

**SKRIPSI**  
**PRA RENCANA**  
**PABRIK PEMBUATAN BIODIESEL DARI PALM OIL MILL EFFLUENT**  
**(POME)**  
**KAPASITAS 370.000 TON/TAHUN**

**Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh**  
**gelar Sarjana Teknik Kimia**  
**pada**  
**Universitas Sriwijaya**



**MUHTAZA AZIZIYA SYAFIQ**

NIM 03031381520064

**MUHAMAD IHSAN**

NIM 03031381520070

**JURUSAN TEKNIK KIMIA**  
**FAKULTAS TEKNIK**  
**UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

**2019**

## HALAMAN PENGESAHAN

### PRA RENCANA PABRIK PEMBUATAN BIODIESEL DARI PALM OIL MILL EFFLUENT (POME) KAPASITAS 370.000 TON PER TAHUN

#### SKRIPSI

Diajukan untuk melengkapi salah satu syarat  
memperoleh gelar Sarjana

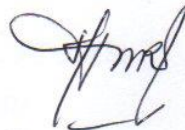
Oleh:

Muhtaza Aziziya Syafiq  
NIM 03031381520064

Muhamad Ihsan  
NIM 03031381520070

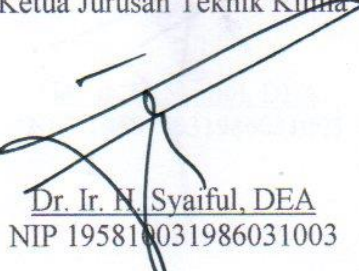
Palembang, Oktober 2019

Pembimbing,



Dr. Ir. Hj. Susila Arita R., DEA  
NIP 196010111985032002

← Mengetahui,  
Ketua Jurusan Teknik Kimia



Dr. Ir. N. Syaiful, DEA  
NIP 195810031986031003

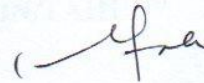
## HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa Skripsi dengan judul "Pra Rencana Pabrik Pembuatan Biodiesel dari *Palm Oil Mill Effluent* (POME) Kapasitas 370.000 Ton/Tahun" telah dipertahankan **Muhtaza Aziziya Syafiq dan Muhamad Ihsan** di hadapan Tim Penguji Sidang Tugas Akhir Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada 30 Juli 2019.

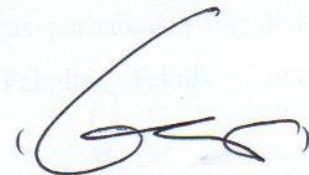
Palembang, September 2019

Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah berupa Skripsi

1. Ir. Hj. Farida Ali, DEA  
NIP 195511081984031001

(  )

2. Dr. Hj. Leily Nurul Komariah, S.T., M.T  
NIP 197503261999032002

(  )

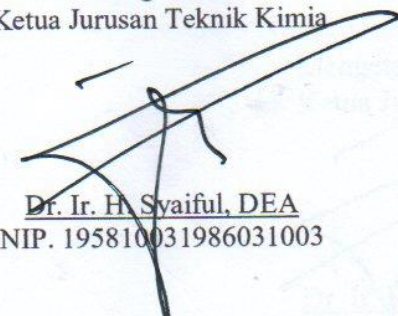
3. Budi Santoso, S.T., M.T.  
NIP 197706052003121004

(  )

4. Asyeni Miftahul Jannah, S.T., M.Si  
NIP 198606292008122002

(  )

Mengetahui,  
Ketua Jurusan Teknik Kimia

  
Dr. Ir. H. Syaiful, DEA  
NIP. 195810031986031003



## HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Muhtaza Aziziya Syafiq

NIM : 03031381520064

Judul Tugas Akhir : Pra Rencana Pabrik Pembuatan Biodiesel dari Palm Oil  
Mill Effluent (POME) Kapasitas 370.000 Ton Per Tahun

Fakultas/Jurusan : Teknik/Teknik Kimia

Menyatakan bahwa Skripsi ini merupakan hasil karya saya dan partner atas nama **Muhamad Ihsan** didampingi Pembimbing dan bukan hasil jiplakan/plagiat. Apabila ditemukan unsur penjiplakan/plagiat dalam Skripsi ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya sesuai aturan yang berlaku.

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapapun.



