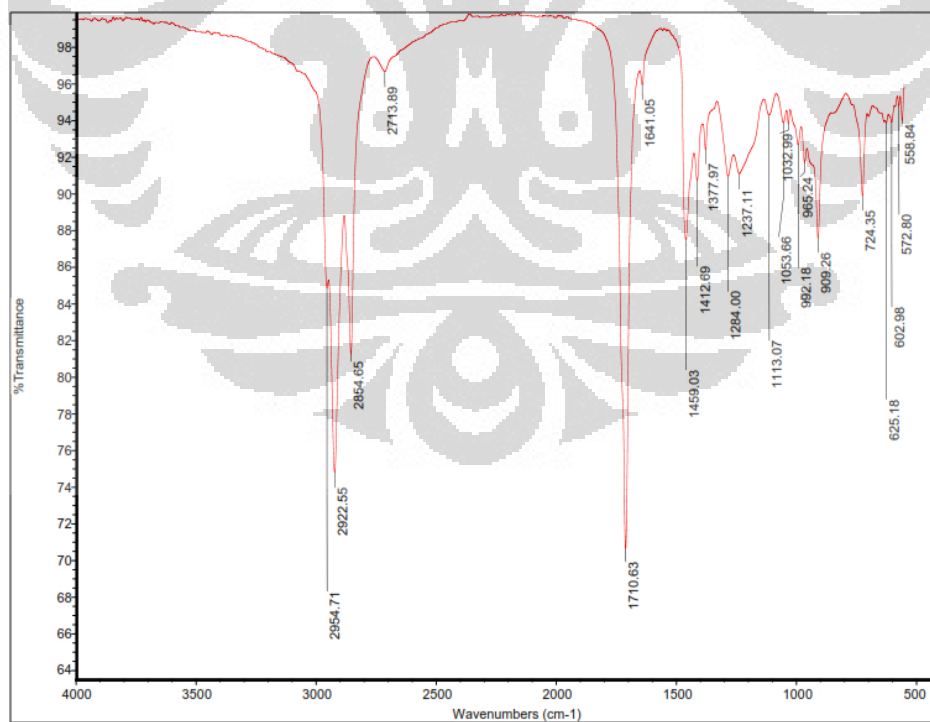
- Spektrum Sampel D (Reaksi pada 400 °C, 4%berat katalis, dan tanpa gas N2)



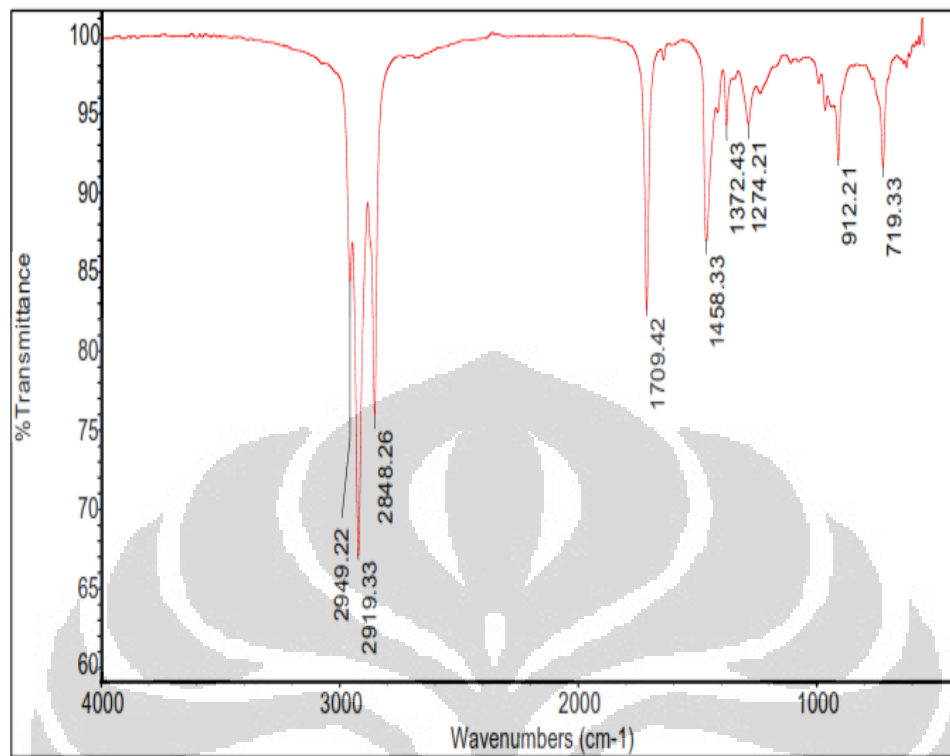
- Spektrum Sampel E (Reaksi pada 400 °C, 2%berat katalis, dengan gas N<sub>2</sub>)



