

TUGAS AKHIR

**PENGARUH PENGGUNAAN METODE *MICROWAVE DIRECT TRANSESTERIFICATION (MDT)* TERHADAP YIELD DAN KARAKTERISTIK BIODIESEL DARI MIKROALGA HIJAU (*SCENEDESMUS OBLIQUUS*)**

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat untuk Menyelesaikan Pendidikan Tahap Sarjana



Dosen Pembimbing :

Dr. ADJAR PRATOTO

JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK – UNIVERSITAS ANDALAS  
PADANG, 2019

## **LEMBAR PENGESAHAN**

### **PENGARUH PENGGUNAAN *METODE MICROWAVE DIRECT TRANSESTERIFICATION (MDT)* TERHADAP *YIELD DAN KARAKTERISTIK BIODIESEL DARI MIKROALGA HIJAU (*SCENEDESMUS OBLIQUUS*)***



Tugas Akhir diajukan sebagai Salah Satu Syarat untuk Menyelesaikan Pendidikan  
Tahap Sarjana (S1) Teknik Mesin Universitas Andalas

Padang, Agustus 2019

Pembimbing

**Dr. Adjar Pratoto**

**NIP. 196009081986031002**

## ABSTRAK

Biodiesel dari mikroalga merupakan bahan bakar alternatif minyak diesel yang sedang dikembangkan banyak negara, termasuk Indonesia. Kandungan minyak dalam biomassa kering mikroalga dapat mencapai 80% berat dan mampu menghasilkan lipid dalam range 20-50%. Hasil yang diperoleh maksimal tergantung pada metode, katalis dan pelarut yang digunakan. Saat ini efektifitas metode yang sering digunakan masih belum maksimal untuk mendapatkan biodisel yang layak dilihat dari waktu, *yield* dan karakteristik yang dihasilkan, maka perlu dilakukan pengembangan untuk metode yang efektif dalam proses pembuatan biodiesel baik terhadap *yield* dan karakteristik biodisel yang dihasilkan.

Penelitian ini dilakukan untuk memperlihatkan hasil biodisel dari mikroalga dengan menggunakan metode *Microwave Direct Transesterification* (MDT) baik terhadap efektifitas waktu, *yield* dan karakteristik yang dihasilkan dengan bahan baku mikroalga hijau *Scenedesmus obliquus* dengan perbandingannya terhadap metode *konvensional* yang memerlukan tahap ekstraksi dan transesterifikasi.

Dari penelitian ini, diperoleh *yield biodiesel* dengan metode *Microwave Direct Transesterification* (MDT) yang lebih tinggi dari pada metode *konvensional*, yaitu 63,17%, dengan karakteristik angka cetana 73; viskositas 4,02mm/s<sup>2</sup>; *cloud point* 10,1° C; *flash point* 137° C; nilai kalor 54 MJ/kg dan *density* 0,867g/ml. Dari hasil *yield* dan karakteristik biodiesel yang memenuhi standar SNI, EDIN dan ASTM D serta dengan waktu yang singkat tersebut, dapat disimpulkan metode *Microwave Direct Transesterification* (MDT) lebih efektif dan optimal dalam pembuatan *biodiesel*.

Keywords : *Biodiesel, Algae Oil, Microwave Direct Transesterification (MDE), Karakteristik Biodiesel*

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillaahi robbil ‘alamin, segala puji dan syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT dan Nabi Muhammad SAW, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “**PENGARUH PENGGUNAAN METODE MICROWAVE DIRECT TRANSESTERIFICATION (MDT) TERHADAP YIELD DAN KARAKTERISTIK BIODISEL DARI MIKROALGA HIJAU (*SCENEDESMUS OBLIQUUS*)**” sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan tahap sarjana pada jurusan Teknik Mesin Universitas Andalas. Dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini, penulis banyak memperoleh dukungan, bimbingan dan arahan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada:



1. Kedua orang tua, kakak dan keponakan yang selalu memberikan doa, semangat, dukungan dan kasih sayang yang tak terhingga sampai saat ini.
2. Bapak Dr. Adjar Pratoto yang telah memberikan bimbingan, perhatian dan pengarahan dalam menyelesaikan Tugas Akhir.
3. Bapak Firman Ridwan Ph.D dan Ibu Endri Yani, M.T yang telah memberikan waktu dan pengarahan dalam menyelesaikan Tugas Akhir.
4. Bapak dan Ibu seluruh *staff* Jurusan Teknik Mesin yang telah memberikan bantuan dan dukungannya.
5. Rekan-rekan seperjuangan, Mahasiswa Angkatan 2015 (MXXVIII) Jurusan Teknik Mesin Universitas Andalas atas bantuan dan dukungannya.
6. Rekan-rekan anggota AFRG (*Andalas Flying Robot Generation*) HMM Universitas Andalas atas bantuan dan dukungannya.
7. Rekan-rekan Asisten LKE dan Asisten Termodinamika Jurusan Teknik Mesin serta Asisten Biokimia Jurusan Kimia atas masukan dan bantuannya.
8. Rekan-rekan di Jurusan Teknik Mesin Universitas Andalas dan semua pihak yang telah membantu penulis memberikan masukan dalam menyelesaikan Tugas Akhir.

Akhir kata, kritik dan saran yang membangun dari para pembaca sangat penulis harapkan demi perbaikan di masa yang akan datang. Semua laporan ini

dapat bermanfaat bagi mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Andalas khususnya, dan pembaca umumnya.

Padang, November 2018

Penulis



<b>DAFTAR ISI</b>	
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b>	
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>i</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>ii</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>iv</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR NOTASI.....</b>	<b>ix</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian .....	3
1.4 Manfaat Penelitian .....	3
1.5 Batasan Penelitian.....	3
1.6 Sistematika Penulisan .....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Biodisel.....	5
2.1.1 Manfaat Biodisel.....	5
2.1.2 Karakteristik Biodisel .....	7
2.2 Mikroalga sebagai Sumber Energi Generasi Ketiga .....	7
2.3 Lipid dan Asam Lemak .....	9
2.3.1 Metode Mekanik .....	9
2.3.2 Metode Kimia .....	10
2.4 Biodisel dari Mikroalga.....	11
2.4.1 Standar Mutu Biodisel .....	12
2.4.2 Esterifikasi .....	13

2.4.3 Transesterifikasi.....	13
2.4.4 Microwave Direct Transesterifikasi.....	14

### **BAB III METODOLOGI**

3.1 Bahan dan Alat .....	16
3.1.1 Bahan Penelitian.....	16
3.1.2 Alat Penelitian .....	16
3.2 Metode.....	18
3.2.1 Kultivasi Bibit Mikroalga <i>Scenedesmus Obliquus</i> .....	19
3.2.2 Pemanenan Biomassa Mikroalga.....	19
3.2.3 Pengeringan Biomassa.....	19
3.2.4 Pembuatan Biodisel .....	19
3.2.5 Karakteristik Biodisel.....	21



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

4. 1 Kultivasi <i>Scenedesmus obliquus</i> .....	23
4. 2 Pemanenan Biomassa Mikroalga <i>Scenedesmus obliquus</i> .....	24
4. 3 Pengeringan Biomassa Mikroalga <i>Scenedesmus obliquus</i> .....	25
4. 4 Pembuatan Biodiesel Mikroalga <i>Scenedesmus obliquus</i> .....	25
4.4.1 Pembuatan Biodiesel Tanpa Menggunakan <i>Microwave</i> .....	25
4.4.2 Pembuatan Biodiesel Menggunakan <i>Microwave</i> .....	27
4. 5 Komposisi Biodiesel.....	27
4. 6 Yield Biodiesel.....	32
4. 7 Karakteristik Biodisel.....	32

### **BAB V PENUTUP**

5. 1 Kesimpulan.....	38
5. 2 Saran .....	38

### **DAFTAR PUSTAKA**

**LAMPIRAN 1**

**LAMPIRAN 2**

**LAMPIRAN 3**

**LAMPIRAN 4**

**LAMPIRAN 5**



## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b> Perbandingan Karakteristik Biodisel dengan Solar .....	5
<b>Tabel 2.2</b> Perbandingan Potensi Produksi Bahan Alternatif Biodiesel .....	8
<b>Tabel 2.3</b> Perbandingan Produksi Lipid .....	8
<b>Tabel 2.4</b> Spesifikasi Biodisel .....	12
<b>Tabel 4.1</b> Komposisi Asam Lemak Metode <i>Microwave Direct Transesterification</i> .....	27
<b>Tabel 4.2</b> Komposisi Asam Lemak Metode Transesterifikasi tanpa <i>Microwave</i> .....	28
<b>Tabel 4.3</b> Karakteristik Biodiesel .....	32



## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b> Reaksi Transesterifikasi.....	13
<b>Gambar 2.2</b> Skema <i>Microwave Direct Trasesterification</i> (MDT) .....	14
<b>Gambar 2.3</b> Perbedaan Prinsip Kerja Gelombang Mikro dan Pemanasan Konvensional .....	15
<b>Gambar 3.1</b> Skema Alat Metode <i>Microwave Direct Transesterification</i> .....	16
<b>Gambar 3.2</b> Skema Alat Metode Transesterification tanpa <i>Microwave</i> .....	16
<b>Gambar 3.3</b> Diagram Alir Penelitian .....	17
<b>Gambar 4.1</b> Bibit Awal Kultivasi.....	22
<b>Gambar 4.2</b> Kultivasi di Medium Besar.....	22
<b>Gambar 4.3</b> Pemanenan Mikroalga .....	23
<b>Gambar 4.4</b> Mikroalga Hasil Pemisahan dari Air .....	24
<b>Gambar 4.5</b> Pengeringan Mikroalga.....	24
<b>Gambar 4.6</b> Proses Ekstraksi <i>Bligh and Dryer</i> .....	25
<b>Gambar 4.7</b> Biodiesel Hasil Transesterifikasi tanpa <i>Microwave</i> .....	25
<b>Gambar 4.8</b> Biodiesel Hasil Metode <i>Direct Transesterification</i> .....	26
<b>Gambar 4.9</b> Perbedaan nilai cetana tiap metode.....	33
<b>Gambar 4.10</b> Perbedaan nilai viskositas tiap metode .....	34
<b>Gambar 4.11</b> Perbedaan nilai <i>density</i> tiap metode .....	35
<b>Gambar 4.12</b> Perbedaan nilai <i>cloud point</i> tiap metode.....	35

## DAFTAR NOTASI

Notasi	Keterangan
$\phi_i$	Cetana biodisel
$M_i$	Berat mol dari $i^{\text{th}}$ FMAE
N	Nomor ikatan rangkap
$\eta$	Viskositas FMAE
$N_c$	Berat rata-rata no. karbon atom
$N_{DB}$	Berat rata-rata no. ikatan rangkap
$T_f$	<i>Flash point</i> biodisel
CP	<i>Cloud Point</i> Biodisel
$P_{FMAE}$	Komposisi palmitic acid methyl esther
$\rho_i$	Densitas FAME
$M_i$	Berat mol dari $i^{\text{th}}$ FAME
$\Delta_i$	<i>Higher heating value</i>



## BAB I

### PENDAHULUAN

#### 1.1 Latar Belakang

Energi memang sudah menjadi kebutuhan mutlak saat ini. *International Energy Outlook* (IEO 2016) menyatakan konsumsi energi di dunia saat ini akan meningkat hingga 48% tahun 2040 nantinya[1]. Khususnya minyak bumi, sumber energi utama dalam menunjang kehidupan manusia saat ini. Konsumsi dari minyak bumi yang bertambah 2-3% tiap tahun menyebabkan kesenjangan antara kebutuhan masyarakat dunia dan ketersediaannya (produksi)[2]. Populasi penduduk dunia yang besar dan produksi transportasi massal dengan jumlah kendaraan pribadi yang menggunakan minyak bumi berjenis Bahan Bakar Minyak (BBM) terus meningkat setiap tahunnya sehingga konsumsi minyak dunia juga mengalami peningkatan, termasuk di Indonesia. Berdasarkan hal ini, di tahun 2017 *International Monetary Fund* mengindikasikan bahwa minyak dunia (33%) masih kokoh menempati urutan teratas dalam daftar penyedia (*supplier*) kebutuhan energi di dunia, disamping konsumsi batubara 28%, gas alam 23% dan sisanya diisi oleh energi terbarukan (*renewable energy*) seperti *biofuel*, energi nuklir, panas bumi, tenaga air dan angin dari total sumber energi[2].

Dalam mengatasi keterbatasan minyak bumi ini, dibutuhkan energi terbarukan yang dapat diperbaharui menjadi bahan bakar alternatif dan ramah lingkungan yang mampu menyaingi konsumsi minyak bumi. Salah satu energi terbarukan yang berpotensi untuk meminimalisir penggunaan minyak bumi dan ramah lingkungan sebagai bahan bakar alternatif adalah biodiesel, karena banyaknya ketersediaan bahan utama pembentuk biodiesel di alam. Di Indonesia sendiri pemerintah menetapkan Perpres No 79 Tahun 2014 mengenai target kebutuhan konsumsi energi yang melibatkan energi terbarukan termasuk diantaranya penggunaan biodiesel[2]. Biodiesel terdiri dari *monoalkyl ester* yang dapat terbakar dengan bersih. Karena Biodiesel dapat diproduksi dari minyak sayur, lemak hewan, minyak nabati, dan minyak bekas gorengan, biodiesel digolongkan sebagai bahan bakar yang dapat diperbarui. Biodiesel yang memiliki sifat *biodegradable*, tidak beracun dan bebas dari belerang membuatnya lebih

unggul daripada minyak bumi umumnya[1]. Salah satu biomassa yang potensial untuk dijadikan bioenergi ialah mikroalga. Mikroalga merupakan biomassa generasi ketiga setelah pati dan lignoselulose. Dari beberapa penelitian, mikroalga sebagai mikroorganisme fotosintesis yang mampu menjadi alternatif sebagai sumber penghasil minyak[2].

Potensi Indonesia sebagai salah satu negara tropis dengan garis pantai terpanjang yaitu 81.000 km dan kondisi iklim tropis dengan cahaya matahari yang sangat sesuai untuk kehidupan mikroalga sehingga memungkinkan untuk dikembangkannya pemanfaatan biodisel dari mikroalga. Mikroalga mampu menghasilkan *lipid* 50-60% dari berat keringnya, termasuk mikroalga *Scenedesmus obliquus* memiliki *lipid* 11%-55% dari berat keringnya[3]. Mikroalga spesies *Scenedesmus obliquus* dari divisi alga hijau ini merupakan mikroalga yang bersifat kosmopolit dan sebagian besar dapat hidup di lingkungan akuatik seperti perairan tawar dan payau, berbentuk silindris dan umumnya membentuk koloni berukuran lebar 12-14  $\mu\text{m}$  dan panjang 15-20  $\mu\text{m}$ [3]. Mikroalga *Scenedesmus obliquus* mengandung 8-56% protein, 10-52% karbohidrat, 2-40% lemak serta 3-6% asam nukleat[3]. Asam lemak pada *Scenedesmus* terdiri atas 25,161% berupa linoleat, 23,459% oleat, 16,16% linolenat serta 20,286% palmitat sehingga mampu untuk menghasilkan minyak 35-55%[3].



Di masa ini, pembuatan biodisel atau *fatty acid methyl ester* (FAME) dari mikroalga pun sudah berkembang, termasuk pada proses ekstraksi yang mengembangkan teknik baru yaitu dengan menggunakan teknologi *microwave* yang terbukti mampu menghasilkan minyak biodiesel[4]. Teknik ini dikenal dengan *direct-transesterification*, dimana proses ekstraksi biomassanya dilakukan bersamaan dengan proses transesterifikasi yang memanfaatkan perlakuan panas pada biomassa untuk menghasilkan minyak[5]. Keuntungan utama dari metode ekstraksi modern dibandingkan dengan metode ekstraksi konvensional adalah efisiensi lebih besar dan waktu proses yang lebih cepat. Banyak penelitian yang menyatakan bahwa metode ekstraksi mempengaruhi kualitas hasil minyak biodisel[4]. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan minyak dari mikroalga

jenis *Scenedesmus obliquus* dengan metode *microwave direct-transesterification*, mengetahui metode yang paling baik untuk mengekstraksi minyak dari mikroalga *Scenedesmus obliquus* sehingga diperoleh hasil yang optimum dengan membandingkan konversi minyak biodisel yang dihasilkan.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan masalah yang dipaparkan dalam latar belakang, maka rumusan masalah dari penelitian ini adalah bagaimana pengaruh penggunaan gelombang mikro dalam metode ekstraksi dan transesterifikasi terhadap *yield* dan karakteristik minyak dari mikroalga.

## 1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penggunaan microwave terhadap *yield* dan karakteristik biodisel dari mikroalga *Scenedesmus obliquus* dan akan dibandingkan dengan biodisel tanpa penggunaan microwave.

## 1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah memberikan pengetahuan dan informasi bagi para akademisi tentang pemanfaatan metode ekstraksi dari mikroalga *Scenedesmus obliquus* sebagai bahan biodisel yang efektif dan optimal.

## 1.5 Batasan Penelitian

Pada penelitian ini membahas mengenai pembuatan biodisel berbahan baku mikroalga menggunakan *microwave direct transesterification* berskala penelitian Laboratorium dan tidak membahas komoditas dan klasifikasi mikroalga.

## 1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika dalam penulisan proposal tugas akhir ini adalah pada BAB I yaitu pendahuluan, dimana menjelaskan mengenai latar belakang dilakukannya penelitian, tujuan penelitian yang akan dicapai, manfaat yang dapat diambil dari penelitian, batasan masalah dan sistematika penulisan proposal. Pada BAB II terdapat tinjauan pustaka, yang berisikan teori-teori yang mendukung terhadap eksperimen yang nantinya menjadi acuan dasar dalam pengujian dan analisis data. Pada BAB III terdapat metodologi, yang menjelaskan mengenai persiapan, proses pembuatan dan pengujian yang akan dilakukan. Pada BAB IV hasil dan

pembahasan, berisi pembahasan mengenai hasil yang didapatkan dari penelitian. BAB V penutup, berisi kesimpulan dari hasil penelitian yang dilakukan dan saran untuk penelitian selanjutnya.