Palembang, Oktober 2019

**Muhtaza Aziziya Syafiq**

NIM. 03031381520064

## HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Muhamad Ihsan  
NIM : 03031381520070  
Judul Tugas Akhir : Pra Rencana Pabrik Pembuatan Biodiesel dari Palm Oil  
Mill Effluent (POME) Kapasitas 370.000 Ton Per Tahun  
Fakultas/Jurusan : Teknik/Teknik Kimia

Menyatakan bahwa Skripsi ini merupakan hasil karya saya dan partner atas nama Muhtaza Aziziya Syqfiq didampingi Pembimbing dan bukan hasil jiplakan/plagiat. Apabila ditemukan unsur penjiplakan/plagiat dalam Skripsi ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya sesuai aturan yang berlaku.

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapapun.



Palembang, Oktober 2019



Muhamad Ihsan

NIM. 03031381520070

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “Pra Rencana Pabrik Pembuatan Biodiesel dari *Palm Oil Mill Effluent* (POME) Kapasitas 370.000 Ton/Tahun” tepat pada waktunya. Adapun tujuan dari pembuatan tugas akhir ini adalah untuk melengkapi persyaratan pada kurikulum akademik sarjana yang harus dipenuhi agar penulis dapat memperoleh gelar Sarjana Strata Satu (S1) di Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.

Meskipun telah berusaha menyelesaikan tugas akhir ini sebaik mungkin, penulis menyadari bahwa laporan penelitian masih jauh dari kata sempurna. Penyelesaian laporan penelitian ini tentunya dapat terselesaikan karena adanya bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu pada kesempatan ini disampaikan terima kasih kepada:

- 1) Kedua orang tua yang telah memberikan dukungan baik secara materi maupun moril.
- 2) Bapak Dr. Ir. H. Syaiful, DEA, selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
- 3) Ibu Dr. Hj. Leily Nurul Komariah, S.T., M.T., selaku Sekretaris Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
- 4) Ibu Dr. Ir. Hj. Susila Arita Rachman, DEA., selaku Dosen pembimbing tugas akhir.
- 5) Teman-teman yang telah memberikan dukungan dan saran sehingga tugas akhir ini dapat diselesaikan.

Palembang, Oktober 2019

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	ii
<b>HALAMAN PERSETUJUAN</b> .....	iii
<b>HALAMAN PERBAIKAN</b> .....	iv
<b>HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS</b> .....	v
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	vii
<b>ABSTRAK</b> .....	viii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	ix
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xiv
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xv
<b>DAFTAR NOTASI</b> .....	xvi
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xxiv
<b><u>BAB 1</u> PEMBAHASAN UMUM</b> .....	1
1.1. Pendahuluan .....	1
1.2. Sejarah dan Perkembangan Biodiesel .....	3
1.3. Bahan Baku Biodiesel .....	4
1.4. Macam-Macam Proses Pembuatan Biodiesel .....	9
1.5. Standar Mutu Biodiesel.....	14
1.6. Sifat Fisika dan Kimia.....	15
<b><u>BAB 2</u> PERENCANAAN PABRIK</b> .....	18
2.1. Alasan Pendirian Pabrik.....	18
2.2. Penentuan Kapasitas.....	19
2.3. Pemilihan Bahan Baku .....	22
2.4. Uraian Proses.....	22
2.5. Flowsheet Proses Pembuatan Biodiesel .....	25
<b><u>BAB 3</u> LOKASI DAN LETAK PABRIK</b> .....	26
3.1. Lokasi Pabrik.....	26

3.2. Tata Letak Pabrik .....	29
3.3. Luas Area Pabrik.....	31
<b><u>BAB 4 NERACA MASSA DAN NERACA PANAS</u></b> .....	<b>32</b>
4.1. Neraca Massa .....	32
4.2. Neraca Panas .....	48
<b><u>BAB 5 UTILITAS</u></b> .....	<b>62</b>
5.1. Unit Penyediaan Steam .....	62
5.2. Unit Penyediaan Air .....	63
5.3. Unit Penyediaan Tenaga Listrik .....	69
5.4. Unit Penyediaan Bahan Bakar.....	72
5.5. Unit Penyediaan <i>Refrigerant</i> .....	73
<b><u>BAB 6 SPESIFIKASI PERALATAN</u></b> .....	<b>75</b>
6.1. Akumulator-01 (ACC-01).....	75
6.2. Akumulator-02 (ACC-02).....	76
6.3. Akumulator-03 (ACC-03).....	77
6.4. Akumulator-04 (ACC-04).....	78
6.5. Akumulator-05 (ACC-05).....	79
6.6. Akumulator-06 (ACC-06).....	80
6.7. Decanter-01 (DC-01) .....	81
6.8. Decanter-02 (DC-02) .....	82
6.9. Decanter-03 (DC-03) .....	83
6.10. Cooler-01 (C-01).....	84
6.11. Cooler-02 (C-02).....	85
6.12. Cooler-03 (C-03).....	86
6.13. Cooler-04 (C-04).....	87
6.14. Cooler-05 (C-05).....	88
6.15. Cooler-06 (C-06).....	89
6.16. Cooler-07 (C-07).....	90
6.17. Cooler-08 (C-08).....	91
6.18. Chiller-01 (CH-01).....	92
6.19. Chiller-02 (CH-02).....	93