- Spektrum Sampel HI (Reaksi pada 400 °C, 2%berat katalis, dengan Hidrolisis)

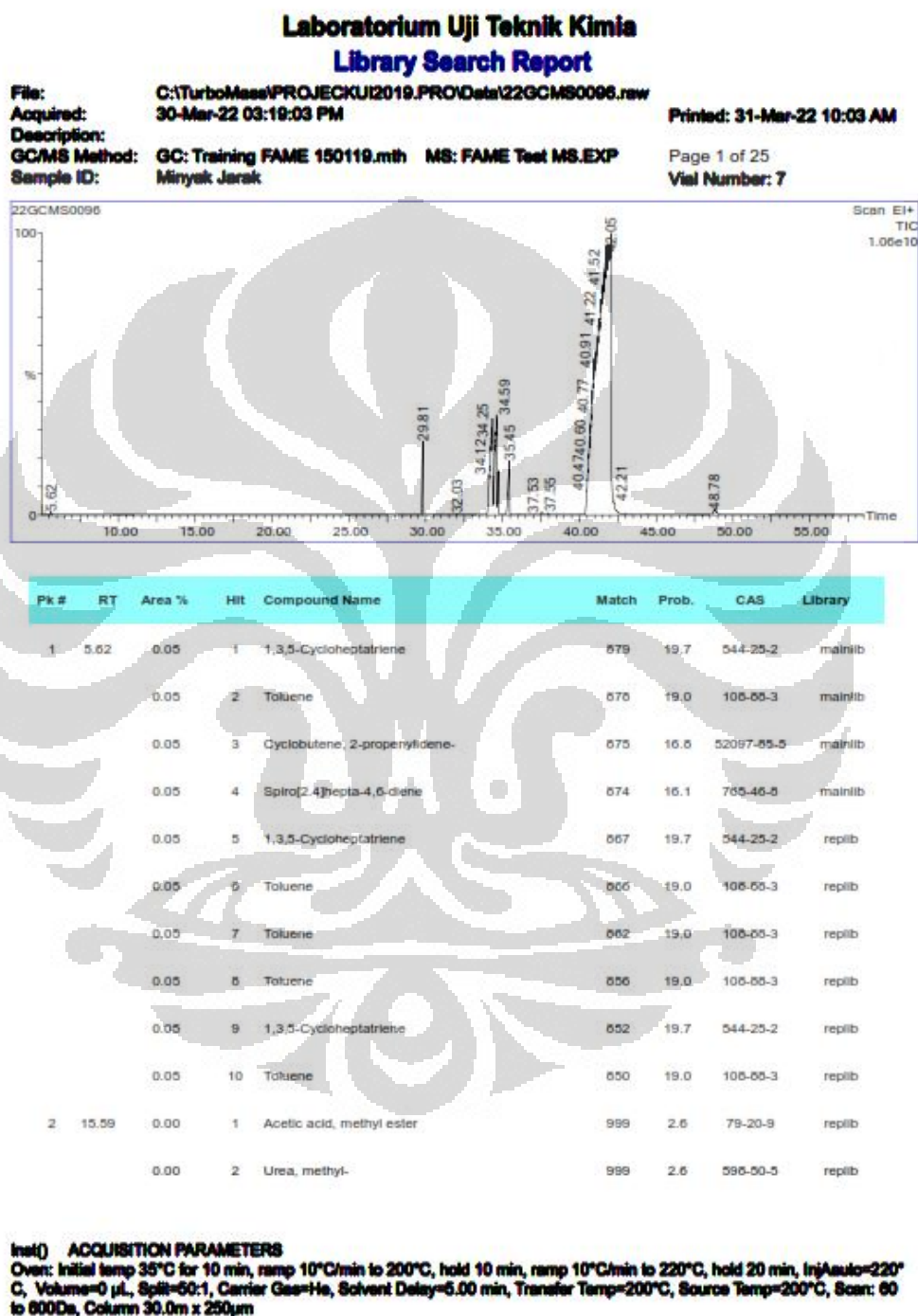


- Spektrum Sampel LS (Perengkahan lemak sapi pada 400 °C, dan 2% berat katalis)