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Biodiesel

Biodiesel merupakan monoalkil ester dari asam-asam lemak rantai panjang yang terkandung dalam minyak nabati, lemak hewan, minyak tumbuhan dan minyak bekas gorengan yang mengandung trigliserida[3]. Biodiesel dapat diperoleh melalui reaksi transesterifikasi triglisida (tiga rantai asam lemak yang digabungkan oleh molekul gliserol) dan atau reaksi esterifikasi asam lemak bebas atau *free fatty acid* (FFA), tergantung dari kualitas minyak nabati yang digunakan sebagai bahan baku[6]. Biodiesel merupakan bahan bakar alternatif pengganti bahan bakar diesel. Proses pembuatan biodiesel atau transesterifikasi merupakan proses penggantian molekul gliserol dengan methanol yang kemudian membentuk *fatty acid methyl ester* (FAME), inilah yang disebut dengan biodiesel.

##### 2.1.1 Manfaat Biodiesel

Penggunaan biodiesel mempunyai beberapa keuntungan, menurut studi yang dilakukan *National Biodiesel Board* beberapa keuntungan penggunaan biodiesel antara lain[7]:

1. Biodiesel mempunyai karakteristik yang hampir sama dengan minyak diesel, sehingga dapat langsung dipakai pada motor diesel tanpa melakukan modifikasi yang signifikan dengan resiko kerusakan yang sangat kecil. Perbandingan karakteristik minyak solar dengan biodisel dapat dilihat pada **Tabel 2.1**

**Tabel 2.1** Perbandingan Karakteristik Biodisel dengan Solar [8]

No.	Parameter	Satuan	BBM Solar	Biodisel
1	Densitas	Kg/m <sup>3</sup>	820 – 870 (15°C)	820 – 870 (45°C)
2	Viskositas kinematika (40°C)	Mm <sup>2</sup> /s (cTn)	1,6 – 5,8	2,3 – 6,0
3	Angka setana	°C	Min. 45	Min. 51
4	Titik nyala	°C	Min. 60	Min. 100

Lanjutan **Tabel 2.1** Perbandingan Karakteristik Biodiesel dengan Solar

No.	Parameter	Satuan	BBM Solar	Biodisel
5	Titik embun	°C		Maks. 18
6	Titik tuang	Rating	Maks. 18	
7	Korosi garis tembaga	3 jam pada 50 °C	Maks. No. 1	Maks. No. 3
	Pada sampel tidak terdestilasi	% vol	Maks. 0,1	Maks. 0,30
8	Residu karbon	% (m/m)		
	Pada sampel tidak terdestilai	% (m/m)		Maks.0,05
9	Sedimen dan air	°C	Maks. 0,05	Maks. 0,05
10	90% (v/v) kembali pada suhu destilasi	°C		Maks. 360
11	95% (v/v) kembali pada suhu destilasi	°C	Maks 370	
12	Kandungan debu (debu sulfat)	% (m/m)	Maks. 0,01	Maks. 0,02
13	Kandungan sulphur	Ppm-m (mg/kg)	Maks. 5000	Maks. 100
14	Kandungan fosfor	Ppm (mg/kg)		Maks. 10
15	Tingkat keasaman	Mg-KOH/g	Maks. 0,6	Maks. 0,8
16	Gliserol bebas	% (m/m)		Maks. 0,02
17	Gliserol total	% (m/m)		Maks. 0,24
18	Kandungan ester	% (m/m)		Maks. 96,5
19	Angka yodium	% (m/m)		Maks. 115
20	Tes alphen	% (m/m)		Negatif

2. Biodiesel memberikan efek pelumasan yang lebih baik daripada minyak diesel konvensional. Bahkan satu persen penambahan biodiesel dapat meningkatkan pelumasan hampir 30 persen.

3. Biodiesel dapat diperbarui dan siklus karbonnya yang tertutup tidak menyebabkan pemanasan global. Analisa siklus kehidupan memperlihatkan bahwa emisi CO<sub>2</sub> secara keseluruhan berkurang sebesar 78% dibandingkan dengan mesin diesel yang menggunakan bahan bakar petroleum.

Keuntungan lain dari biodiesel adalah sifatnya yang ramah lingkungan dibanding dengan bahan bakar fosil. Biodiesel dapat mereduksi emisi gas berbahaya seperti karbon monoksida (CO), ozon (O<sub>3</sub>), nitrogen oksida (NOx), sulfur oksida (SOx) dan hidro karbon relatif lainnya[7].

### 2.1.2 Karakteristik Biodisel

Biodisel mempunyai bilangan setana yang baik dari minyak diesel (> 50) dengan volatilitas tidak terlalu tinggi supaya pembakaran yang terjadi didalamnya lebih sempurna. Minyak diesel dikehendaki memiliki kekentalan yang relatif rendah agar mudah mengalir melalui pompa injeksi. Untuk keselamatan selama penggunaan, titik nyala (*flash point*) harus cukup tinggi agar terhindar dari bahaya kebakaran pada temperatur kamar. Dari peraturan pengujian minyak biodiesel berdasarkan peraturan dirjen migas No. 002/P/DM/MIGAS/1979 tanggal 25 mei 1979 tentang spesifikasi bahan bakar minyak dan gas dan standar pengujian SNI (Standar Nasional Indonesia), berikut adalah beberapa karakteristik dari biodiesel[3]:

- 
- a. Kandungan sulfur kurang dari 15 ppm
  - b. Bebas aromatik
  - c. Angka cetana yang tinggi (lebih dari 50)
  - d. Bisa terdegradasi secara alami
  - e. Tidak bersifat karsinogen
  - f. Flash point yang tinggi (lebih dari 127°C)
  - g. Nilai kalor max.8% lebih rendah dari solar (*calorific value* solar : 10803 cal/g)

### 2.2 Mikroalga sebagai Sumber Energi Generasi Ketiga

Mikroalga adalah sejenis makhluk hidup unisel berukuran antara 1 mikrometer sampai ratusan mikrometer yang memiliki klorofil, hidup di air tawar

atau laut membutuhkan karbon dioksida, beberapa nutrien dan cahaya untuk berfotosintesis. Mikroalga memiliki kinerja yang hampir sama dengan tumbuhan bersel banyak, akan tetapi tidak memiliki akar, daun, dan batang untuk berfotosintesis. Menurut beberapa peneliti, mikroalga diibaratkan sebagai pabrik kecil dalam ukuran sel mikro yang mengubah karbon dioksida menjadi material potensial seperti biofuel, pangan, dan biomaterial melalui energi matahari[9]. Berikut dapat dilihat potensi produksi mikroalga dibandingkan dengan bahan lainnya pada **Tabel 2.2**

**Tabel 2.2** Perbandingan Potensi Produksi Bahan Alternatif Biodiesel[3]

No.	Komoditas	Ha/Tahun
1	Sawit	5.950 Liter
2	Kelapa	2.689 Liter
3	Jarak	1.413 Liter
4	Bunga Matahari	952 Liter
5	Mikroalga	100.000 Liter

Dapat dilihat pada **Tabel 2.2**, mikroalga mampu menghasilkan minyak biodiesel yang banyak dengan lahan yang sedikit dibandingkan dengan bahan nabati lainnya. Mikroalga penghasil biofuel, atau disebut sebagai algae fuel adalah biofuel generasi ketiga setelah ditemukannya teknologi generasi kedua, biofuel dari tanaman penghasil lipid. Mikroalga dapat memproduksi energi 20 sampai 100 kali lipat dibanding tumbuhan tingkat tinggi lainnya[9]. Perbandingan produksi minyak mikroalga daripada tanaman tingkat tinggi lainnya dapat dilihat pada

**Tabel 2.3**

**Tabel 2.3** Perbandingan Produksi Lipid[3]

No.	Komoditas	Yield Minyak
1	Jagung	172
2	Kedelai	446
3	Jarak	1892
4	Kelapa	2689
5	Kelapa Sawit	5950
6	Mikroalga	136900

Berdasarkan **Tabel 2.2** mikroalga merupakan sumber biodiesel yang paling berpotensi dibanding tumbuhan lain. Mikroalga secara umum memproduksi biomasa dua kali lipat selama 24 jam. Sedangkan penggandaan biomassa selama fase eksponensial dapat dicapai dalam waktu 3.5 jam. Kandungan minyak dalam biomassa kering mikroalga dapat mencapai 80% berat. Namun secara umum mikroalga menghasilkan lipid dalam range 20-50%[3]. Produktivitas lipid dan produktivitas biomassa harus sesuai. Produktivitas lipid adalah massa lipid yang diproduksi per unit volume dari broth mikroalga per hari. Beberapa mikroalga memiliki kandungan lipid yang tinggi namun pertumbuhannya lambat. Setiap mikroalga menghasilkan lipid yang berbeda beda dan minyak yang dihasilkan pun memiliki *yield* yang berbeda-beda. *Yield* yang diartikan disini adalah kemampuan luluhan dari minyak atau kemampuan luluhan minyak untuk dapat berubah/bereaksi saat pembakaran. Semakin tinggi nilai *yield* minyak yang dihasilkan semakin bagus kualitas dari minyak tersebut[8].

### 2.3 Lipid dan Asam Lemak

Lemak, minyak dan asam lemak merupakan kelompok trigliserida. Secara umum, *lipid* diartikan sebagai trigliserida yang dalam kondisi suhu ruang berada dalam keadaan padat. Minyak nabati dari mikroalga mampu menghasilkan minyak dan *lipid* 50-60% dari berat keringnya. Hasil dari minyak dan *lipid* dari mikroalga ini biasanya adalah asam lemak jenuh atau asam lemak tidak jenuh. Asam lemak dan lipid pada mikroalga diperoleh dari proses ekstraksi. Berikut beberapa metode ekstraksi biodiesel[10]:

#### 2.3.1 Metode Mekanik

- *Oil Expeller or Press*

*Oil Expeller or Press* merupakan metode pemisahan dengan menggunakan tekanan untuk mendesak suatu bahan yang akan diekstrak sehingga sel dari bahan tersebut pecah dan mengeluarkan minyak dengan alat pengepres. Metode ini tidak perlu menggunakan pelarut. Untuk melakukan metode ini, mikroalga perlu dikeringkan terlebih dahulu sehingga tidak mengandung air pada biomassanya. Metode ekstraksi ini dapat menghasilkan minyak 75% dari biomassanya, namun prosesnya membutuhkan waktu yang lama dan jumlah biomassanya dengan skala besar.

- ***Ultrasonic Assisted Extraction***

Metode ini dikenal juga dengan metode sonifikasi, dimana prinsip dari metode ekstraksi ini menggunakan gelombang ultrasonik yang dihasilkan dari reaktor ultrasonik. Reaktor ultrasonik ini akan menghasilkan gelembung kavitas, dimana pada saat gelembung ini pesah didekat dinding sel mikroalga, maka dinding sel akan pecah dan komponen daidalam sel mikroalga akan keluar dan bereaksi dengan larutan. Metode ultrasonik ini umumnya memiliki frekuensi  $>20\text{Hz}$  pada intensitas yang tinggi dan memiliki efektifitas 50% dalam ekstraksi minyak.

- ***Microwave Assisted Extraction***

*Microwave Assisted Extraction* (MAE) memiliki prinsip kerja menggunakan gelombang mikro pada campuran biomassa dengan solven. Gelombang mikro ini dihasilkan dari pemanasan di ruang vakum terhadap biomassa. *Microwave Assisted Extraction* (MAE) memanfaatkan alat berupa *microwave oven* dalam prosesnya.



### 2.3.2 Metode Kimia

- ***Solvent Extraction***

Metode solvent extraction ini merupakan metode yang mudah dan murah untuk dilakukan. Metode ini menggunakan solven beracun dan proses penggerjaan yang lama. Untuk meminimalisir hal tersebut, pembaruan dari metode ini dikenalkan, yaitu dengan menggunakan solven pada temperatur  $50^\circ\text{C}$ – $200^\circ\text{C}$  dengan tekanan antara 10-15 Mpa. Ekstraksi *lipid* biomassa mikroalga dapat menggunakan solven polar seperti metanol, etanol, etil asetat, dan juga dapat menggunakan solven non-polar seperti heksan, benzen, kloroform. Pada metode ini, terdapat beberapa metode yang menggunakan metode *solvent extraction*, diantaranya yaitu metode *blight and dryer* dan metode soxhlet.

- ***Supercritical CO<sub>2</sub>***

Metode ini menggunakan peralatan khusus. Pada prosesnya, CO<sub>2</sub> dicairkan dibawah tekanan normal lalu dioanaskan sampai mencapai titik kesetimbangan antara fase gas dan cair. Pencairan fluid terebut yang bertindak

sebagai larutan yang akan mengekstraksi minyak dari mikroalga. Metode ini dapat mengekstraksi minyanya hampir 100% dari biomassanya.

- ***Ionic Liquid Extraction***

*Ionic liquid extraction* adalah metode yang cocok untuk ekstraksi minyak dari mikroalga, karena kestabilan temperatur, fleksibilitas sintetik dan *non-volality*. Metode ini digunakan untuk kandungan lipid minimalnya 12,5%. Dengan begitu, dapat menghasilkan lipid yang lebih efektif daripada metode *solvent extraction*.

## 2.4 Biodiesel dari Mikroalga

BBM alternatif yang dapat mengantikan krisis pemakaian BBM fosil adalah biodiesel. Pada produksi biodiesel yang merupakan energi terbarukan yang berasal dari tumbuhan termasuk mikroalga, jika dibandingkan dengan solar, biodiesel memiliki kelebihan diantaranya[8]:

- 
- a. Bahan bakar ramah lingkungan karena menghasilkan emisi yang jauh lebih baik (*free sulphur, smoke number* rendah)
  - b. *Cetane number* lebih tinggi sehingga efisiensi pembakaran lebih baik dibandingkan dengan minyak kasar
  - c. Memiliki sifat pelumasan terhadap piston mesin
  - d. Dapat terurai (*biodegradable*)
  - e. Merupakan *renewable energy* terbuat dari bahan alam yang dapat diperbaharui
  - f. Meningkatkan independensi suplai bahan bakar karena dapat diproduksi secara lokal

Sedangkan, apabila karakteristik emisi pembakaran biodiesel dari mikroalga dibandingkan dengan solar, didapatkan data sebagai berikut[3]:

- a. Emisi karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) netto berkurang 100%
- b. Emisi sulfur dioksida berkurang 100%
- c. Emisi debu berkurang 40-60%
- d. Emisi karbon monoksida (CO) berkurang 10-50%
- e. Emisi hidrokarbon berkurang 10-50%
- f. Hidrokarbon aromatik polisiklik (PAH = *polycyclic aromatic hydrocarbon*) berkurang, terutama PAH beracun seperti : phenanthren

berkurang 98%, benzofloroanthen berkurang 56%, benzapyren berkurang 71%, serta aldehida dan senyawa aromatik berkurang 13%.

#### 2.4.1 Standar Mutu Biodisel

Minyak diesel diharapkan memiliki kekentalan yang relatif rendah, agar mudah mengalir melalui pipa injeksi. Untuk keselamatan selama penanganan dan penyimpanan, titik nyala harus cukup tinggi agar terhindar dari bahaya kebakaran pada suhu kamar. Kadar belerang dapat menyebabkan terjadinya keausan pada dinding silinder. Suatu teknik pembuatan biodiesel hanya akan berguna apabila produk yang dihasilkan sesuai dengan spesifikasi (syarat mutu) yang telah ditetapkan dan berlaku di daerah pemasaran biodiesel tersebut. Standar mutu biodiesel disusun dengan memperhatikan standar sejenis yang sudah berlaku diluar negeri, seperti ASTM D6751-02 di Amerika Serikat dan EDIN 14241:2002 (E) untuk negara Uni Eropa, di mana di wilayah-wilayah tersebut pemakaian biodiesel sudah meluas dan mencapai tahap komersialisasi[5]. Pada **Tabel 2.4** akan memperlihatkan standar mutu biodisel.

**Tabel 2.4** Spesifikasi Biodisel[9]

Kategori	ASTM D6751-02	EDIN	SNI
Massa jenis pada 40°C	Maks. 0,08	0,86 – 0,90	0,86 – 0,89
Viskositas kinematik 20°C	1,9 - 6,0	3,5 - 5,0	3,5 - 5,0
Angka setana	Min. 47	Min. 51	Min. 51
Titik nyala °C	Min 130	Min 120	Min 120
Titik kabut	-	-	-
Residu karbon	Maks. 0,050	Maks. 0,30	Maks. 0,05
Gliserin bebas	0,02	0,02	Maks. 0,02
Angka asam	0,8	0,8	0,8
Air dan sedimen (%v)	Maks. 0,050	Maks. 500	Maks. 0,05

Metode konversi dari asam lemak (*lipid*) menjadi biodisel sebagai berikut :

#### 2.4.2 Esterifikasi

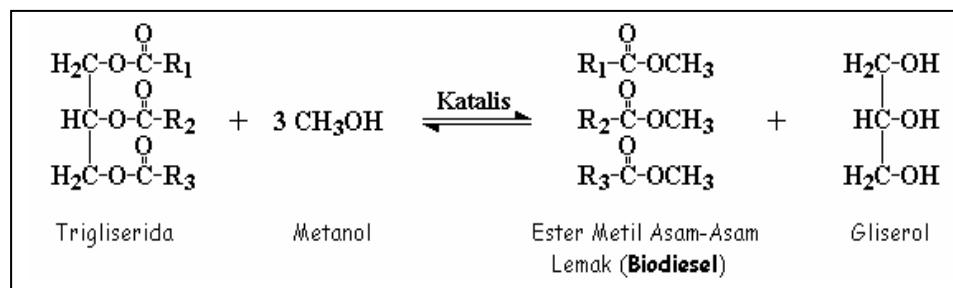
Esterifikasi adalah proses yang mereaksikan asam lemak bebas atau *free fatty acid* (FFA) dengan alkohol (metanol atau etanol) menghasilkan metil ester

asam lemak atau *fatty acid methyl ester* (FAME) dan air. Esterifikasi adalah tahap konversi dari asam lemak bebas menjadi ester. Esterifikasi mereaksikan minyak lemak dengan alkohol. Katalis yang digunakan untuk reaksi esterifikasi adalah asam, biasanya asam sulfat ( $H_2SO_4$ ) atau asam fosfat ( $H_2PO_4$ )[3]. Reaksi esterifikasi umumnya dilakukan apabila FFA dari bahan baku pembuatan biodiesel bernilai >5%[3]. Reaksi esterifikasi dari asam lemak menjadi metil ester adalah :