6.20. Chiller-03 (CH-03)	94
6.21. Chiller-04 (CH-04)	95
6.22. Heater-01 (H-01)	96
6.23. Heater-02 (H-02)	97
6.24. Heater-03 (H-03)	98
6.25. Heater-04 (H-04)	99
6.26. Heater-05 (H-05)	100
6.27. Heater-06 (H-06)	101
6.28. Heater-07 (H-07)	102
6.29. Heater-08 (H-08)	103
6.30. Heater-09 (H-09)	104
6.31. Heater-10 (H-10)	105
6.32. Centrifuge-01 (CF-01)	106
6.33. Centrifuge-02 (CF-02)	107
6.34. Kolom Destilasi-01 (KD-01)	108
6.35. Kolom Destilasi-02 (KD-02)	109
6.36. Kolom Destilasi-03 (KD-03)	110
6.37. Kolom Destilasi-04 (KD-04)	111
6.38. Kolom Destilasi-05 (KD-05)	112
6.39. Kolom Destilasi-06 (KD-06)	113
6.40. Condenser-01 (CD-01)	114
6.41. Condenser-02 (CD-02)	115
6.42. Condenser-03 (CD-03)	116
6.43. Condenser-04 (CD-04)	117
6.44. Condenser-05 (CD-05)	118
6.45. Condenser-06 (CD-06)	119
6.46. Condenser-07 (CD-07)	120
6.47. Reboiler-01 (RB-01)	121
6.48. Reboiler-02 (RB-02)	122
6.49. Reboiler-03 (RB-03)	123
6.50. Reboiler-04 (RB-04)	124
6.51. Reboiler-05 (RB-05)	125

6.52. Reboiler-06 (RB-06) .....	126
6.53. Silo Tank-01 (ST-01) .....	127
6.54. Tangki-01 (T-01).....	128
6.55. Tangki-02 (T-02).....	128
6.56. Tangki-03 (T-03).....	129
6.57. Tangki-04 (T-04).....	129
6.58. Tangki-05 (T-05).....	130
6.59. Tangki-06 (T-06).....	130
6.60. Tangki-07 (T-07).....	131
6.61. Tangki-08 (T-08).....	131
6.62. Tangki-09 (T-09).....	132
6.63. Mixing Tank-01 (MT-01) .....	133
6.64. Evaporator-01 (EV-01) .....	134
6.65. Pompa-01 (P-01) .....	136
6.66. Pompa-02 (P-02) .....	137
6.67. Pompa-03 (P-03) .....	138
6.68. Pompa-04 (P-04) .....	139
6.69. Pompa-05 (P-05) .....	140
6.70. Pompa-06 (P-06) .....	141
6.71. Pompa-07 (P-07) .....	142
6.72. Pompa-08 (P-08) .....	143
6.73. Pompa-09 (P-09) .....	144
6.74. Pompa-10 (P-10) .....	145
6.75. Pompa-11 (P-11) .....	146
6.76. Pompa-12 (P-12) .....	147
6.77. Pompa-13 (P-13) .....	148
6.78. Pompa-14 (P-14) .....	149
6.79. Pompa-15 (P-15) .....	150
6.80. Pompa-16 (P-16) .....	151
6.81. Pompa-17 (P-17) .....	152
6.82. Pompa-18 (P-18) .....	153
6.83. Pompa-19 (P-19) .....	154