## Lampiran 6. Hasil Pengukuran Kromatogram GC-MS

- GC-MS Minyak Jarak Kepyar



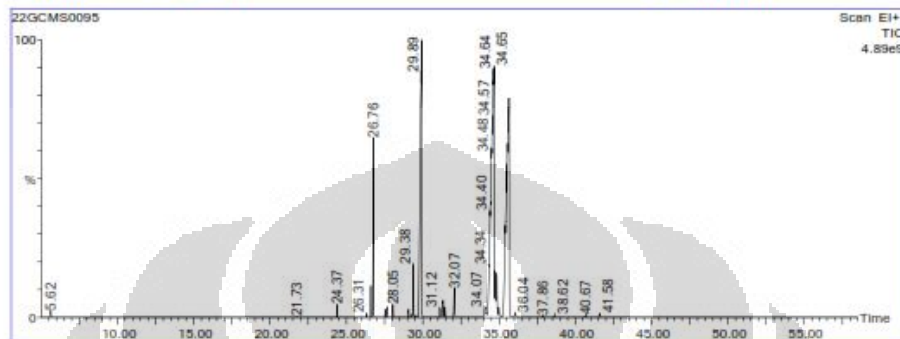
- GC-MS Lemak Sapi

### Laboratorium Uji Teknik Kimia Library Search Report

File: C:\TurboMass\PROJECKUI2019\PROData\22GCMS0095.raw  
 Acquired: 30-Mar-22 02:10:51 PM  
 Description:  
 GC/MS Method: GC: Training FAME 150119.mth MS: FAME Test MS.EXP  
 Sample ID: Lemak Sapi