#### 2.4.3 Transesterifikasi

Transesterifikasi (biasa disebut dengan alkoholisis) adalah tahap konversi dari trigliserida (minyak nabati) menjadi alkyl ester, melalui reaksi dengan alkohol, dan menghasilkan produk samping yaitu gliserol. Alkohol yang umumnya digunakan pada proses ini adalah metanol, karena reaktifitasnya yang tinggi dan harga yang murah. Nilai perbandingan yang terbaik antara alkohol dengan minyak nabati adalah 6:1 dan 12:1 karena dapat memberikan konversi yang maksimum[11]. Transesterifikasi juga menggunakan katalis dalam reaksinya. Tanpa adanya katalis, konversi yang dihasilkan maksimum namun reaksi berjalan dengan lambat. Katalis yang umumnya digunakan pada proses transesterifikasi adalah basa/ alkali, biasanya digunakan natrium hidroksida ( $NaOH$ ) atau kalium hidroksida ( $KOH$ )[12]. Reaksi transesterifikasi trigliserida menjadi metil ester dapat dilihat pada **Gambar 2.1**



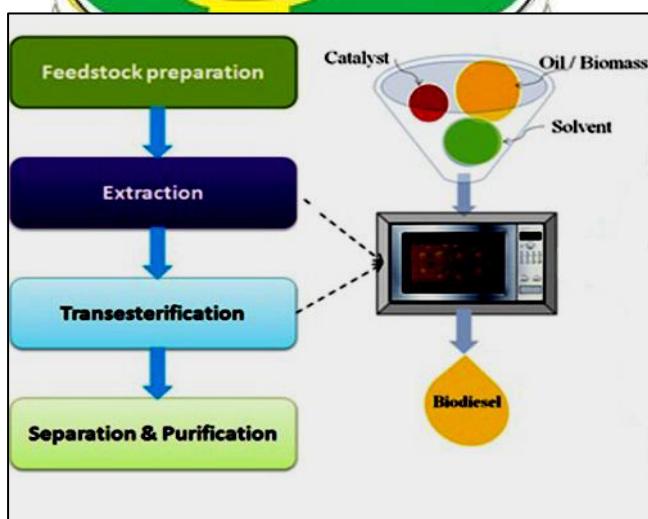
**Gambar 2.1** Reaksi transesterifikasi[3]

#### 2.4.4 Direct Transesterification

*Direct transesterification* atau transesterifikasi secara langsung, dan biasa dikenal sebagai transesterifikasi *insitu* adalah salah satu metode alternatif yang

digunakan untuk menghasilkan biodiesel dari mikroalga penghasil lipid tanpa mengekstrak terlebih dahulu *lipidnya*[3]. Metode ini menjadi menarik diaplikasikan mengingat biaya ekstraksi lipid dari mikroalga dapat dihindari, sehingga biomassa yang diproses dari pemanenan baik berupa biomassa basah maupun kering, dapat langsung diproses untuk menghasilkan biodiesel[13]. Metode sederhana dari transesterifikasi secara langsung adalah dengan mencampurkan biomassa ke dalam methanol dan katalis yang kemudian direaksikan pada temperatur dan waktu tertentu[14]. Hasil reaksi kemudian dipisahkan dari campurannya berupa bagian bawah yang mengandung sisanya biomassa dan air, bagian atas berupa gliserol dan FAME (*fatty acid methyl ester*) atau biasa disebut biodiesel, yang telah bereaksi dengan methanol[15].

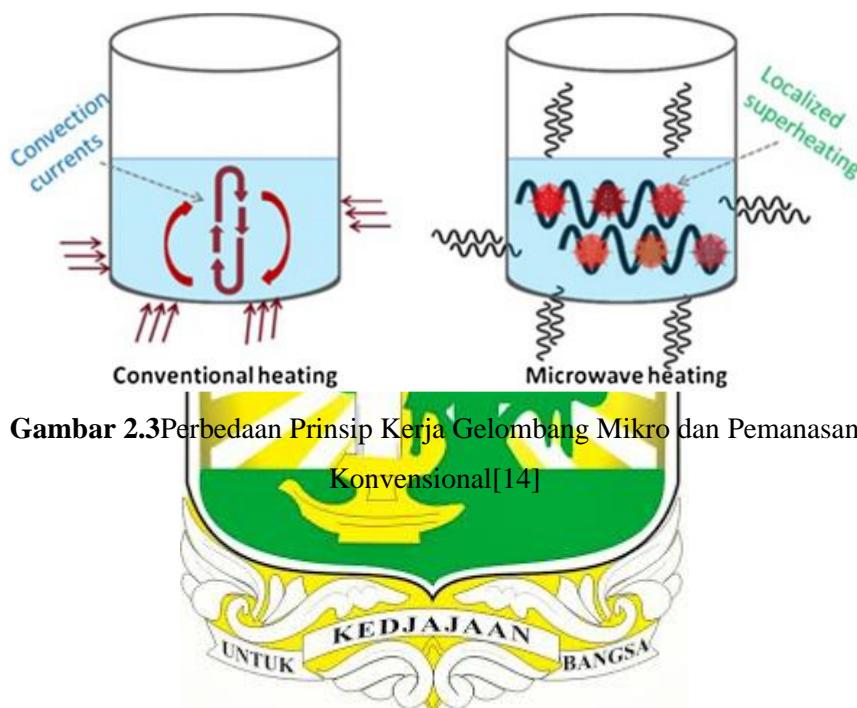
Metode *direct transesterification* ini dapat dilakukan dengan beberapa teknologi yang saat ini sudah berkembang. Salah satu teknik yang dapat diaplikasikan pada metode ini adalah *microwave direct transesterification*[16]. *Microwave Direct Transesterification* (MDE) ini memanfaatkan getaran yang dihasilkan gelombang mikro yang dihasilkan alat *microwave oven* untuk membantu proses ekstraksi dengan memecah dinding sel mikroalga. Berikut skema MDE dapat dijelaskan dengan **Gambar 2.2**



**Gambar 2.2** Skema *Microwave Direct Transesterification* (MDE) [14]

Radiasi gelombang mikro sebagai teknologi yang tidak konvensional, telah digunakan untuk berbagai aplikasi termasuk dalam sintesis/ekstraksi bahan

organik, di mana gelombang yang dihasilkan *microwave* mampu mempercepat proses ekstraksi dan reaksi ikatan kimia, karena penyerapan selektif energi gelombang mikro mampu menggetarkan dan merambat langsung ke bagian terkecil dari sel pada mikroalga. Pemakaian *microwave* ini juga memungkinkan pemanasan yang cepat dengan distribusi perambatan gelombang mikro yang menyeluruh ke seluruh molekul mikroalga. Berikut perbandingan kerja gelombang mikro dengan pemanasan biasa yang dilakukan dalam proses tranesterifikasi *konvensional* dapat dilihat pada **Gambar 2.3**



## BAB III

### METODOLOGI

#### 3.1 Bahan dan Alat

##### 3.1.1 Bahan Penelitian

- a). Mikroalga *Scenedesmus obliquus*

Mikroalga *Scenedesmus obliquus* yang akan digunakan sebagai bahan baku pada pembuatan biodiesel ini didapatkan dari hasil kultivasi skala Laboratorium di Jurusan Teknik Mesin dalam kondisi kering (*dry microalgae*).

- b). Metanol

Metanol digunakan untuk proses ekstraksi *bligh and dryer* dan juga dalam proses transterifikasi.

- c). Kloroform

Metanol digunakan untuk proses ekstraksi *bligh and dryer*.

- d). Heksane

Larutan ini digunakan pada proses transesterifikasi dengan kadar 96% untuk memisahkan sisa metanol yang tidak berikatan dari biodiesel.

- e). Katalis KOH

- f). Aquades

Aquades digunakan selama proses kultivasi dan untuk proses pencucian metil ester setelah melalui proses transesterifikasi.



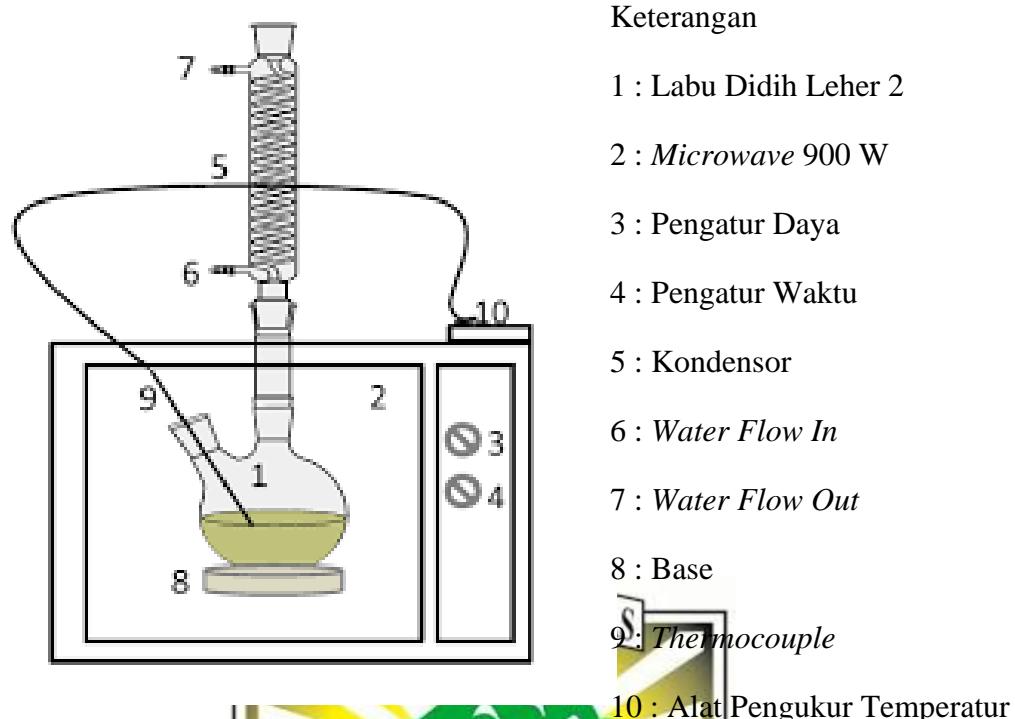
##### 3.1.2 Alat Penelitian

- a). Pompa Aquarium / Aerotor

Pompa dibutuhkan selama proses kultivasi mikroalga.

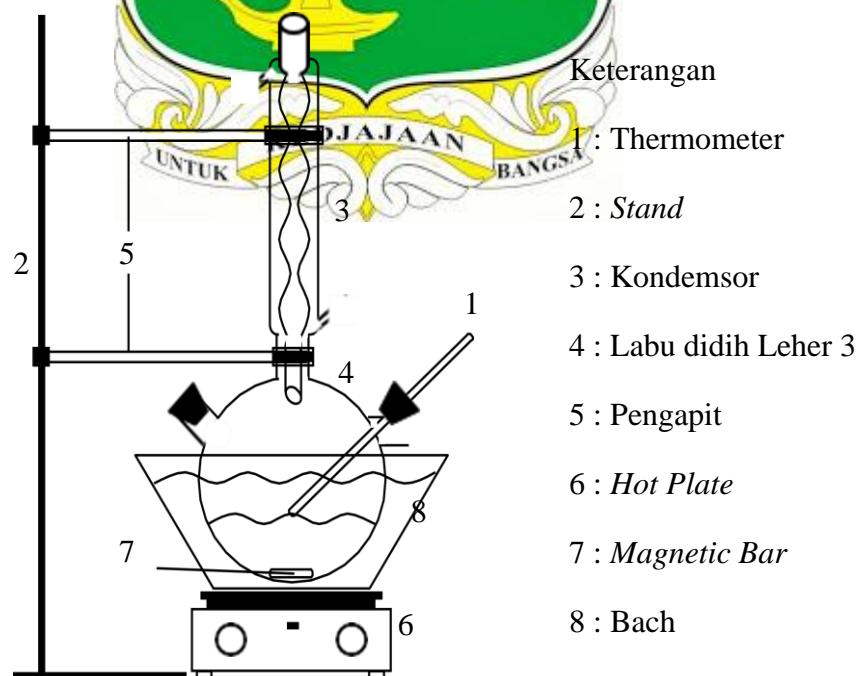
- b). Peralatan untuk Metode *Microwave Direct Transesterification*

Alat yang digunakan dalam metode ini dapat dilihat pada skema alat di **Gambar 3.1**



Gambar 3.1 Skema Alat Percobaan Metode *Microwave Direct Transesterification*[17]

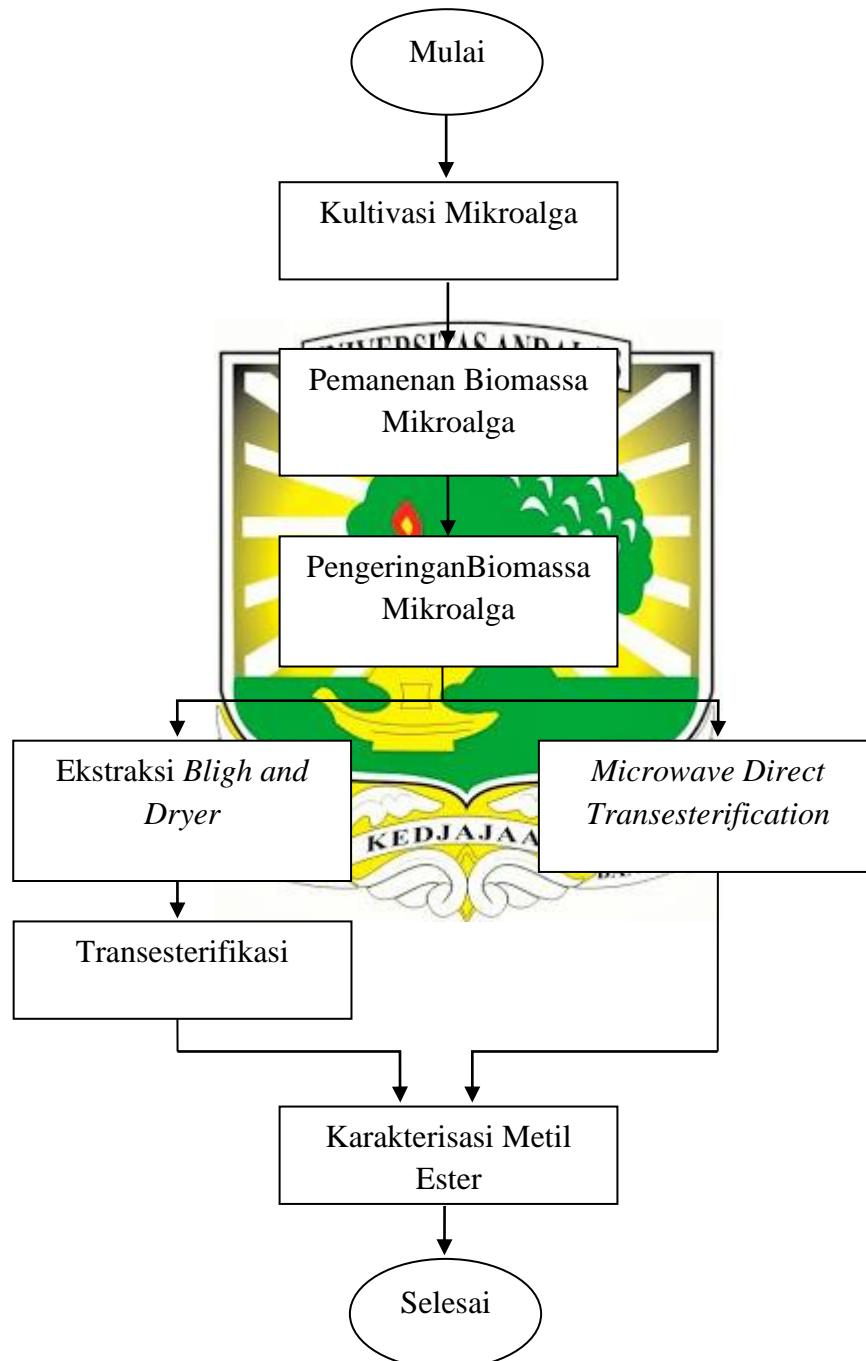
c). Peralatan untuk Metode Transesterifikasi tanpa *Microwave*



Gambar 3.2 Skema Alat Percobaan Metode Transesterifikasi tanpa *Microwave*

### 3.2 Metode

Pembuatan biodisel terdiri dari beberapa tahap, dalam penelitian ini dilakukan pembuatan biodisel dengan menggunakan 2 metode yang berbeda. Berikut tahapan pembuatan biodisel dapat dilihat pada diagram alir di **Gambar 3.1**



**Gambar 3.3** Diagram Alir penelitian

### **3.2.1 Kultivasi Bibit Mikroalga *Scenedesmus Obliquus***

Untuk melakukan kultivasi dari bibit mikroalga *Scenedesmus Obliquus* dapat dilakukan dengan langkah-langkah berikut :

#### **a. Sterilisasi Peralatan**

Peralatan yang digunakan pada penelitian harus disterilisasi terlebih dahulu agar tidak terkontaminasi oleh mikroorganisme atau zat pengganggu yang dapat menghambat pertumbuhan mikroalga *Scenedesmus Obliquus*. Prosedur sterilisasi peralatan untuk peralatan yang terbuat dari gelas dan tahan panas, prosedur sterilisasi peralatannya adalah mencuci gelas dengan sabun dan dibilas dengan air sampai bersih, peralatan yang telah dicuci dikeringkan dengan menggunakan tisu kering atau kompresor udara dan kemudian menutup peralatan yang berlubang dengan menggunakan *alumunium foil* agar tidak terkontaminasi setelah disterilisasi.

#### **b. Kultivasi Mikroalga**

Kultivasi merupakan suatu teknik untuk menumbuhkan mikroalga dalam lingkungan tertentu yang terkontrol. Kultivasi bertujuan untuk menyediakan spesies tunggal pada kultur massal mikroalga untuk tahap pemanenan. Kebutuhan mikroalga selama kultivasi harus sangat diperhatikan diantaranya yaitu Cahaya, Air, Karbondioksida, Mineral dan Nutrien. Pada kultivasi ini menggunakan botol kaca dengan medium pupuk *Growmore*. Pengadukan pada mikroalga perlu dilakukan dengan *aerotor* dan pastikan mikroalga diletakkan dibawah cahaya. Proses kultivasi dilanjutkan hingga mikroalga berwarna hijau pekat.