6.84. Pompa-20 (P-20) .....	155
6.85. Pompa-21 (P-21) .....	156
6.86. Reaktor-01 (R-01) .....	157
6.87. Reaktor-02 (R-02) .....	158
6.88. Reaktor-03 (R-03) .....	159
<b><u>BAB 7</u> ORGANISASI PERUSAHAAN .....</b>	<b>160</b>
7.1. Bentuk Perusahaan .....	160
7.2. Struktur Organisasi.....	161
7.3. Tugas dan Wewenang .....	163
7.4. Sistem Kerja .....	166
7.5. Penentuan Jumlah Karyawan .....	168
<b><u>BAB 8</u> ANALISA EKONOMI .....</b>	<b>172</b>
8.1. Keuntungan (Profitabilitas).....	173
8.2. Lama Waktu Pengembalian Modal .....	174
8.3. Total Modal Akhir.....	176
8.4. Laju Pengembalian Modal .....	179
8.5. Break Even Point (BEP).....	180
<b><u>BAB 9</u> KESIMPULAN.....</b>	<b>183</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	
<b>LAMPIRAN</b>	

## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1.1. Komposisi Asam Lemak di Dalam PFAD .....	7
Tabel 1.2. Persyaratan Kualitas Biodiesel Menurut SNI 7182:2015 .....	14
Tabel 2.1. Proyeksi Penggunaan Biodiesel .....	19
Tabel 2.2. Data Ekspor Biodiesel ke Uni Eropa .....	20
Tabel 2.3. Data Kapasitas Produksi Pabrik Biodiesel Terpasang di Indonesia..	21
Tabel 3.1. Rincian Area Pabrik .....	31
Tabel 5.1. Kebutuhan <i>Steam</i> Pemanas .....	63
Tabel 5.2. Kebutuhan Air Proses .....	64
Tabel 5.3. Kebutuhan Air Pendingin.....	64
Tabel 5.4. Kebutuhan Listrik Peralatan Pabrik .....	69
Tabel 5.5. Kebutuhan <i>Refrigerant</i> Peralatan Pabrik .....	73
Tabel 7.1. Pembagian Waktu Kerja Karyawan <i>Shift</i> .....	168
Tabel 7.2. Perincian Jumlah Karyawan.....	170
Tabel 8.1. <i>Selling Price</i> .....	173
Tabel 8.2. Angsuran Pengembalian Modal .....	176
Tabel 8.3. Kesimpulan Analisa Ekonomi .....	182



## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1.1. Reaksi Transesterifikasi.....	10
Gambar 1.2. Reaksi Esterifikasi.....	10
Gambar 1.3. Mekanisme <i>log and key</i> Sisi Aktif Enzim dan Substrat.....	13
Gambar 2.1. Grafik Data Ekspor Biodiesel ke Uni Eropa .....	20
Gambar 3.1. Rencana Lokasi Pabrik Berdasarkan RTRW Kota Dumai 2005 -2012.....	29
Gambar 3.2. Tata Letak Pabrik .....	31
Gambar 3.3. Tata Letak Peralatan .....	32
Gambar 7.1. Struktur Organisasi Perusahaan.....	171
Gambar 8.1. Grafik <i>Break Event Point</i> .....	181

## DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
<b>Lampiran 1.</b> Perhitungan Neraca Massa .....	...184
<b>Lampiran 2.</b> Perhitungan Neraca Panas... ..	...291
<b>Lampiran 3.</b> Perhitungan Spesifikasi Peralatan .....	...446
<b>Lampiran 4.</b> Perhitungan Ekonomi .....	...710

## RINGKASAN

PRA RENCANA PABRIK PEMBUATAN BIODIESEL DARI *PALM OIL MILL EFFLUENT* (POME) DENGAN KAPASITAS PRODUKSI 370.000 TON/TAHUN

Karya tulis ilmiah berupa Skripsi, Juli 2019

Muhtaza Aziziya Syafiq dan Muhamad Ihsan; Dibimbing oleh Dr. Ir. Hj. Susila Arita R., DEA

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya  
xix + 195 halaman, 16 tabel, 8 gambar, 4 lampiran

### RINGKASAN

Pabrik pembuatan biodiesel dengan kapasitas produksi 370.000 ton/tahun ini direncanakan berdiri pada tahun 2024 di Kawasan Industri Kel. Pelintung, Kec. Medang Kampai, kota Dumai, Riau yang diperkirakan memiliki luas area sebesar 15,44 Ha. Bahan baku dari pembuatan biodiesel adalah limbah cair kelapa sawit (*Palm Oil Mill Effluent* (POME)), metil asetat, metanol, asam asetat, natrium hidroksida, dan katalis enzim lipase. Proses pembuatan biodiesel mengacu pada Patent WO 2013/081446 A1 dengan proses hidrolisis trigliserida, interesterifikasi *free fatty acid* (FFA) dengan metil asetat dan tranesterifikasi FFA dengan metanol membentuk biodiesel. Reaktor pertama, kedua, dan ketiga adalah reaktor jenis *continous stirred tank reactor* dengan katalis enzim lipase. Reaktor pertama beroperasi pada temperatur 40°C dan tekanan 1 atm, reaktor kedua beroperasi pada temperatur 90°C dan tekanan 1 atm, sedangkan reaktor 3 beroperasi pada temperatur 30°C dan 1 atm.