Printed: 31-Mar-22 00:59 AM

Page 1 of 25  
 Vial Number: 6

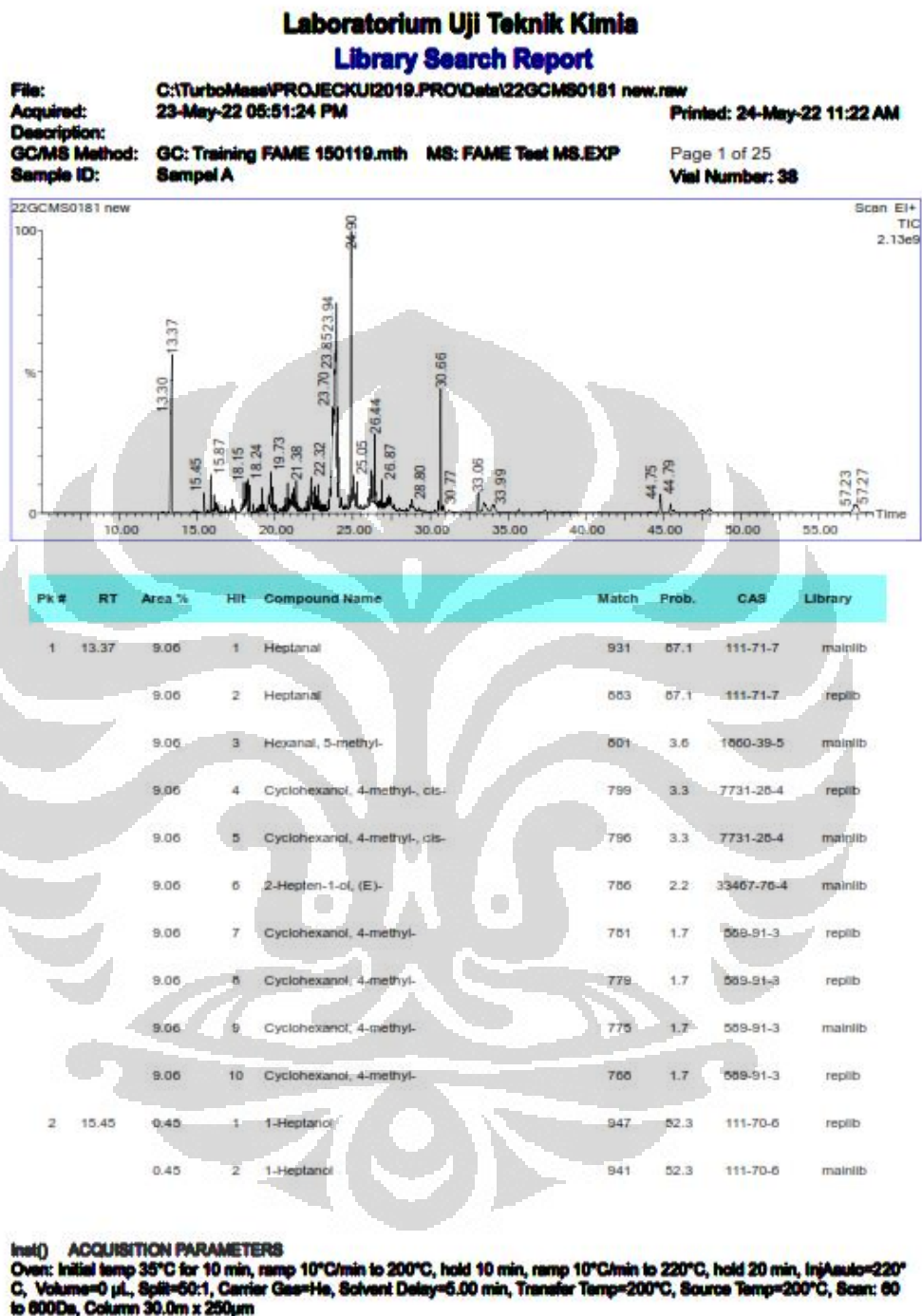


| Pk # | RT    | Area % | Hit | Compound Name                 | Match | Prob. | CAS        | Library   |
|------|-------|--------|-----|-------------------------------|-------|-------|------------|-----------|
| 1    | 5.62  | 0.20   | 1   | 1,3,5-Cycloheptatriene        | 690   | 29.5  | 544-25-2   | mainlib   |
|      |       |        | 2   | Spiro[2.4]hepta-4,6-diene     | 667   | 26.1  | 765-46-5   | mainlib   |
|      |       |        | 3   | 1,3,5-Cycloheptatriene        | 676   | 29.5  | 544-25-2   | replib    |
|      |       |        | 4   | Cyclobutene, 2-propenylidene- | 668   | 13.4  | 52097-05-5 | mainlib   |
|      |       |        | 5   | 1,3,5-Cycloheptatriene        | 665   | 29.5  | 544-25-2   | replib    |
|      |       |        | 6   | Toluene                       | 665   | 11.4  | 105-05-3   | mainlib   |
|      |       |        | 7   | Toluene                       | 661   | 11.4  | 105-05-3   | replib    |
|      |       |        | 8   | Toluene                       | 653   | 11.4  | 105-05-3   | replib    |
|      |       |        | 9   | Toluene                       | 646   | 11.4  | 105-05-3   | replib    |
|      |       |        | 10  | Toluene                       | 640   | 11.4  | 105-05-3   | replib    |
| 2    | 21.73 | 0.02   | 1   | Glycylglycine                 | 693   | 92.8  | 556-50-3   | nist_msms |
|      |       |        | 2   | Glycylglycine                 | 690   | 92.8  | 556-50-3   | nist_msms |

#### Acquisition Parameters

Over: Initial temp 35°C for 10 min, ramp 10°C/min to 200°C, hold 10 min, ramp 10°C/min to 220°C, hold 20 min, InjAtemp=220°C, Volume=0 µL, Split=50:1, Carrier Gas=He, Solvent Delay=5.00 min, Transfer Temp=200°C, Source Temp=200°C, Scan: 60 to 800Da, Column 30.0m x 250µm

- GC-MS Sampel C



### Lampiran 7. Hasil Perhitungan Konversi dan Yield

Massa Jenis Minyak Jarak Kepyar : 0.864

Volume Bahan Baku (mL): 250

Massa Bahan Baku (Gram): 216

#### Konversi Hasil Reaksi

| Sampel | Suhu Reaksi | %Berat Katalis |          | Gas N <sub>2</sub> | Tekanan Reaksi | Konversi | Black Paste | Berat Bersih |
|--------|-------------|----------------|----------|--------------------|----------------|----------|-------------|--------------|
| A      | 370 °C      | 2%             | 4.3 gram | Tidak              | 4 - 5 Bar      | 30.16%   | 69.84%      | 65.15 gram   |
| B      | 370 °C      | 4%             | 8.7 gram |                    |                | 32.15%   | 67.85%      | 69.44 gram   |
| C      | 400 °C      | 2%             | 4.3 gram |                    |                | 51.88%   | 48.12%      | 112.06 gram  |
| D      | 400 °C      | 4%             | 8.7 gram |                    |                | 38.76%   | 61.24%      | 83.72 gram   |
| E      | 400 °C      | 2%             | 4.3 gram | Ya                 |                | 86.25%   | 13.75%      | 186.30 gram  |

#### Yield Fraksi *Renewable Diesel* setelah Distilasi

| Sampel | Berat Bersih | Yield  | Volume Bersih |
|--------|--------------|--------|---------------|
| A      | 18.07        | 31.92% | 20.91 mL      |
| B      | 23.11        | 37.73% | 26.75 mL      |
| C      | 65.86        | 63.14% | 76.23 mL      |
| D      | 29.9         | 39.05% | 34.61 mL      |
| E      | 122.72       | 68.43% | 142.04 mL     |