### **3.2.2 Pemanenan Biomassa Mikroalga**

Pemanenan dilakukan dengan mendiamkan larutan mikroalga selama tiga hari agar biomassa mengendap pada bagian bawah dan setelah mengendap, endapan tersebut diambil dengan memisahkan air bagian atas. Biomassa atau endapan yang masih mengandung air dipisahkan menggunakan *Centrifuge* dengan putaran 3000 rpm selama 15 menit. Biomassa dan medium akan terpisah

membentuk dua fasa, fasa bawah merupakan biomassa dan fasa atas merupakan medium.

### 3.2.3 Pengeringan Biomassa

Biomassa yang telah dipanen dikeringkan dalam waktu 5-7 hari agar menghilangkan kadar air yang terkandung didalamnya. Pengeringan ini berada dibawah sinar matahari. Setelah biomassa mikroalga kering, biomassa tersebut dipindahkan kedalam wadah botol kaca transparan.

### 3.2.4 Pembuatan Biodisel

Biomassa yang telah dipanen dan dikeringkan tersebut kemudian dikonversikan menjadi biodisel. Pembuatan biodisel pada penelitian ini menggunakan 2 tahapan, yaitu tahapan ekstraksi dan tahapan transesterifikasi.

#### a Tahapan Ekstraksi

Ekstraksi lipid dilakukan dengan 2 metode yang berbeda, yaitu :

##### 1. Menggunakan *Microwave*

Proses ekstraksi terjadi di dalam microwave, dan melakukan proses transesterifikasi secara bersamaan. Pada proses ini, biomassa dicampurkan dengan metanol dan KOH secara langsung. Biomassa yang digunakan sebanyak 0,5 gram.

##### 2. Tanpa Menggunakan *Microwave*

Pada proses ini, dilakukan dengan menggunakan metode *bligh and dryer*. Mikroalga yang telah dipisahkan antara alga dengan medium, ditimbang terlebih dahulu sebanyak 0,5 gram. Lalu ditambahkan pelarut kloroform dan methanol dengan perbandingan 2: 1 sebanyak 95 ml.

#### b Transesterifikasi

Pada proses ini menggunakan katalis untuk mempercepat reaksi. Katalis merupakan zat yang dapat mempercepat reaksi transesterifikasi tanpa ikut terkonsumsi oleh keseluruhan reaksi. Katalis yang biasa digunakan adalah katalis basa. Tanpa adanya katalis, konversi yang dihasilkan maksimum namun reaksi

berjalan dengan lambat. Tahapan reaksi transesterifikasi pembuatan biodiesel selalu menginginkan produk biodiesel dengan jumlah yang maksimum.

### 1. Menggunakan *Microwave*

Disini, proses ekstraksi dan transesterifikasi terjadi secara langsung, maka pada proses ini sebelum dimasukkan kedalam *microwave*, biomassa dicampurkan dengan metanol dan KOH sebagai katalis secara langsung. Komposisi dari biomassa dan metanol menggunakan perbandingan 1:12 sedangkan KOH yang akan digunakan sebanyak 1% dengan melakukan pemanasan dari microwave pada 450W dan selama 5 menit.

### 2. Tanpa Menggunakan *Microwave*

Pada proses ini dilakukan dengan menggunakan hot plate, labu leher tiga, kondensor, statif, dan termometer yang dirangkai. *Lipid* hasil ekstraksi ditimbang terlebih dahulu, lalu ditambahkan metanol dengan perbandingan 1: 12 dan dipanaskan pada temperatur 60°C pada hot plate selama 1,5 jam.

#### 3.2.5 Karakterisasi Biodisel



Karakterisasi biodisel dilakukan dengan mengetahui komposisi metil ester dari biodisel, untuk itu dilakukan dengan pengujian menggunakan alat GC-MS (*Gas Chromatography-Mass Spectrometry*), sehingga akan didapatkan data berupa grafik dan tabel. Setelah melakukan pengujian GC-MS, untuk mendapatkan kuantitasnya dilakukan perhitungan dari persamaan empirik untuk mengkarakterisasi hasil *biodiesel*. Berikut persamaan yang digunakan:

##### 1. Angka Cetana

Untuk mendapatkan nilai angka cetana biodisel, dapat digunakan rumus pendekatan sebagai berikut[18]:

$$\varnothing_i = -7.8 + 0.302M_i - 20N \quad (3.1)$$

##### 2. Viskositas

Untuk mendapatkan nilai viskositas biodisel, dapat digunakan rumus pendekatan sebagai berikut[19]:

$$\eta = 0.235N_c - 0.468N_{DB} \quad (3.2)$$

### 3. Flash Point

Untuk mendapatkan nilai *flash point* biodisel, dapat digunakan rumus pendekatan sebagai berikut[20]:

$$T_f = 23.362N_c + 4.854 N_{DB} \quad (3.3)$$

### 4. Cloud Point

Untuk mendapatkan nilai *cloud point* biodisel, dapat digunakan rumus pendekatan sebagai berikut[19]:

$$CP = 0.526P_{FMAE} - 4.992 \quad (3.4)$$

### 5. Density

Untuk mendapatkan nilai *density* biodisel, dapat digunakan rumus pendekatan sebagai berikut[19]:

$$\rho_i = 0.8436 + \frac{4.9}{Mi} + 0.0118N \quad (3.5)$$

### 6. Higher Heating Value

Untuk mendapatkan nilai *higher heating value* biodisel, dapat digunakan rumus pendekatan sebagai berikut[19]:

$$\delta_i = 46.19 + \frac{1794}{Mi} - 0.21N \quad (3.6)$$



## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Kultivasi Mikroalga *Scenedesmus obliquus*

Tahap kultivasi mikroalga *Scenedesmus obliquus* dimulai dari media yang kecil. Pada tahap ini bibit mikroalga sebanyak 1 Liter isolat dalam 2 botol kaca ukuran 500 mL seperti yang dapat dilihat pada **Gambar 4.1**.



**Gambar 4.1** Bibit Awal Kultivasi

Pada **Gambar 4.1** dapat dilihat bibit isolat mikroalga dalam media yang kecil, dimana bibit ini dijadikan starter awal dan diperbanyak mencapai 10 botol kaca. Dalam tahap kultivasi ini, mikroalga yang dikembangbiakkan diberikan pupuk Growmore 0,1g/1L isolat dan Vitamin B1 0,01g/1L sebagai nutrisi dan pembantu perkembangbiakan mikroalga selama kultivasi. Pemberian pupuk dan vitamin ini dilakukan saat mikroalga dipindahkan ke dalam media yang lebih besar yaitu setiap 21 hari. Tahap kultivasi ini dilakukan selama 180 hari untuk mendapatkan mikroalga dalam media 55L yang dapat dipanen secara kontinu. Kultivasi mikroalga dalam media yang lebih besar dapat dilihat pada **Gambar 4.2**

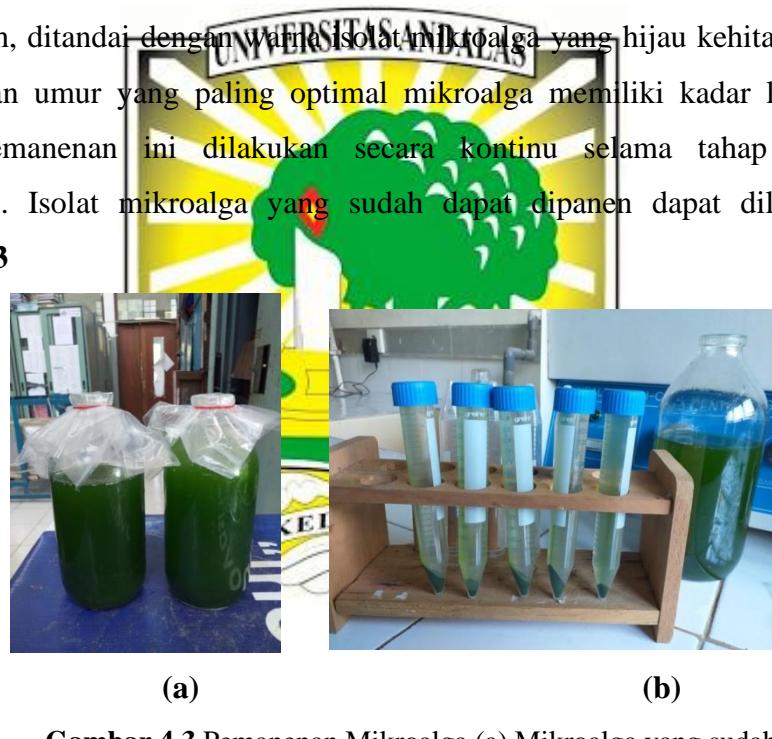


**Gambar 4.2** Kultivasi di Medium Besar

Pada **Gambar 4.2** merupakan kultivasi pada media yang lebih besar, dimana selama proses kultivasi ini ada beberapa hal yang harus diperhatikan agar mikroalga terhindar dari kontaminasi mikroba lainnya dan perkembangbiakan mikroalga berlangsung optimal. Disamping penambahan pupuk dan vitamin sebagai nutrisi, cahaya, temperatur dan aerasi juga harus diperhatikan. Cahaya didapatkan dari lampu 5 watt yang diletakkan sekitar mikroalga dan temperatur yang diberikan merupakan temperatur lingkungan seperti yang tertera pada buku panduan kultivasi mikroalga yang optimal.

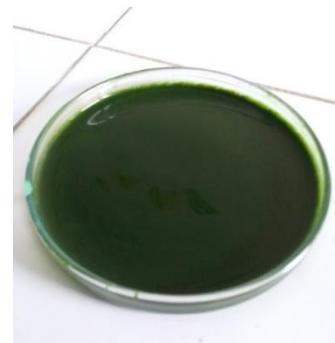
#### 4.2 Pemanenan Biomassa Mikroalga *Scenedesmus obliquus*

Mikroalga yang bisa dipanen merupakan mikroalga yang sudah berumur 21 hari/lebih, ditandai dengan warna isolat mikroalga yang hijau kehitaman yang menunjukkan umur yang paling optimal mikroalga memiliki kadar lipid yang banyak. Pemanenan ini dilakukan secara kontinu selama tahap kultivasi berlangsung. Isolat mikroalga yang sudah dapat dipanen dapat dilihat pada **Gambar 4.3**



**Gambar 4.3** Pemanenan Mikroalga (a) Mikroalga yang sudah di Panen,  
(b) Pemisahan Mikroalga dengan *Centrifuge*

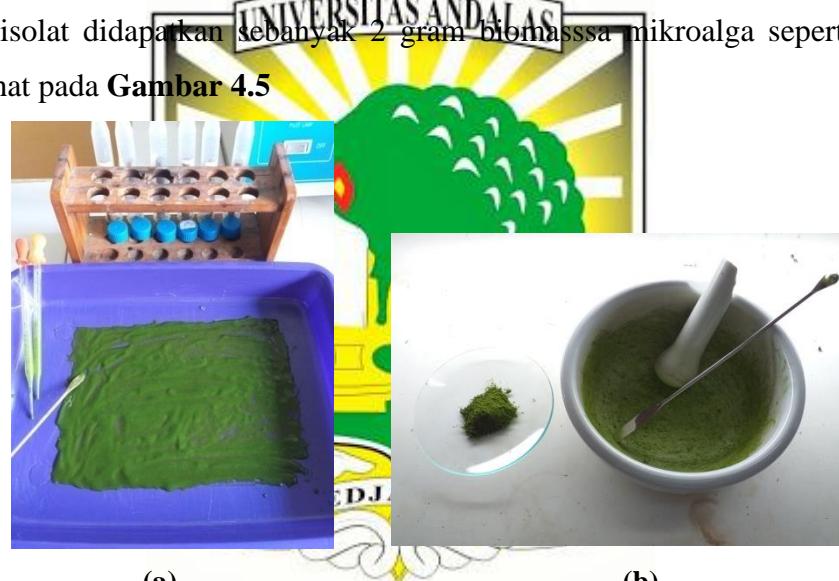
Seperti yang terlihat pada **Gambar** didapatkan hasil isolat mikroalga sebanyak 2 botol kaca ukuran 500 mL yang akan dipanen. Tahap pemanenan ini dilakukan dengan menggunakan *Centrifuge* yang mampu memisahkan mikroalga dari isolatnya. Hasil pemanenan ini dapat dilihat pada **Gambar 4.4**



**Gambar 4.4** Mikroalga Hasil Pemisahan dari Air

#### 4.3 Pengeringan Biomassa Mikroalga *Scenedesmus obliquus*

Tahap pengeringan dilakukan untuk mendapatkan biomassa mikroalga berupa bubuk agar proses ekstraksi berlangsung optimal. Hasil panen tahap awal dari 20L isolat didapatkan sebanyak 2 gram biomasssa mikroalga seperti yang dapat dilihat pada **Gambar 4.5**



**Gambar 4.5** Pengeringan Mikroalga (a) Pengeringan mikroalga pada temperatur lingkungan, (b) Bubuk Mikroalga yang sudah kering

#### 4.4 Pembuatan Biodiesel Mikroalga *Scenedesmus obliquus*

#### 4.4.1 Pembuatan Biodiesel Tanpa Menggunakan Microwave

### a). Ekstraksi *Bligh and Dryer*

Langkah awal pembuatan biodiesel adalah proses ekstraksi lipid yang terkandung didalam biomassa mikroalga. Dari proses ekstraksi *Bligh and Dryer* yang dilakukan didapatkan padatan lipid sebanyak 18,82% dimana menurut literatur, mikroalga *Scenedesmus obliquus* memiliki kadar *lipid* 11%-55% dari

berat biomassanya. Berdasarkan hasil tersebut menunjukkan *lipid* yang dihasilkan belum optimal. Berikut hasil ekstraksi *Bligh and Dryer* pada **Gambar 4.6**



(a)

(b)

**Gambar 4.6** Proses Ekstraksi *Bligh and Dryer* (a) Campuran Kloroform dan Lipid, (b) *Lipid* hasil Ekstraksi

#### b). Transesterifikasi

Padatan lipid yang telah kering selanjutnya di transesterifikasi. Proses transesterifikasi dilakukan untuk menghasilkan *Fatty Acid Metil Ester* (FAME) / biodiesel dengan melarutkan lipid dengan methanol dan KOH sebagai katalisnya. Dari proses transesterifikasi didapatkan biodiesel sebanyak 2 mL. Berikut biodiesel yang dihasilkan dapat dilihat pada **Gambar 4.7**



**Gambar 4.7** Biodiesel Hasil Transesterifikasi tanpa *Microwave*

Biodisel yang didapatkan seperti yang dilihat pada **Gambar 4.7** memiliki yield biodiesel sebesar 47,06%.

#### 4.4.2 Pembuatan Biodiesel Menggunakan Microwave

Biodiesel yang dibuat menggunakan *microwave* sangat penting untuk memperhatikan penguapan dari larutan biomassa dan metanol yang terjadi selama proses transesterifikasi. Waktu dan faktor pendinginan sangat mempengaruhi hasil transesterifikasi langsung ini. Berikut hasil biodiesel menggunakan metode *direct transesterification* dapat dilihat pada **Gambar 4.8**



**Gambar 4.8** Biodiesel Hasil Metode *Direct Transesterification*

Pada **Gambar 4.8** terlihat bahwa biodiesel yang dihasilkan memiliki warna yang lebih gelap namun transparan daripada biodiesel hasil transesterifikasi tanpa microwave. Hal ini dikarenakan temperatur pada microwave sangat tinggi sehingga mampu mengeluarkan warna dasar dari mikroalga. Pembuatan biodiesel dengan *direct transesterification* didapatkan sebanyak 5 mL. Metode direct transesterifikasi ini memiliki *yield* sebesar 63,17%.

#### 4.5 Komposisi Biodiesel

Biodiesel hasil direct transesterifikasi dan hasil biodiesel dengan metode konvensional memiliki komposisi yang berbeda. Komposisi ini didapatkan setelah melakukan uji kandungan senyawa dengan alat uji GCMS. Dimana masing-masing pada metode konvensional dan metode direct-transesterifikasi memiliki 57 dan 45 senyawa yang terdeteksi sebagai biodiesel. Untuk memperlihatkan secara signifikan, kedua hasil biodiesel dibandingkan terhadap kandungan senyawa metil

esternya. Adapun komponen senyawa dari kedua hasil biodiesel dapat dilihat dari

**Tabel 4.1 dan Tabel 4.2****Tabel 4.1 Komposisi Asam Lemak Metode *Microwave Direct Transesterification***

Fatty Acid	Rantai	%wt
Hexadecanoic Acid (Metil Palmitat)	C 16:0	28,64
Tetradecanoic Acid	C 14:0	0,39
9-Octadecanoic Acid (Asam Oleat)	C 18:1	5,31
Dodecanoic Acid (Asam Laurat)	C 12:0	2,53
2-Pentadecanoic Acid	C 15:0	1,31
Choloform	C 1:0	4,67
4-Hexonic Acid	C 6:1	0,11
3-t-Butyl	C 12:0	0,23
4-t-Butyl Cyclohexanoat	C 13:0	4,14
9-Octadecene	C 18:1	0,25
Hexadecane	C 16:0	1,70
Iron	C 10:0	1,02
Neophytadiene	C 20:0	0,51
2-Hexadecen	C 16:2	0,24
3,7,11,15-Tetramethyl	C 20:5	2,48
Heptadecen	C 17:0	0,29
Heptadecen-2,6,10,15 tetramethyl	C 21:4	0,38
Cyclohexanone	C 6:0	0,35
3-Phenyl-1,4-Dodecadine	C 16:2	0,66
Tetratriacontane	C 34:0	3,01
Borane	C 5:0	0,70
HAHNFETT	C 5:0	4,07
Phytol Isomer	C 20:0	1,70

Nonacosane	C 29:0	1,52
Tricyclid	C 30:0	5,06
7-Heptadecene	C 17:1	3,18
D-Homoandrostan	C 20:0	1,37
Acetic Acid	C 2:0	4,61
1-Eicosanol	C 20:1	2,59
14-Beta H Pregn	C 21:1	2,87
Heneicosane	C 21:0	3,25
Methyl 16 oxo clerida	C 21:0	0,65
Isolongfolol	C 15:0	1,04
Decane	C 10:0	0,30
Cycloexanol	C 6:0	0,63
1-Triacontanol	C 30:0	1,41
Octadecanoic Acid	C 19:0	6,66