Pabrik ini akan didirikan dengan menganut bentuk perusahaan perseroan terbatas (PT) dengan sistem organisasi *Line and Staff*, yang dipimpin oleh seorang Direktur dengan total karyawan 200 orang. Berdasarkan hasil analisa ekonomi, pabrik biodiesel ini layak untuk didirikan karena telah memenuhi berbagai macam persyaratan parameter ekonomi, yaitu sebagai berikut:

• <i>Total Capital Investment</i> (TCI)	= US \$ 139.239.815,8420
• <i>Total Production Cost</i> (TPC)	= US \$ 144.669.309,8038
• Total Penjualan per Tahun (SP)	= US\$ 288.456.175,2992
• <i>Annual Cash Flow</i>	= US\$ 118.610.348,8770
• <i>Pay Out Time</i>	= 1,1636 tahun
• <i>Rate of Return</i>	= 77,4492%
• <i>Break Even Point</i>	= 29,9151 %
• <i>Service Life</i>	= 11 tahun


**Kata Kunci:** Biodiesel, CSTR, Enzim Lipase, POME, Analisa Ekonomi

Kepustakaan : 68 (1967-2019)

Palembang, Juli 2019

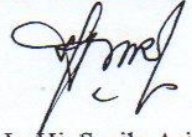
Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Kimia,

  
Dr. Ir. N. Syafiq, DEA  
NIP 195810031986031003

Menyetujui,

Dosen Pembimbing Tugas Akhir,

  
Dr. Ir. Hj. Susila Arita R., DEA  
NIP 196010111985032002

# **BAB I**

## **PEMBAHASAN UMUM**

### **1.1. Pendahuluan**

Energi merupakan kebutuhan utama dalam kehidupan. Setiap tahun, permintaan akan energi semakin meningkat sesuai dengan perkembangan industri dan aktivitas kehidupan. Sumber-sumber energi terbarukan mendapat perhatian serius seiring dengan peningkatan jumlah penduduk dan berkurangnya cadangan minyak bumi sebagai sumber energi utama yang dikonsumsi oleh penduduk dunia. Penggunaan energi fosil di Indonesia sendiri semakin meningkat, adapun bahan bakar fosil merupakan bahan bakar yang tidak dapat diperbaharui dan terus mengalami pengurangan, sehingga diperlukan bahan bakar alternatif sebagai solusi dari permasalahan bahan bakar ini, sehingga pemerintah mengeluarkan regulasi mengenai penggunaan energi di Indonesia. Diversifikasi merupakan salah satu strategi pemerintah untuk menghemat penggunaan energi. Diversifikasi termasuk upaya konversi atau peralihan dari energi minyak dan fosil menjadi energi terbarukan seperti biomassa, angin, air, dan lain-lain.

Salah satu sumber energi alternatif yaitu biodiesel, telah menjadi perhatian peneliti di seluruh dunia hingga saat ini. Biodiesel adalah sejenis bahan bakar yang diproses dari sumber yang dapat diperbarui umumnya minyak tumbuhan dan lemak hewan (Basumatary, 2013; Indriyani, 2010). Keberadaan biodiesel memiliki peranan yang sangat penting dalam upaya penghematan ataupun sebagai substitusi bahan bakar konvensional solar. Beberapa keuntungan biodiesel untuk terus dikembangkan hingga saat ini antara lain memiliki sifat *biodegradable*, tidak mencemari lingkungan, keberlanjutan yang tinggi, diperoleh dari sumber yang dapat diperbarui karena biodiesel dapat diproduksi dari bahan pertanian, perkebunan ataupun peternakan, rendah emisi gas buang secara keseluruhan, tidak mengandung sulfur, mempunyai titik nyala yang unggul dan efisiensi pembakaran yang lebih tinggi, dan membuka peluang ditemukannya pasar baru untuk produk hasil pertanian (Thanh dkk, 2012; Indriyani, 2010).