Tabel 4.2 Komposisi Asam Lemak Metode Transesterifikasi tanpa *Microwave*

Fatty Acid	Rantai	%wt
Hexadecanoic Acid (Metil Palmitat)	C 16:0	14,32
Heptacosanoic Acid	C 17:0	1,87
Tetradecanoic Acid	C 14:0	0,62
9,12,15-Octadecatrienoic Acid (Asam Linolenat)	C 19:3	2,05
9-Octadecanoic Acid (Asam Oleat)	C 19:1	14,75
9,12-Octadecanoic Acid (Asam Linoleat)	C 19:2	1,87
9,11-Octadecanoic Acid	C 19:2	0,50
8,11,14-Docosatrienoic Acid	C 22:3	8,27
Pentadecanoic Acid	C 15:0	1,75
Benzene methyl Toluene	C 6:0	0,83

1-Hexanol 2-ethyl	C 8:2	0,26
Caryophyllene	C 15:0	0,76
Hexadecane	C 16:0	5,38
2,6 Octadienal	C 10:2	0,19
1-Hexene, 2,4,4-Triethyl	C 12:4	0,25
Delta Cadinene	C 15:0	0,35
Geranyl Acetate	C 12:0	0,61
Citronellol	C 10:0	0,60
Tritetracontane	C 43:0	0,14
1-Hexadecanol	C 20:1	0,12
Geraniol	C 10:0	0,84
Tricosane	C 23:0	0,27
NEOPHYTADIENE	C 20:0	2,66
2,4-dimethyl Eicosane	C 22:2	0,35
3,7,11,15-Tetramethyl-2-hexadecen-1-ol	C 20:4	3,06
Methyl Tetradecanoat	C 15:0	1,38
Cinnamaldehyde	C 9:0	0,69
Tetracontane	C 43:0	0,19
Cyclopentane	C 12:0	0,34
2-Pentadecanone	C 18:1	2,65
Iron, monocarbonyl	C 21:0	0,29
Cyclohexane	C 20:0	0,39
Isophytol	C 20:0	0,84
7,10,13-Hexadecatrienal	C 16:3	2,40
Heneicosane	C 21:0	1,92
Heptanedioic Acid	C 10:0	0,76
1-Nonadecanol	C 19:1	2,28
1,2-Benzenedicarboxylic Acid	C 16:2	1,34
1-Octadecanol	C 18:1	1,61
5,8,11,14,17-Icosapentaenoate	C 22:5	1,62

2-Hexadecen	C 20:4	8,80
Eicosanoic Acid	C 21:0	0,58
Anthracene	C 26:0	0,46
1-Hexadecanesulfonyl chloride	C 16:1	0,94
Hexadecanoic Acid, 3,7,11,15-tetramethyl	C21:4	1,51
Heptadecanoic Acid	C18:0	1,11
Octadecanoic Acid	C19:0	4,37
6,9,12-Octadecatrienoic Acid	C19:3	0,79

Dari **Tabel 4.1** dan **Tabel 4.2** menunjukkan komposisi asam lemak metil ester yang terdapat pada biodiesel. Pada tabel diketahui biodiesel hasil metode transesterifikasi tanpa *microwave* (konvensional) memiliki FAME (*Fatty Acid Metil Ester*) lebih tinggi 11,07% dari pada biodiesel hasil metode *direct transesterification*. Metode transesterifikasi tanpa *microwave*(konvensional) memiliki komposisi asam lemak sebesar 53,07% dan metode *direct transesterification* memiliki 42% asam lemak yang mengandung metil ester dimana pada kedua metode tersebut masing – masingnya memiliki komposisi asam palmitat yang tinggi. Namun apabila dibandingkan dengan banyaknya biodiesel yang dihasilkan oleh kedua metode tersebut, biodiesel hasil metode *microwave direct transesterification* masih memiliki total komposisi FAME yang lebih tinggi daripada metode tanpa *microwave*.

Pada metode konvensional, dengan komposisi asam lemak yang lebih banyak, hanya menghasilkan minyak sebanyak 3 mL. Hal ini dikarenakan pada metode konvensional, proses transesterifikasi dilakukan selama 1,5 jam pada temperatur yang rendah, sehingga *lipid* mampu bereaksi dengan pelarut secara maksimal dan perlahan. Karena lamanya waktu proses tersebut, *lipid* mampu membentuk rantai asam lemak yang banyak, namun juga banyak kehilangan pelarut selama prosesnya.

Pada metode *direct-transesterification* sendiri dilakukan dalam temperatur yangtinggi dalam waktu yang singkat dan juga dengan bantuan gelombang mikro yang dihasilkan *microwave*. *Unbalance* antara hasil dan komposisi asam lemak

terjadi karena pengaruh temperatur yang tinggi didalam *microwave* (mencapai  $>100^{\circ}\text{C}$ ), dimana temperatur yang tinggi dapat menghancurkan *lipid* yang dihasilkan gelombang mikro sebelumnya sehingga tidak dapat bereaksi dengan pelarut. Jika diperhatikan dari uji GC-MS, pada metode *microwave direct transesterification* terdapat reaksi antar metil ester, sehingga membentuk ikatan melebihi metil ester di dalam biodiesel. Hal ini juga dikarenakan temperatur didalam *microwave* yang sangat tinggi yang membuat metil ester yang sudah terbentuk membentuk ikatan baru namun masih dalam bentuk asam lemak metil ester yang dimiliki oleh biodiesel.

Walaupun terjadi *unbalance* antara komposisi asam lemak dengan banyaknya biodiesel yang dihasilkan pada kedua metode, komposisi metil palmitat yang tinggi pada kedua metode sudah sesuai dengan literatur dimana metil palmitat selalu menjadi asam lemak dominan pada *Scenedesmus obliquus*.

#### 4.6 Yield Biodiesel

Setelah melakukan proses transesterifikasi, didapatkan nilai yield yang signifikan berbeda pada kedua metode. Metode konvensional memiliki yield 47,06% sedangkan metode *direct-transesterification* memiliki yield 63,17%. Perbedaan nilai yield ini menunjukkan bahwa metode *microwave direct transesterification* lebih banyak mengkonversi biomassa menjadi biodiesel dibandingkan dengan metode konvensional.

Metode *direct-transesterification* memiliki nilai *yield* yang lebih tinggi karena biomassa dikonversikan secara langsung menjadi biodiesel dalam satu tahapan proses yang sebagian besar lipid terkonversikan secara langsung dengan pelarut sehingga tidak ada lagi *lipid* yang terdapat pada ampasnya. Sedangkan pada metode konvensional dilakukan ekstraksi lipid dengan bantuan pelarut yang memiliki efektifitas yang lebih kecil daripada gelombang mikro pada metode *microwave direct-transesterification*.

#### 4.7 Karakteristik Biodiesel

Biodiesel memiliki spesifikasi tertentu agar sesuai dengan ketetapan masing-masing negara. Biodiesel memiliki syarat dari beberapa karakteristik agar

biodiesel yang dihasilkan tersebut sudah layak untuk digunakan. Berikut adalah karakteristik biodiesel dari masing-masing metode pembuatan yang dilakukan, dapat dilihat pada **Tabel 4.2**

**Tabel 4.2** Karakteristik Biodiesel

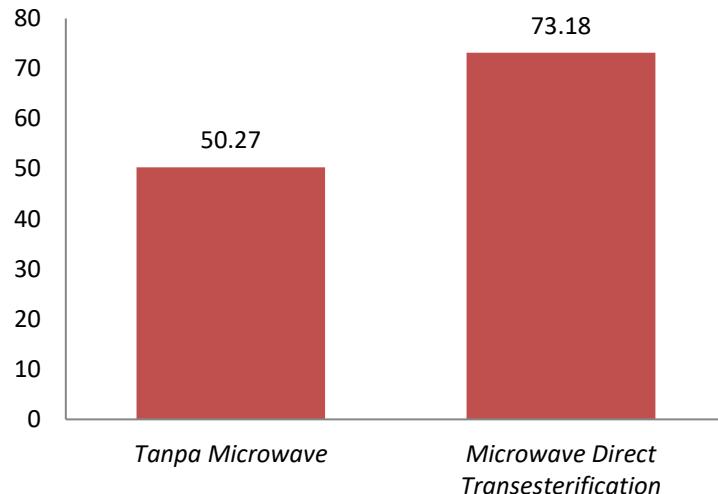
Karakteristik	Biodiesel <i>Scenedesmus Obliquus</i>		Standar Biodiesel			B20 CPO ( <i>Blend Biodiesel</i> di Pasaran) <sup>[21], [22],[23]</sup>
	Tanpa <i>Microwave</i>	<i>Microwave Direct Transesterification</i>	SNI	ASTM D6751	EDIN	
Densitas, g/ml	0,877	0,867	0,85-0,89	Maks. 0,88	0,86- 0,89	0,845
Viskositas, mm/s <sup>2</sup>	3,66	4,02	2,3-6,0	1,9-6,0	3,5-5,0	3,33
Flash Point, °C	157,45	137,64	Min. 120	Min. 130	Min. 120	110
Cloud Point, °C	2,54	10,1	Max. 18	-	-	-
Cetana	50,27	73,18	Min. 51	Min. 47	Min. 49	54,3
Nilai Kalor, MJ/kg	52,54	54,09	Min. 37	-	-	42,18

Dari **Tabel 4.2** terlihat bahwa kedua metode yang digunakan untuk menghasilkan biodiesel masing-masing memenuhi skala yang ditentukan dan memenuhi standar untuk dijadikan biodiesel sebagai bahan bakar. Dari perbandingan nilai karakteristik biodiesel setiap metode, terlihat bahwa biodiesel dengan metode *microwave direct-transesterification* memiliki nilai karakteristik yang lebih bagus daripada metode tanpa penggunaan *microwave*. Perbedaan nilai yang terjadi disini dikarenakan perbedaan metode pembuatan, temperatur dan waktu reaksi yang digunakan.

Dari **Tabel 4.2** juga terlihat perbandingan biodiesel yang dihasilkan dalam penelitian ini dibandingkan dengan biodiesel pasaran yang dikenal (B20)/campuran biodiesel murni (dari CPO) sebanyak 20% dengan minyak diesel sebanyak 80%. Untuk memperlihatkan bahwa biodiesel dari mikroalga juga berpotensi untuk dipasarkan, dapat dilihat bahwa karakteristik/sifat fisik yang dimiliki biodiesel berbahan mikroalga mampu menyaingi karakteristik dalam pemakaian B20 CPO (*Crude Palm Oil*).

a). Angka Cetana

Angka cetana menunjukkan tingkat kemampuan bahan bakar menyalas dengan sendirinya(spontan)setelah bercampur dengan udara dalam ruang bakar motor diesel. Jadi, apabila angka cetana semakin tinggi maka semakin cepat pembakaran terjadi dan semakin baik efisiensi pembakaran dan termodinamisnya. Berikut perbedaan nilai cetana yang didapatkan masing-masing metode dapat dilihat pada **Gambar 4.9**

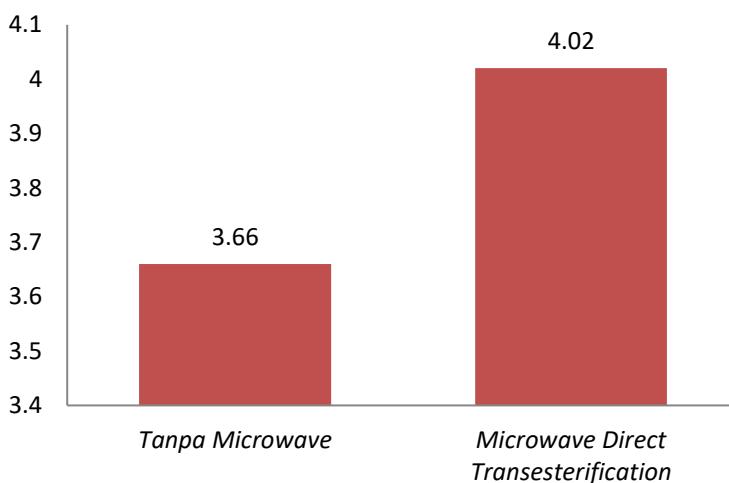


**Gambar 4.9** Perbedaan nilai cetana tiap metode

Pada **Gambar 4.9** terlihat metode konvensional tanpa penggunaan *microwave* memiliki angka cetana yang jauh lebih rendah daripada metode *microwave direct transesterification*. Perbedaan angka cetana ini dipengaruhi oleh komposisi asam lemak yang terdapat pada hasil biodiesel yang diperoleh masing-masing metode. Biodiesel yang mengandung asam lemak yang tinggi maka juga mempunyai angka cetana yang tinggi.

Karena asam lemak mampu memberikan energi yang maksimal untuk pembakaran didalam ruang bakar.

Metode *microwave direct transesterification* memiliki angka cetana yang tinggi karena pada prosesnya, kadar asam lemak yang terkandung pada biomassa yang dimasukkan ke dalam *microwave* memangrentan menguap karena temperatur didalam *microwave* yang sangat tinggi, namun karena proses yang dilakukan berlangsung sangat cepat, maka kadar lemak yang terdapat didalamnya masih tersimpan. Berbeda hal dengan metode tanpa penggunaan *microwave* dimana dilakukan pada batas temperatur penguapan dan berlangsung dalam waktu yang lama, sehingga kadar lemak didalam biodiesel juga ikut menguap.



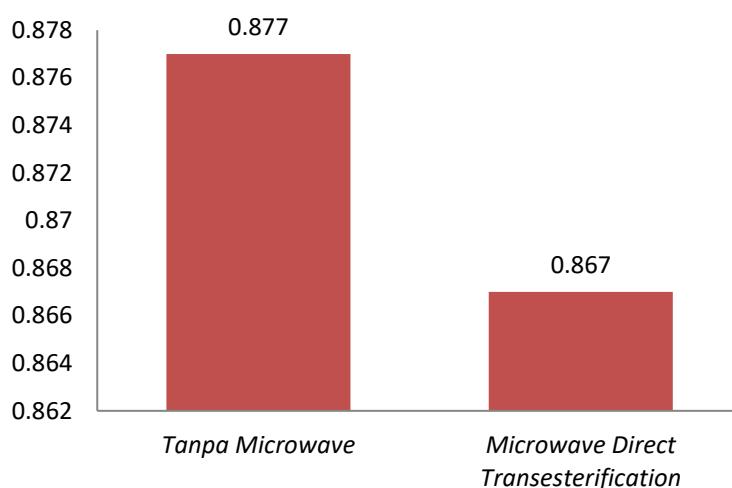
**Gambar 4.9** Perbedaan nilai Viskositas tiap Metode

Dari **Gambar 4.9** dapat dilihat bahwa nilai viskositas biodiesel pada metode *microwave direct transesterification* memiliki nilai yang lebih tinggi dari pada biodiesel metode konvensional. Hal ini dikarenakan temperatur tinggi di dalam *microwave* mempercepat reaksi katalis yang diberikan.

Pada Hukum Termodinamika, dijelaskan bahwa semakin tinggi temperatur suatu fluida, molekul fluida akan bergerak cepat sehingga akan meningkatkan tekanan pada fluida. Jika tidak terdapat batas pada materi tersebut maka materi akan mengembang dan memperlebar jarak antar molekulnya. Jarak antar molekul yang lebar akan mengakibatkan viskositas semakin menurun. Hal ini lah yang terjadi pada metode tanpa penggunaan *microwave*, dimana dilakukan dalam waktu yang lama dan dalam temperatur yang melebihi temperatur didih larutan, sehingga viskositas menurun.

c). *Density*

*Density* atau massa jenis adalah perbandingan berat dari suatu volume contoh dengan berat air pada volume dan temperatur yang sama. Nilai *density* biodiesel masing-masing metode tidak berbeda begitu jauh, dimana *density* biodiesel hasil metode *microwave direct transesterification* lebih rendah 0,01 dari metode tanpa *microwave*. Perbedaan tersebut dapat dilihat pada **Gambar 4.10**

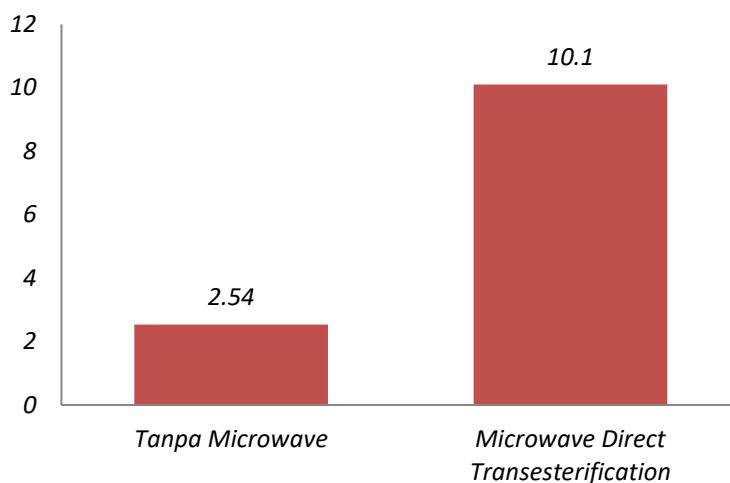


**Gambar 4.10** Perbedaan nilai *Density* tiap Metode

d). *Cloud Point*

*Cloud Point* merupakan angka yang menunjukkan temperatur terendah biodiesel mengkristal atau dapat dikatakan sebagai temperatur dimana mulai terbentuknya endapan embun pada biodiesel. Nilai dari

*cloud point* ini dipengaruhi oleh kadar katalis saat proses transesterifikasi. Nilai *cloud point* sendiri berkaitan dengan keamanan penyimpanan biodiesel, seperti halnya *flash point*. Berikut dapat dilihat perbedaan *cloud point* biodisel masing-masing metode pada **Gambar 4.11**



**Gambar 4.11** Perbedaan nilai *Cloud Point* tiap Metode

Pada **Gambar 4.11** terlihat perbedaan yang sangat jauh, dimana nilai *cloud point* biodisel tanpa *microwave* jauh lebih kecil daripada biodisel dengan *microwave direct transesterification*. Perbedaan ini masih disebabkan karena efek yang diberikan gelombang mikro dan temperatur tinggi pada metode *microwave direct transesterification*. Hal ini membantu katalis bereaksi lebih cepat daripada yang seharusnya sehingga biodisel yang dihasilkan menjadi lebih cepat mengkristal pada temperatur 10°C. Namun, walaupun nilai *cloud point* kedua metode berbeda jauh, hasil biodisel masing-masing metode ini masih masuk dalam kategori standar yang diberikan SNI.

## BAB V

### PENUTUP

#### 5.1 KESIMPULAN

Dari penelitian membandingkan antara dua metode ini, didapatkan nilai *yield* dan karakteristik biodiesel pada metode *microwave direct transesterification* lebih tinggi daripada metode transesterifikasi tanpa *microwave*. Hal ini membuktikan bahwa metode *microwave direct transesterification* memang lebih optimal dalam pembuatan biodiesel baik dari waktu pembuatan dan efektifitas proses.

#### 5.2 SARAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, masih terdapat berbagai kekurangan sehingga perlu dilakukan penelitian lebih lanjut, untuk mendapatkan hasil *yield* yang lebih baik, sebaiknya dilakukan penelitian dengan memvariasikan pemakaian katalis dan pelarut yang digunakan.



## DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. N. Gebremariam and J. M. Marchetti, “Economics of biodiesel production: Review,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 168, no. May, pp. 74–84, 2018.
- [2] A. T. Soegiharto, S. Kurnia, and D. Ariyanti, “Mikroalga : Biomasa Potensial untuk Produksi Biodiesel,” *Energi Alam Terbarukan*, vol. 3, no. 2, pp. 1–9, 2010.
- [3] “Penerbit & Percetakan UPT UNDIP Press SEMARANG.”
- [4] Y. M. Dai, K. T. Chen, and C. C. Chen, “Study of the microwave lipid extraction from microalgae for biodiesel production,” *Chem. Eng. J.*, vol. 250, pp. 267–273, 2014.
- [5] C. L. Teo and A. Idris, “Evaluation of direct transesterification of microalgae using microwave irradiation,” *Bioresour. Technol.*, vol. 174, pp. 281–285, 2014.
- [6] F. Ma and M. A. Hanna, “Biodiesel production : a review 1,” vol. 70, pp. 1–15, 1999.
- [7] J. Chen, J. Li, W. Dong, X. Zhang, R. D. Tyagi, P. Drogui, and R. Y. Surampalli, “The potential of microalgae in biodiesel production,” vol. 90, no. December 2016, pp. 336–346, 2018.
- [8] “Prediction\_of\_Biodiesel\_Quality\_Base\_on\_The\_Feedst.pdf.” .
- [9] Y. Ma, Z. Gao, Q. Wang, and Y. Liu, “Biodiesels from microbial oils: Opportunity and challenges,” *Bioresour. Technol.*, vol. 263, no. May, pp. 631–641, 2018.
- [10] M. Mubarak, A. Shaija, and T. V. Suchithra, “A review on the extraction of lipid from microalgae for biodiesel production,” *Algal Res.*, vol. 7, pp. 117–123, 2015.
- [11] P. Biodiesel, “Transesterifikasi minyak mikroalga scenedesmus sp untuk pembuatan biodiesel,” vol. 0, pp. 49–55, 2014.
- [12] I. M. Atadashi, M. K. Aroua, A. R. A. Aziz, and N. M. N. Sulaiman, “Journal of Industrial and Engineering Chemistry The effects of catalysts in biodiesel production : A review,” *J. Ind. Eng. Chem.*, vol. 19, no. 1, pp. 14–26, 2013.

- [13] W. I. Suh, S. K. Mishra, T. H. Kim, W. Farooq, M. Moon, A. Shrivastav, M. S. Park, and J. W. Yang, “Direct transesterification of wet microalgal biomass for preparation of biodiesel,” *Algal Res.*, 2015.
- [14] V. Gude, P. Patil, E. Martinez-Guerra, S. Deng, and N. Nirmalakhandan, “Microwave energy potential for biodiesel production,” *Sustain. Chem. Process.*, vol. 1, no. 1, p. 5, 2013.
- [15] D. Boldor, “Microwave Transesterification,” no. April 2013, pp. 37–41, 2012.
- [16] W. I. Suh, S. K. Mishra, T. H. Kim, W. Farooq, M. Moon, A. Shrivastav, M. S. Park, and J. W. Yang, “Direct transesterification of wet microalgal biomass for preparation of biodiesel,” *Algal Res.*, vol. 12, pp. 405–411, 2015.
- [17] A. Suryanto, Z. Sabara, A. Artiningsih, and H. Ismail, “Acredited : SK No .: 60 / E / KPT / 2016 Website : <http://ejournal.undip.ac.id/index.php/reaktor/> Microwave Assisted Transesterification of Cotton Seed Oil for Biodiesel Production,” vol. 18, no. 1, pp. 27–30, 2018.
- [18] P. Saxena, S. Jawale, and M. H. Joshipura, “A review on prediction of properties of biodiesel and blends of biodiesel,” *Procedia Eng.*, vol. 51, no. NUICONE 2012, pp. 395–402, 2013.
- [19] L. D. Clements, “for Formulating L. Davis Clements /?%,” pp. 2–6.
- [20] A. I. Bamgboye and A. C. Hansen, “C n 2 , ,” no. 1996, p. 904, 2008.
- [21] M. H. M. Yasin, R. Mamat, A. F. Yusop, R. Rahim, A. Aziz, and L. A. Shah, “Fuel physical characteristics of biodiesel blend fuels with alcohol as additives,” *Procedia Eng.*, vol. 53, no. December, pp. 701–706, 2013.
- [22] R. El-Araby, A. Amin, A. K. El Morsi, N. N. El-Ibiari, and G. I. El-Diwani, “Study on the characteristics of palm oil–biodiesel–diesel fuel blend,” *Egypt. J. Pet.*, vol. 27, no. 2, pp. 187–194, 2018.
- [23] P. Saksono, P. Studi, T. Mesin, and U. Balikpapan, “P-3 ANALISIS PERBANDINGAN PENGGUNAAN BAHAN BAKAR SOLAR DENGAN BIODIESEL B15 DAN B20 TERHADAP PERFORMANSI ENGINE KOMATSU SAA6D107E-1 ANALYSIS COMPARISON USE

DIESEL FUEL WITH BIODIESEL B15 AND B20 IN THE  
PERFORMANCE ENGINE KOMATSU SAA6D107E-1 Berbagai  
penelitian tentang pengujian langsung biodiesel sebagai bahan bakar engine  
diesel sudah dilakukan dan,” 2018.





## PERHITUNGAN EKSTRAKSI LIPID

### 1. Metode Konvensional (Bligh and Dryer)

#### a. Ekstraksi *Lipid* Mikroalga

$$\begin{aligned} m_2 - m_1 &= 95,4709 \text{ gram} - 95,3763 \text{ gram} \\ &= 0,0946 \text{ gram} \end{aligned}$$

m<sub>2</sub> : massa tabung vial berisi lipid

m<sub>1</sub> : massa vial kosong

$$\begin{aligned} \% \text{ Ekstraksi } Lipid &= \frac{\text{MassaLipidhasilekstraksi}}{\text{Massabiomassa}} \times 100\% \\ &= \frac{0,0946 \text{ gram}}{0,5028 \text{ gram}} \times 100\% \\ &= 18,82\% \end{aligned}$$

#### b. *Yield* Biodiesel

$$\begin{aligned} Yield \text{ Biodiesel} &= \frac{\text{MassaBiodiesel}}{\text{Massabiomassax \% minyak}} \times 100\% \\ &= \frac{12,5601}{0,5028 \times 53,07} \times 100\% \\ &= 47,06 \% \end{aligned}$$

### 2. Metode *Direct Transesterification*

#### a. Yield Biodiesel

$$\begin{aligned} Yield \text{ Biodiesel} &= \frac{\text{MassaBiodiesel}}{\text{Massabiomassax \% minyak}} \times 100\% \\ UNTUK &= \frac{13,3436}{0,5028 \times 42} \times 100\% \\ &= 63,17 \% \end{aligned}$$



**LAMPIRAN 2**

**PERHITUNGAN KARAKTERISTIK BIODIESEL**

The logo of Universitas Andalas is centered in the background. It features a green and yellow shield-shaped emblem. At the top, a banner reads "UNIVERSITAS ANDALAS". In the center is a stylized green tree with a yellow sunburst behind it. Below the tree is a white oil lamp. The bottom of the shield has a decorative scroll pattern with the words "KEDAJAAN" and "BANGSA" flanking a central floral element. Above the scroll, the words "UNTUK" are visible.

## PERHITUNGAN KARAKTERISTIK BIODIESEL

### 1. Metode Konvensional (Tanpa Microwave)

#### a. Nilai Cetana

$$\phi_i = -7,8 + 0,302M_i - 20N$$

Fatty Acid	Rantai	%wt	N	Mi	$\phi_i$	%wt. $\phi_i$
Hexadecanoic Acid (Metil Palmitat)	C 16:0	14,32	0	270	73,74	1055,957
Heptacosanoic Acid	C 17:0	1,87	0	284	77,968	145,8002
Tetradecanoic Acid	C 14:0	0,62	0	228	61,056	37,85472
9,12,15-Octadecatrienoic Acid (Asam Linolenat)	C 19:3	2,05	3	292	20,384	41,7872
9-Octadecanoic Acid (Asam Oleat)	C 19:1	14,75	1	296	61,592	908,482
9,12-Octadecanoic Acid (Asam Linoleat)	C 19:2	1,87	2	294	40,988	76,64756
9,11-Octadecanoic Acid	C 19:2	0,50	2	294	40,988	20,494
8,11,14-Docosatrienoic Acid	C 22:3	8,27	3	348	37,296	308,4379
Pentadecanoic Acid	C 15:0	0,54	0	256	69,512	37,53648
Benzene methyl Toluene	C 6:0	0,83	0	92	19,984	16,58672
1-Hexanol 2-ethyl	C 8:2	0,26	2	130	-8,54	-2,2204
Caryophyllene	C 15:0	0,76	0	204	53,808	40,89408
Hexadecane	C 16:0	5,38	0	226	60,452	325,2318
2,6 Octadienal	C 10:2	0,19	2	152	-1,896	-0,36024
1-Hexene, 2,4,4-Triethyl	C 12:4	0,25	4	168	-37,064	-9,266
Delta Cadinene	C 15:0	0,35	0	204	53,808	18,8328
Geranyl Acetate	C 12:0	0,61	0	196	51,392	31,34912
Citronellol	C 10:0	0,60	0	156	39,312	23,5872
Tritetracontane	C 43:0	0,14	0	605	174,91	24,4874

1-Hexadecanol	C 20:1	0,12	1	298	62,196	7,46352
Geraniol	C 10:0	0,84	0	154	38,708	32,51472
Tricosane	C 23:0	0,27	0	324	90,048	24,31296
NEOPHYTADIENE	C 20:0	2,66	0	278	76,156	202,575
2,4-dimethyl Eicosane	C 22:2	0,35	2	310	45,82	16,037
3,7,11,15-Tetramethyl-2-hexadecen-1-ol	C 20:4	3,06	4	296	1,592	4,87152
Methyl Tetradecanoat	C 15:0	1,38	0	242	65,284	90,09192
Cinnamaldehyde	C 9:0	0,69	0	132	32,064	22,12416
Tetracontane	C 43:0	0,19	0	605	174,91	33,2329
Cyclopentane	C 12:0	0,34	0	68	42,936	14,59824
2-Pentadecanone	C 18:1	2,65	1	268	53,136	140,8104
Iron, monocarbonyl	C 21:0	0,29	0	438	124,476	36,09804
Cyclohexane	C 20:0	0,39	0	276	75,552	29,46528
Isophytol	C 20:0	0,84	0	296	81,592	68,53728
7,10,13-Hexadecatrienal	C 16:3	2,40	3	234	2,868	6,8832
Heneicosane	C 21:0	1,92	0	296	81,592	156,6566
Heptanedioic Acid	C 10:0	0,76	0	202	53,204	40,43504
1-Nonadecanol	C 19:1	2,28	1	284	57,968	132,167
1,2-Benzenedicarboxylic Acid	C 16:2	1,34	2	278	36,156	48,44904
1-Octadecanol	C 18:1	1,61	1	270	53,74	86,5214
5,8,11,14,17-Icosapentaenoate	C 22:5	1,62	5	330	-8,14	-13,1868
2-Hexadecen	C 20:4	8,80	4	296	1,592	14,0096
Eicosanoic Acid	C 21:0	0,58	0	326	90,652	52,57816
Anthracene	C 26:0	0,46	0	360	100,92	46,4232
1-Hexadecanesulfonyl chloride	C 16:1	0,94	1	324	70,048	65,84512
Hexadecanoic Acid,	C21:4	1,51	4	326	10,652	16,08

3,7,11,15-tetramethyl						
Heptadecanoic Acid	C18:0	1,11	0	284	77,968	86,54448
Octadecanoic Acid	C19:0	4,37	0	298	82,196	359,1965
6,9,12-Octadecatrienoic Acid	C19:3	0,79	3	292	20,384	16,10336
Jumlah		99,93				5023,672
<b>Rata-rata Angka Cetana</b>					<b>50,27191</b>	

### b. Viskositas

$$\eta = 0.235N_c - 0.468N_{DB}$$

Fatty Acid	Rantai	%wt	N <sub>DB</sub>	N <sub>c</sub>	$\eta$	%wt. $\eta$
Hexadecanoic Acid (Metil Palmitat)	C 16:0	14,32	0	16	3,76	53,8432
Heptacosanoic Acid	C 17:0	1,87	0	17	3,995	7,47065
Tetradecanoic Acid	C 14:0	0,62	0	14	3,29	2,0398
9,12,15-Octadecatrienoic Acid (Asam Linolenat)	C 19:3	2,05	3	19	3,121	6,39805
9-Octadecanoic Acid (Asam Oleat)	C 19:1	14,75	1	19	4,017	59,25075
9,12-Octadecanoic Acid (Asam Linoleat)	C 19:2	1,87	2	19	3,569	6,67403
9,11-Octadecanoic Acid	C 19:2	0,50	2	19	3,569	1,7845
8,11,14-Docosatrienoic Acid	C 22:3	8,27	3	22	3,826	31,64102
Pentadecanoic Acid	C 15:0	0,54	0	15	3,525	1,9035
Benzene methyl Toluene	C 6:0	0,83	0	6	1,41	1,1703
1-Hexanol 2-ethyl	C 8:2	0,26	2	8	0,984	0,25584
Caryophyllene	C 15:0	0,76	0	15	3,525	2,679
Hexadecane	C 16:0	5,38	0	16	3,76	20,2288

2,6 Octadienal	C 10:2	0,19	2	10	1,454	0,27626
1-Hexene, 2,4,4-Triethyl	C 12:4	0,25	4	12	1,028	0,257
Delta Cadinene	C 15:0	0,35	0	15	3,525	1,23375
Geranyl Acetate	C 12:0	0,61	0	12	2,82	1,7202
Citronellol	C 10:0	0,60	0	10	2,35	1,41
Tritetracontane	C 43:0	0,14	0	43	10,105	1,4147
1-Hexadecanol	C 20:1	0,12	1	20	4,252	0,51024
Geraniol	C 10:0	0,84	0	10	2,35	1,974
Tricosane	C 23:0	0,27	0	23	5,405	1,45935
NEOPHYTADIENE	C 20:0	2,66	0	20	4,7	12,502
2,4-dimethyl Eicosane	C 22:2	0,35	2	22	4,274	1,4959
3,7,11,15-Tetramethyl-2-hexadecen-1-ol	C 20:4	3,06	4	20	2,908	8,89848
Methyl Tetradecanoat	C 15:0	1,38	0	15	3,525	4,8645
Cinnamaldehyde	C 9:0	0,69	0	9	2,115	1,45935
Tetracontane	C 43:0	0,19	0	43	10,105	1,91995
Cyclopentane	C 12:0	0,34	0	12	2,82	0,9588
2-Pentadecanone	C 18:1	2,65	1	18	3,782	10,0223
Iron, monocarbonyl	C 21:0	0,29	0	21	4,935	1,43115
Cyclohexane	C 20:0	0,39	0	20	4,7	1,833
Isophytol	C 20:0	0,84	0	20	4,7	3,948
7,10,13-Hexadecatrienal	C 16:3	2,40	3	16	2,416	5,7984
Heneicosane	C 21:0	1,92	0	21	4,935	9,4752
Heptanedioic Acid	C 10:0	0,76	0	10	2,35	1,786
1-Nonadecanol	C 19:1	2,28	1	19	4,017	9,15876
1,2-Benzenedicarboxylic Acid	C 16:2	1,34	2	16	2,864	3,83776
1-Octadecanol	C 18:1	1,61	1	18	3,782	6,08902
5,8,11,14,17-Icosapentaenoate	C 22:5	1,62	5	22	2,93	4,7466

2-Hexadecen	C 20:4	8,80	4	20	2,908	25,5904
Eicosanoic Acid	C 21:0	0,58	0	21	4,935	2,8623
Anthracene	C 26:0	0,46	0	26	6,11	2,8106
1-Hexadecanesulfonyl chloride	C 16:1	0,94	1	16	3,312	3,11328
Hexadecanoic Acid, 3,7,11,15-tetramethyl	C21:4	1,51	4	21	3,143	4,74593
Heptadecanoic Acid	C18:0	1,11	0	18	4,23	4,6953
Octadecanoic Acid	C19:0	4,37	0	19	4,465	19,51205
6,9,12-Octadecatrienoic Acid	C19:3	0,79	3	19	3,121	2,46559
Jumlah						365,8808
		Rata – Rata Viskositas				3,661371

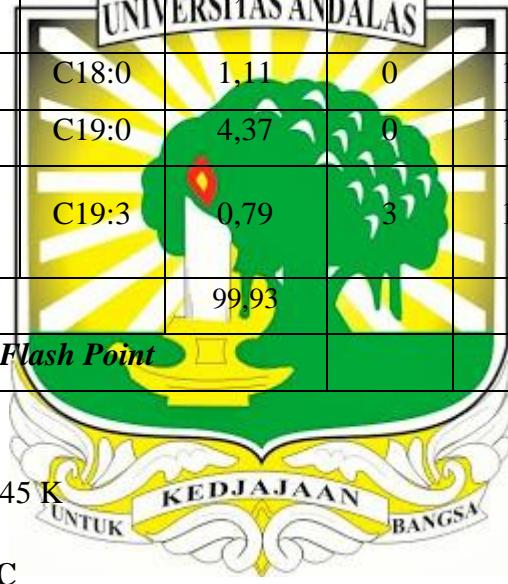
c. Flash Point

$$T_f = 23,362N_c + 4,854 N_{DB}$$

Fatty Acid	Rantai	%wt	N <sub>DB</sub>	N <sub>c</sub>	T <sub>f</sub> (K)	%wt. T <sub>f</sub>
Hexadecanoic Acid (Metil Palmitat)	C 16:0	14,32	0	16	373,792	5352,701
Heptacosanoic Acid	C 17:0	1,87	0	17	397,154	742,678
Tetradecanoic Acid	C 14:0	0,62	0	14	327,068	202,7822
9,12,15-Octadecatrienoic Acid (Asam Linolenat)	C 19:3	2,05	3	19	458,44	939,802
9-Octadecanoic Acid (Asam Oleat)	C 19:1	14,75	1	19	448,732	6618,797
9,12-Octadecanoic Acid (Asam Linoleat)	C 19:2	1,87	2	19	453,586	848,2058
9,11-Octadecanoic Acid	C19:2	0,50	2	19	453,586	226,793
8,11,14-Docosatrienoic Acid	C 22:3	8,27	3	22	528,526	4370,91

Pentadecanoic Acid	C 15:0	0,54	0	15	350,43	189,2322
Benzene methyl Toluene	C 6:0	0,83	0	6	140,172	116,3428
1-Hexanol 2-ethyl	C 8:2	0,26	2	8	196,604	51,11704
Caryophyllene	C 15:0	0,76	0	15	350,43	266,3268
Hexadecane	C 16:0	5,38	0	16	373,792	2011,001
2,6 Octadienal	C 10:2	0,19	2	10	243,328	46,23232
1-Hexene, 2,4,4-Triethyl	C 12:4	0,25	4	12	299,76	74,94
Delta Cadinene	C 15:0	0,35	0	15	350,43	122,6505
Geranyl Acetate	C 12:0	0,61	0	12	280,344	171,0098
Citronellol	C 10:0	0,60	0	10	233,62	140,172
Tritetracontane	C 43:0	0,14	0	43	1004,566	140,6392
1-Hexadecanol	C 20:0	0,12	0	20	472,094	56,65128
Geraniol	C 10:0	0,84	0	10	233,62	196,2408
Tricosane	C 23:0	0,27	0	23	537,326	145,078
NEOPHYTADIENE	C 20:0	2,66	0	20	467,24	1242,858
2,4-dimethyl Eicosane	C 22:2	0,35	2	22	523,672	183,2852
3,7,11,15-Tetramethyl-2-hexadecen-1-ol	C 20:4	3,06	4	20	486,656	1489,167
Methyl Tetradecanoat	C 15:0	1,38	0	15	350,43	483,5934
Cinnamaldehyde	C 9:0	0,69	0	9	210,258	145,078
Tetracontane	C 43:0	0,19	0	43	1004,566	190,8675
Cyclopentane	C 12:0	0,34	0	12	280,344	95,31696
2-Pentadecanone	C 18:1	2,65	1	18	425,37	1127,231
Iron, monocarbonyl	C 21:0	0,29	0	21	490,602	142,2746
Cyclohexane	C 20:0	0,39	0	20	467,24	182,2236
Isophytol	C 20:0	0,84	0	20	467,24	392,4816
7,10,13-Hexadecatrienal	C 16:3	2,40	3	16	388,354	932,0496
Heneicosane	C 21:0	1,92	0	21	490,602	941,9558
Heptanedioic Acid	C 10:0	0,76	0	10	233,62	177,5512
1-Nonadecanol	C 19:1	2,28	1	19	448,732	1023,109

1,2-Benzenedicarboxylic Acid	C 16:2	1,34	2	16	383,5	513,89
1-Octadecanol	C 18:1	1,61	1	18	425,37	684,8457
5,8,11,14,17-Icosapentaenoate	C 22:5	1,62	5	22	538,234	871,9391
2-Hexadecen	C 20:4	8,80	4	20	486,656	4282,573
Eicosanoic Acid	C 21:0	0,58	0	21	490,602	284,5492
Anthracene	C 26:0	0,46	0	26	607,412	279,4095
1-Hexadecanesulfonyl chloride	C 16:1	0,94	1	16	378,646	355,9272
Hexadecanoic Acid, 3,7,11,15-tetramethyl	C21:4	1,51	4	21	510,018	770,1272
Heptadecanoic Acid	C18:0	1,11	0	18	420,516	466,7728
Octadecanoic Acid	C19:0	4,37	0	19	443,878	1939,747
6,9,12-Octadecatrienoic Acid	C19:3	0,79	3	19	458,44	362,1676
Jumlah		99,93				43015,31
<b>Rata – Rata Flash Point</b>						<b>430,4545</b>


 $T_f = 430,45 \text{ K}$

$$= 157,45^\circ\text{C}$$

d. Cloud Point

$$CP = 0,526P_{FMAE} - 4,992$$

$$= 0,526 (14,32) - 4,992 = 2,54^\circ\text{C}$$

e. Density

$$\rho_i = 0,8436 + \frac{4,9}{Mi} + 0,0118N$$

Fatty Acid	Rantai	%wt	N <sub>DB</sub>	M <sub>i</sub>	ρi	%wt. ρi
Hexadecanoic Acid (Metil Palmitat)	C 16:0	14,32	0	270	0,861748	12,34023
Heptacosanoic Acid	C 17:0	1,87	0	284	0,860854	1,609796

Tetradecanoic Acid	C 14:0	0,62	0	228	0,865091	0,536357
9,12,15-Octadecatrienoic Acid (Asam Linolenat)	C 19:3	2,05	3	292	0,895781	1,836351
9-Octadecanoic Acid (Asam Oleat)	C 19:1	14,75	1	296	0,871954	12,86132
9,12-Octadecanoic Acid (Asam Linoleat)	C 19:2	1,87	2	294	0,883867	1,652831
9,11-Octadecanoic Acid	C19:2	0,50	2	294	0,883867	0,441933
8,11,14-Docosatrienoic Acid	C 22:3	8,27	3	348	0,89308	7,385775
Pentadecanoic Acid	C 15:0	0,54		256	0,862741	0,46588
Benzene methyl Toluene	C 6:0	0,83	0	92	0,896861	0,744395
1-Hexanol 2-ethyl	C 8:2	0,26	2	130	0,904892	0,235272
Caryophyllene	C 15:0	0,76	0	204	0,86762	0,659391
Hexadecane	C 16:0	5,38	0	226	0,865281	4,655214
2,6 Octadienal	C 10:2	0,19	2	152	0,899437	0,170893
1-Hexene, 2,4,4-Triethyl	C 12:4	0,25	4	168	0,919967	0,229992
Delta Cadinene	C 15:0	0,35	0	204	0,86762	0,303667
Geranyl Acetate	C 12:0	0,61	0	196	0,8686	0,529846
Citronellol	C 10:0	0,60	0	156	0,87501	0,525006
Tritetracontane	C 43:0	0,14	0	605	0,851699	0,119238
1-Hexadecanol	C 20:1	0,12	1	298	0,871843	0,104621
Geraniol	C 10:0	0,84	0	154	0,875418	0,735351
Tricosane	C 23:0	0,27	0	324	0,858723	0,231855
NEOPHYTADIENE	C 20:0	2,66	0	278	0,861226	2,290861
2,4-dimethyl Eicosane	C 22:2	0,35	2	310	0,883006	0,309052
3,7,11,15-Tetramethyl-2-hexadecen-1-ol	C 20:4	3,06	4	296	0,907354	2,776503
Methyl Tetradecanoat	C 15:0	1,38	0	242	0,863848	1,19211

Cinnamaldehyde	C 9:0	0,69	0	132	0,880721	0,607698
Tetracontane	C 43:0	0,19	0	605	0,851699	0,161823
Cyclopentane	C 12:0	0,34	0	168	0,872767	0,296741
2-Pentadecanone	C 18:1	2,65	1	268	0,873684	2,315261
Iron, monocarbonyl	C 21:0	0,29	0	438	0,854787	0,247888
Cyclohexane	C 20:0	0,39	0	276	0,861354	0,335928
Isophytol	C 20:0	0,84	0	296	0,860154	0,722529
7,10,13-Hexadecatrienal	C 16:3	2,40	3	234	0,89994	2,159856
Heneicosane	C 21:0	1,92	0	296	0,860154	1,651496
Heptanedioic Acid	C 10:0	0,76	0	202	0,867857	0,659572
1-Nonadecanol	C 19:1	2,28	1	284	0,872654	1,98965
1,2-Benzenedicarboxylic Acid	C 16:2	1,34	2	278	0,884826	1,185667
1-Octadecanol	C 18:1	1,61	1	270	0,873548	1,406413
5,8,11,14,17-Icosapentaenoate	C 22:5	1,62	5	330	0,917448	1,486267
2-Hexadecen	C 20:4	8,80	4	296	0,907354	7,984716
Eicosanoic Acid	C 21:0	0,58	0	326	0,858631	0,498006
Anthracene	C 26:0	0,46	0	360	0,857211	0,394317
1-Hexadecanesulfonyl chloride	C 16:1	0,94	1	324	0,870523	0,818292
Hexadecanoic Acid, 3,7,11,15-tetramethyl	C21:4	1,51	4	21	0,905831	1,367804
Heptadecanoic Acid	C18:0	1,11	0	18	0,860854	0,955547
Octadecanoic Acid	C19:0	4,37	0	19	0,860043	3,758388
6,9,12-Octadecatrienoic Acid	C19:3	0,79	3	19	0,895781	0,707667
Jumlah		99,93				87,69919
<b>Rata – Rata Density</b>						<b>0,877606</b>

f. Higher Heating Value

$$\delta_i = 46.19 + \frac{1794}{M_i} - 0.21N$$

Fatty Acid	Rantai	%wt	N <sub>DB</sub>	M <sub>i</sub>	δ <sub>i</sub>	%wt. δ <sub>i</sub>
Hexadecanoic Acid (Metil Palmitat)	C 16:0	14,32	0	270	52,83444	756,5892
Heptacosanoic Acid	C 17:0	1,87	0	284	52,5069	98,18791
Tetradecanoic Acid	C 14:0	0,62	0	228	54,05842	33,51622
9,12,15-Octadecatrienoic Acid (Asam Linolenat)	C 19:3	2,05	3	292	51,70384	105,9929
9-Octadecanoic Acid (Asam Oleat)	C 19:1	14,75	1	296	52,04081	767,602
9,12-Octadecanoic Acid (Asam Linoleat)	C 19:2	1,87	2	294	51,87204	97,00072
9,11-Octadecanoic Acid	C19:2	0,50	2	294	51,87204	25,93602
8,11,14-Docosatrienoic Acid	C 22:3	8,27	3	348	50,71517	419,4145
Pentadecanoic Acid	C 15:0	0,54	0	256	53,19781	28,72682
Benzene methyl Toluene	C 6:0	0,83	0	92	65,69	54,5227
1-Hexanol 2-ethyl	C 8:2	0,26	2	130	59,57	15,4882
Caryophyllene	C 15:0	0,76	0	204	54,98412	41,78793
Hexadecane	C 16:0	5,38	0	226	54,12805	291,2089
2,6 Octadienal	C 10:2	0,19	2	152	57,57263	10,9388
1-Hexene, 2,4,4-Triethyl	C 12:4	0,25	4	168	56,02857	14,00714
Delta Cadinene	C 15:0	0,35	0	204	54,98412	19,24444
Geranyl Acetate	C 12:0	0,61	0	196	55,34306	33,75927
Citronellol	C 10:0	0,60	0	156	57,69	34,614
Tritetracontane	C 43:0	0,14	0	605	49,15529	6,88174
1-Hexadecanol	C 20:1	0,12	1	298	52,00013	6,240016
Geraniol	C 10:0	0,84	0	154	57,83935	48,58505
Tricosane	C 23:0	0,27	0	324	51,72704	13,9663
NEOPHYTADIENE	C 20:0	2,66	0	278	52,64324	140,031

2,4-dimethyl Eicosane	C 22:2	0,35	2	310	51,5571	18,04498
3,7,11,15-Tetramethyl-2-hexadecen-1-ol	C 20:4	3,06	4	296	51,41081	157,3171
Methyl Tetradecanoat	C 15:0	1,38	0	242	53,60322	73,97245
Cinnamaldehyde	C 9:0	0,69	0	132	59,78091	41,24883
Tetracontane	C 43:0	0,19	0	605	49,15529	9,339505
Cyclopentane	C 12:0	0,34	0	168	56,86857	19,33531
2-Pentadecanone	C 18:1	2,65	1	268	52,67403	139,5862
Iron, monocarbonyl	C 21:0	0,29	0	438	50,28589	14,58291
Cyclohexane	C 20:0	0,39	0	276	52,69	20,5491
Isophytol	C 20:0	0,84	296	52,25081	43,89068	
7,10,13-Hexadecatrienal	C 16:3	2,40	3	234	53,22667	127,744
Heneicosane	C 21:0	1,92	0	296	52,25081	100,3216
Heptanedioic Acid	C 10:0	0,76	0	202	55,07119	41,8541
1-Nonadecanol	C 19:1	2,28	1	284	52,2969	119,2369
1,2-Benzenedicarboxylic Acid	C 16:2	1,34	2	278	52,22324	69,97914
1-Octadecanol	C 18:1	1,61	1	270	52,62444	84,72536
5,8,11,14,17-Icosapentaenoate	C 22:5	1,62	330	50,57636	81,93371	
2-Hexadecen	C 20:4	8,80	4	296	51,41081	452,4151
Eicosanoic Acid	C 21:0	0,58	0	326	51,69307	29,98198
Anthracene	C 26:0	0,46	0	360	51,17333	23,53973
1-Hexadecanesulfonyl chloride	C 16:1	0,94	1	324	51,51704	48,42601
Hexadecanoic Acid, 3,7,11,15-tetramethyl	C21:4	1,51	4	21	50,85307	76,78813
Heptadecanoic Acid	C18:0	1,11	0	18	52,5069	58,28266
Octadecanoic Acid	C19:0	4,37	0	19	52,21013	228,1583
6,9,12-Octadecatrienoic	C19:3	0,79	3	19	51,70384	40,84603

Acid						
Jumlah	99,93					5250,711
<b>Rata – Rata HHV</b>						<b>52,58705</b>

## 2. Metode *Microwave Direct Transesterification*

### a. Nilai Cetana

$$\varnothing_i = -7,8 + 0,302 Mi - 20 N$$

Fatty Acid	Rantai	%wt Mdt	N	Mi	$\varnothing_i$	%wt. $\varnothing_i$
Hexadecanoic Acid (Metil Palmitat)	C 16:0	28,64	0	270	73,74	2111,91
Tetradecanoic Acid	C 14:0	0,39	228		61,056	23,8118
9-Octadecanoic Acid (Asam Oleat)	C 18:1	5,31	1	296	61,592	327,054
Dodecanoic Acid (Asam Laurat)	C 12:0	2,53	0	200	52,6	133,078
2-Pentadecanone	C 15:0	1,31	0	256	69,512	91,0607
Choloform	C 1:0	4,67	0	118	27,836	129,994
4-Hexonic Acid	C 12:1	0,11	1	184	27,768	3,05448
3-t-Butyl	C 12:0	0,23	0	184	47,768	10,9866
4-t-Butyl Cyclohexanoat	C 13:0	4,14	0	241	64,982	269,025
9-Octadecene	C 18:1	0,25	1	252	48,304	12,076
Hexadecane	C 16:0	1,7	0	226	60,452	102,768
Iron	C 21:0	1,02	0	389	109,678	111,872
Neophytadiene	C 20:0	0,51	0	278	76,156	38,8396
2-Hexadecen	C 20:1	0,24	1	296	61,592	14,7821
3,7,11,15-Tetramethyl	C 20:5	2,48	5	296	-18,408	-45,652
Heptadecen	C 17:0	0,29	0	240	64,68	18,7572
Heptadecen-2,6,10,15 tetramethyl	C 21:4	0,38	4	296	1,592	0,60496
Cyclohexanone	C 13:0	0,44	0	241	64,982	28,5921

3-Phenyl-1,4-Dodecadine	C 17:2	0,66	2	236	23,472	15,4915
Tetratriacontane	C 44:0	3,01	0	619	179,138	539,205
Borane	C 5:0	0,7	0	84	17,568	12,2976
HAHNFETT	C 0:0	4,07	0	50	7,3	29,711
Phytol Isomer	C 20:0	1,7	0	296	81,592	138,706
Nonacosane	C 29:0	1,52	0	408	115,416	175,432
Tricyclo	C 30:0	5,06	0	444	126,288	639,017
7-Heptadecene	C 17:1	3,18	0	272	74,344	236,414
D-Homoandrostane	C 20:0	1,37	0	274	74,948	102,679
Acetic Acid	C 20:0	4,61	0	312	86,424	398,415
1-Eicosanol	C 20:1	2,39	0	298	82,196	212,888
14-Beta H Pregn	C 21:1	2,87	0	288	79,176	227,235
Heneicosane	C 21:0	3,25	0	296	81,592	265,174
Methyl 16 oxo clerida	C 21:0	0,65	0	332	92,464	60,1016
Isolongfolol	C 15:0	1,04	0	222	59,244	61,6138
Decane	C 11:0	0,3	0	234	62,868	18,8604
Cyclohexanol	C 18:0	0,63	0	268	73,136	46,0757
1-Triacontanol	C 30:0	1,41	0	438	124,476	175,511
Octadecanoic Acid	C 19:0	6,66	0	312	86,424	575,584
Jumlah	UNTUK	99,92	BANGSA			7313,03
<b>Rata-rata Angka Cetane</b>						<b>73,18886</b>

### b. Viskositas

$$\eta = 0.235N_c - 0.468N_{DB}$$

Fatty Acid	Rantai	%wt Mdt	N <sub>c</sub>	N <sub>DC</sub>	$\eta$ (mm/s <sup>2</sup> )	%wt. $\eta$
Hexadecanoic Acid (Metil Palmitat)	C 16:0	28,64	0	16	3,76	107,6864
Tetradecanoic Acid	C 14:0	0,39	0	14	3,29	1,2831
9-Octadecanoic Acid	C 18:1	5,31	1	18	3,782	20,08242

(Asam Oleat)						
Dodecanoic Acid (Asam Laurat)	C 12:0	2,53	0	12	2,82	7,1346
2-Pentadecanone	C 15:0	1,31	0	15	3,525	4,61775
Choloform	C 1:0	4,67	0	1	0,235	1,09745
4-Hexonic Acid	C 12:1	0,11	1	12	2,372	0,26092
3-t-Butyl	C 12:0	0,23	0	12	2,82	0,6486
4-t-Butyl Cyclohexanoat	C 13:0	4,14	0	13	3,055	12,6477
9-Octadecene	C 18:1	0,25	1	18	3,782	0,9455
Hexadecane	C 16:0	1,7	0	16	3,76	0,564
Iron	C 21:0	1,02	0	21	4,935	5,0337
Neophytadiene	C 20:0	0,51	0	20	4,7	2,397
2-Hexadecen	C 20:1	0,24	1	20	4,252	1,02048
3,7,11,15-Tetramethyl	C 20:5	2,48	5	20	2,46	6,519
Heptadecen	C 17:0	0,29	0	17	3,995	1,15855
Heptadecen-2,6,10,15 tetramethyl	C 21:4	0,38	4	21	3,143	1,19434
Cyclohexanone	C 13:0	0,44	0	13	3,055	1,3442
3-Phenyl-1,4- Dodecadine	C 17:2	0,66	2	17	3,099	2,04534
Tetratriacontane	C 44:0	3,01	0	44	10,34	31,1234
Borane	C 5:0	0,7	0	5	1,175	0,8225
HAHNFETT	C 0:0	4,07	0	0	0	0
Phytol Isomer	C 20:0	1,7	0	20	4,7	7,99
Nonacosane	C 29:0	1,52	0	29	6,815	10,3588
Tricyclo	C 30:0	5,06	0	30	7,05	35,673
7-Heptadecene	C 17:1	3,18	0	17	3,995	12,7041
D-Homoandrostane	C 20:0	1,37	0	20	4,7	6,439
Acetic Acid	C 20:0	4,61	0	20	4,7	20,492
1-Eicosanol	C 20:1	2,59	0	20	4,7	12,173
14-Beta H Pregn	C 21:1	2,87	0	21	4,935	14,16345

Heneicosane	C 21:0	3,25	0	21	4,935	16,03875
Methyl 16 oxo clerida	C 21:0	0,65	0	21	4,935	3,20775
Isolongfolol	C 15:0	1,04	0	15	3,525	3,666
Decane	C 11:0	0,3	0	11	2,585	0,7755
Cyclohexanol	C 18:0	0,63	0	18	4,23	2,6649
1-Triacontanol	C 30:0	1,41	0	30	7,05	9,9405
Octadecanoic Acid	C19:0	6,66	0	312	4,465	29,7369
Jumlah		99,92				402,2354
<b>Rata-rata Viskositas</b>						<b>4,025574</b>

c. Flash Point

$$T_f = 23.362 N_c + 4.854 N_{DB}$$

Fatty Acid	Rantai	%wt Mdt	Nc	NDC	Tf (K)	%wt. Tf
Hexadecanoic Acid (Metil Palmitat)	C 16:0	28,64	0	16	373,792	10705,4
Tetradecanoic Acid	C 14:0	0,39	0	14	327,068	127,5565
9-Octadecanoic Acid (Asam Oleat)	C 18:1	5,31	1	18	425,37	2258,715
Dodecanoic Acid (Asam Laurat)	C 12:0	2,53	0	12	280,344	709,2703
2-Pentadecanone	C 15:0	1,31	0	15	350,43	459,0633
Choloform	C 1:0	4,67	0	1	23,362	109,1005
4-Hexonic Acid	C 12:1	0,11	1	12	285,198	31,37178
3-t-Butyl	C 12:0	0,23	0	12	280,344	64,47912
4-t-Butyl Cyclohexanoat	C 13:0	4,14	0	13	303,706	1257,343
9-Octadecene	C 18:1	0,25	1	18	425,37	106,3425
Hexadecane	C 16:0	1,7	0	16	373,792	56,0688
Iron	C 21:0	1,02	0	21	490,602	500,414
Neophytadiene	C 20:0	0,51	0	20	467,24	238,2924
2-Hexadecen	C 20:1	0,24	1	20	472,094	113,3026

3,7,11,15-Tetramethyl	C 20:5	2,48	5	20	491,51	1302,502
Heptadecen	C 17:0	0,29	0	17	397,154	115,1747
Heptadecen-2,6,10,15 tetramethyl	C 21:4	0,38	4	21	510,018	193,8068
Cyclohexanone	C 13:0	0,44	0	13	303,706	133,6306
3-Phenyl-1,4-Dodecadine	C 17:2	0,66	2	17	406,862	268,5289
Tetratriacontane	C 44:0	3,01	0	44	1027,928	3094,063
Borane	C 5:0	0,7	0	5	116,81	81,767
HAHNFETT	C 0:0	4,07	0	0	0	0
Phytol Isomer	C 20:0	1,7	0	20	467,24	794,308
Nonacosane	C 29:0	1,52	0	29	677,498	1029,797
Tricyclo	C 30:0	5,06	0	30	700,86	3546,352
7-Heptadecene	C 17:1	3,18	0	17	397,154	1262,95
D-Homoandrostane	C 20:0	1,37	0	20	467,24	640,1188
Acetic Acid	C 20:0	4,61	0	20	467,24	2037,166
1-Eicosanol	C 20:1	2,59	0	20	467,24	1210,152
14-Beta H Pregnna	C 21:1	2,87	0	21	490,602	1408,028
Heneicosane	C 21:0	3,25	0	21	490,602	1594,457
Methyl 16 oxo clerida	C 21:0	0,65	0	21	490,602	318,8913
Isolongfolol	C 15:0	1,04	0	15	350,43	364,4472
Decane	C 11:0	0,3	0	11	256,982	77,0946
Cyclohexanol	C 18:0	0,63	0	18	420,516	264,9251
1-Triacontanol	C 30:0	1,41	0	30	700,86	988,2126
Octadecanoic Acid	C19:0	6,66	0	312	443,878	2956,23
Jumlah		99,92				41031,95
<b>Rata-rata Flash Point</b>						<b>410,648</b>

$$T_f = 410,64K$$

$$= 137,64^{\circ}C$$

d. Cloud Point

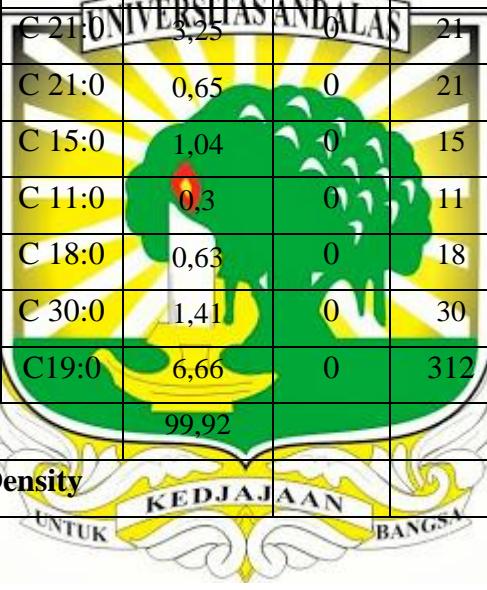
$$\begin{aligned}
 CP &= 0.526P_{FMAE} - 4.992 \\
 &= 0,526(28,64) - 4,992 \\
 &= \mathbf{10,1^\circ C}
 \end{aligned}$$

e. Density

$$\rho_i = 0.8436 + \frac{4.9}{M_i} + 0.0118N$$

Fatty Acid	Rantai	%wt Mdt	N <sub>c</sub>	N <sub>DC</sub>	$\rho_i$	%wt. $\rho_i$
Hexadecanoic Acid (Metil Palmitat)	C 16:0	28,64	0	16	0,861748	24,68047
Tetradecanoic Acid	C 14:0	0,39	0	14	0,865091	0,337386
9-Octadecanoic Acid (Asam Oleat)	C 18:1	5,31	18	0,871954	4,630076	
Dodecanoic Acid (Asam Laurat)	C 12:0	2,53	0	12	0,8681	2,196293
2-Pentadecanone	C 15:0	1,31	0	15	0,862741	1,13019
Choloform	C 1:0	4,67	0	1	0,885125	4,133536
4-Hexonic Acid	C 12:1	-0,11	1	12	0,88203	0,097023
3-t-Butyl	C 12:0	0,23	0	12	0,87023	0,200153
4-t-Butyl Cyclohexanoat	C 13:0	4,14	0	13	0,863932	3,576678
9-Octadecene	C 18:1	0,25	18	0,874844	0,218711	
Hexadecane	C 16:0	1,7	0	16	0,865281	0,129792
Iron	C 21:0	1,02	0	21	0,856196	0,87332
Neophytadiene	C 20:0	0,51	0	20	0,861226	0,439225
2-Hexadecen	C 20:1	0,24	1	20	0,871954	0,209269
3,7,11,15-Tetramethyl	C 20:5	2,48	5	20	0,919154	2,435758
Heptadecen	C 17:0	0,29	0	17	0,864017	0,250565
Heptadecen-2,6,10,15 tetramethyl	C 21:4	0,38	4	21	0,907354	0,344795
Cyclohexanone	C 13:0	0,44	0	13	0,863932	0,38013
3-Phenyl-1,4- Dodecadine	C 17:2	0,66	2	17	0,887963	0,586055

Tetratriacontane	C 44:0	3,01	0	44	0,851516	2,563063
Borane	C 5:0	0,7	0	5	0,901933	0,631353
HAHNFETT	C 0:0	4,07	0	0	0,9416	3,832312
Phytol Isomer	C 20:0	1,7	0	20	0,860154	1,462262
Nonacosane	C 29:0	1,52	0	29	0,85561	1,300527
Tricyclo	C 30:0	5,06	0	30	0,854636	4,324458
7-Heptadecene	C 17:1	3,18	0	17	0,861615	2,739935
D-Homoandrostane	C 20:0	1,37	0	20	0,861483	1,180232
Acetic Acid	C 20:0	4,61	0	20	0,859305	3,74657
1-Eicosanol	C 20:1	2,59	0	20	0,860043	2,227511
14-Beta H Pregna	C 21:1	2,87	0	21	0,860614	2,469962
Heneicosane	C 21:0	3,25	0	21	0,860154	2,795501
Methyl 16 oxo clerida	C 21:0	0,65	0	21	0,858359	0,557933
Isolongfolol	C 15:0	1,04	0	15	0,865672	0,900299
Decane	C 11:0	0,3	0	11	0,86454	0,259362
Cyclohexanol	C 18:0	0,63	0	18	0,861884	0,542987
1-Triacontanol	C 30:0	1,41	0	30	0,854787	1,20525
Octadecanoic Acid	C19:0	6,66	0	312	0,85931	5,72297
Jumlah		99,92				86,71167
<b>Rata-rata Density</b>						<b>0,867811</b>



#### f. Higher Heating Value

$$\delta_i = 46,19 + \frac{1794}{M_i} - 0,21N$$

Fatty Acid	Rantai	%wt Mdt	N <sub>c</sub>	N <sub>DC</sub>	δi	%wt. δi
Hexadecanoic Acid (Metil Palmitat)	C 16:0	28,64	0	16	52,83444	1513,178
Tetradecanoic Acid	C 14:0	0,39	0	14	54,05842	21,08278
9-Octadecanoic Acid (Asam Oleat)	C 18:1	5,31	1	18	52,04081	276,3367
Dodecanoic Acid	C 12:0	2,53	0	12	55,16	139,5548

(Asam Laurat)						
2-Pentadecanone	C 15:0	1,31	0	15	53,19781	69,68913
Choloform	C 1:0	4,67	0	1	61,39339	286,7071
4-Hexonic Acid	C 12:1	0,11	1	12	55,73	6,1303
3-t-Butyl	C 12:0	0,23	0	12	55,94	12,8662
4-t-Butyl Cyclohexanoat	C 13:0	4,14	0	13	53,63398	222,0447
9-Octadecene	C 18:1	0,25	1	18	53,09905	13,27476
Hexadecane	C 16:0	1,7	0	16	54,12805	8,119208
Iron	C 21:0	1,02	0	21	50,80183	51,81786
Neophytadiene	C 20:0	0,51	0	20	52,64324	26,84805
2-Hexadecen	C 20:1	0,24	1	20	52,04081	12,48979
3,7,11,15-Tetramethyl	C 20:5	2,48	5	20	51,20081	135,6821
Heptadecen	C 17:0	0,29	0	17	53,665	15,56285
Heptadecen-2,6,10,15 tetramethyl	C 21:4	0,38	4	21	51,41081	19,53611
Cyclohexanone	C 13:0	0,44	0	13	53,63398	23,59895
3-Phenyl-1,4-Dodecadine	C 17:2	0,66	2	17	53,37169	35,22532
Tetratriacontane	C 44:0	3,01	0	44	49,08822	147,7556
Borane	C 5:0	0,7	0	5	67,54714	47,283
HAHNFETT	C 0:0	4,07	0	0	82,07	334,0249
Phytol Isomer	C 20:0	1,7	0	20	52,25081	88,82638
Nonacosane	C 29:0	1,52	0	29	50,58706	76,89233
Tricyclo	C 30:0	5,06	0	30	50,23054	254,1665
7-Heptadecene	C 17:1	3,18	0	17	52,78559	167,8582
D-Homoandrostane	C 20:0	1,37	0	20	52,73745	72,2503
Acetic Acid	C 20:0	4,61	0	20	51,94	226,4584
1-Eicosanol	C 20:1	2,59	0	20	52,21013	135,2242
14-Beta H Pregnna	C 21:1	2,87	0	21	52,41917	150,443
Heneicosane	C 21:0	3,25	0	21	52,25081	169,8151
Methyl 16 oxo clerida	C 21:0	0,65	0	21	51,59361	33,53585

Isolongfolol	C 15:0	1,04	0	15	54,27108	56,44192
Decane	C 11:0	0,3	0	11	53,85667	16,157
Cyclohexanol	C 18:0	0,63	0	18	52,88403	33,31694
1-Triacontanol	C 30:0	1,41	0	30	50,28589	70,90311
Octadecanoic Acid	C19:0	6,66	0	312	51,94	345,92
Jumlah		99,92				5405,198
<b>Rata-rata HHV</b>						<b>54,09525</b>



# LAMPIRAN 3

**HASIL GC-MS METODE KONVENTIONAL  
( TANPA PENGGUNAAN MICROWAVE)**







**LAMPIRAN 5**

**DOKUMENTASI PENELITIAN**

The logo of Universitas Andalas is centered in the background. It features a green shield with a yellow sunburst pattern behind a green tree. A white ribbon banner at the top reads "UNIVERSITAS ANDALAS". Below the tree, a white ribbon banner at the bottom reads "KEDAJAAN" above "UNTUK" and "BANGSA" below it.



PENGUKURAN BIOMASSA



PENGUKURAN BOTOL VIAL



HASIL EKSTRAKSI



CAMPURAN BIOMASSA,

METANOL, KLOROFORM



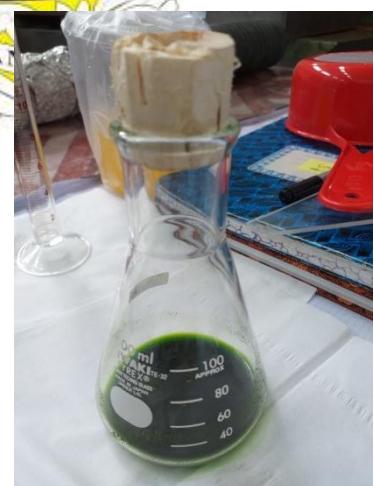
**LIPID HASIL EKSTRAKSI                            PROSES TRANSESTERIFIKASI**

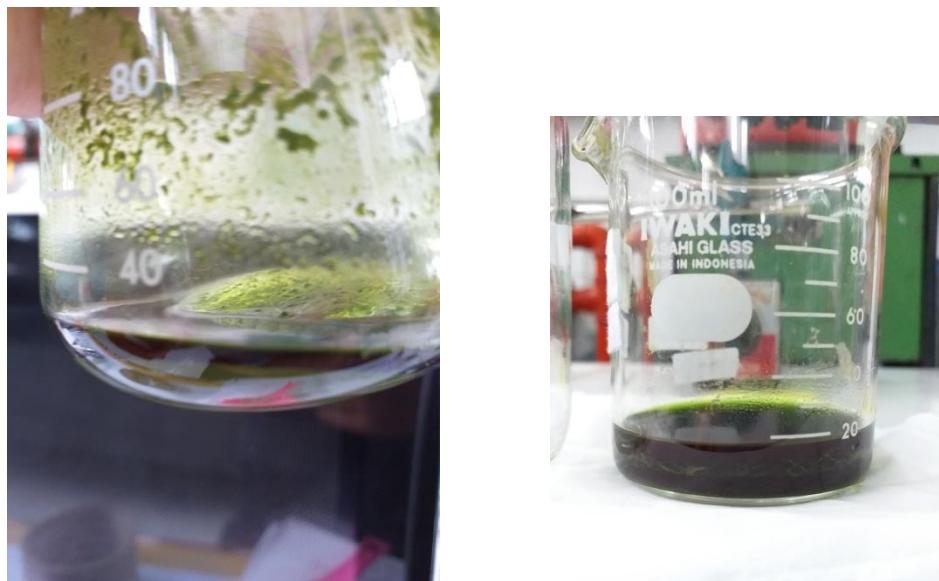


**RANGKAIAN ALAT MDT**

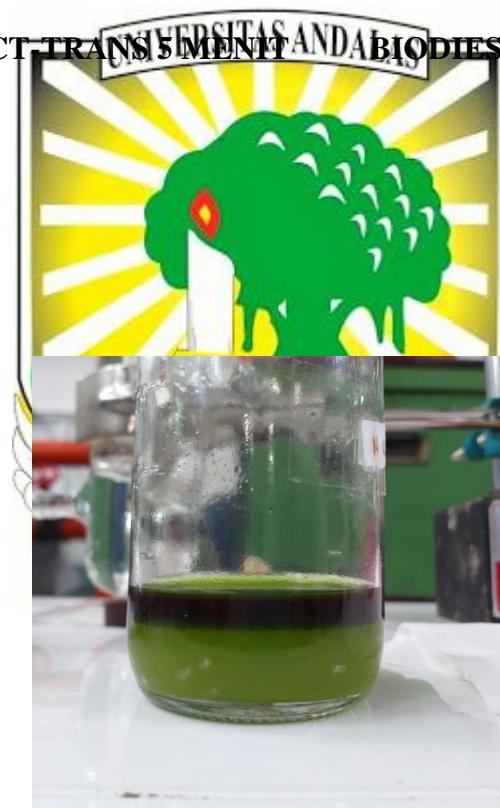
**CAMPURAN BIOMASSA,**

**METANOL, KATALIS**





HASIL DIRECT TRANSESTERIFIKASI BIODIESEL HASIL MDT



PEMURNIAN BIODIESEL