Dalam banyak penelitian, biodiesel dihasilkan melalui reaksi esterifikasi dan transesterifikasi, dengan mempertimbangkan kandungan asam lemak bebas yang terdapat dalam minyak tumbuhan dan lemak hewan. Minyak tumbuhan untuk bahan baku biodiesel dikelompokkan menjadi minyak tumbuhan yang dapat dikonsumsi (minyak pangan) dan minyak tumbuhan yang tidak dapat dikonsumsi (minyak bukan pangan). Pembuatan biodiesel dari minyak pangan (seperti minyak kelapa, minyak sawit, minyak jagung, dan minyak kedelai) akan berdampak terhadap potensi ketersediaan bahan pangan. Hal tersebut akan menimbulkan kompetisi bahan baku untuk bahan pangan dan biodiesel sehingga menjadi tidak ekonomis, sehingga diperlukan bahan baku yang tidak mengganggu ketersediaan pangan untuk pembuatan biodiesel.

Disisi lain, Indonesia merupakan salah satu negara yang memiliki potensi dalam perkebunan kelapa sawit. Potensi tersebut tampak dari perkiraan peningkatan luas lahan kelapa sawit pada tahun 2015 sebesar 4,46% menjadi 11,44 juta hektar (Badan Pusat Statistik, 2014). Pada tahun 2020 Indonesia diperkirakan memproduksi 30 juta ton minyak kelapa sawit curah/tahun. Peningkatan luas areal dan produktivitas yang cukup tinggi ini diikuti oleh perkembangan industri kelapa sawit (Ayuwibowo dkk, 2018).

Peningkatan luas areal dan produktivitas yang cukup tinggi ini diikuti oleh perkembangan industri kelapa sawit. Perkembangan industri kelapa sawit dicirikan dengan pembangunan pabrik kelapa sawit (PKS) terpadu dengan perkebunan yang dapat berdampak positif (melalui penyerapan tenaga kerja dan perbaikan infrastruktur daerah setempat) dan berdampak negatif bagi lingkungan (melalui penurunan kualitas dan kuantitas lingkungan akibat pencemaran serta timbulnya masalah sosial). Oleh karena itu, penerapan konsep *zero waste* dalam usaha perkebunan sangat dianjurkan. Limbah kelapa sawit merupakan sisa hasil tanaman kelapa sawit yang tidak termasuk dalam produk utama atau hasil ikutan dari proses pengolahan kelapa sawit. Limbah hasil pengolahan kelapa sawit dibedakan menjadi limbah cair yang biasa dikenal dengan istilah POME (*Palm Oil Mill Effluent*) serta limbah padat berupa sabut, cangkang, janjangan kosong, dan solid basah (*wet decanter solid*) (Pahan, 2007).

Tingginya timbulan limbah cair industri kelapa sawit yang dikenal dengan *Palm Oil Mill Effluent* (POME) menimbulkan gangguan lingkungan. POME mengandung bahan organik dengan konsentrasi COD tinggi, yaitu 50.000-200.000 ppm (Abdullah, 2011). Pengolahan POME pada saat ini masih dilakukan secara konvensional, yaitu dengan bantuan bakteri anaerobik untuk memproduksi metana menggunakan kolam ukuran besar. Masalah lain dengan pengolahan konvensional adalah kebutuhan lahan yang meningkat seiring dengan peningkatan volume limbah dan pada akhirnya mempengaruhi faktor ekonomis pengolahan limbah (Ayuwibowo, 2018). Di lain pihak, limbah yang berlimpah jumlahnya ini bisa jadi merupakan bahan baku untuk produksi senyawa yang bernilai ekonomi tinggi. Kandungan asam lemak yang sangat bervariasi dalam POME, sehingga pengelolaan POME menjadi biodiesel dapat menjadi solusi pengolahan limbah ini dan membantu pengembangan energi terbarukan yang tidak mengganggu ketersediaan bahan pangan.

## **1.2. Sejarah dan Perkembangan Biodiesel**

Penggunaan biodiesel telah ada sejak tahun 1853 sebelum mesin diesel pertama kali ditemukan. Mesin diesel telah ditemukan pertama kali oleh Dr. Rudolf Christian Karl Diesel pada 10 Agustus 1893. Mesin tersebut hanya bekerja dengan menggunakan minyak yang berasal dari kacang tanah. Pada saat itu, produksi minyak bumi atau petroleum sangat melimpah dan murah sehingga minyak nabati dalam bahan bakar tidak digunakan secara signifikan. Rudolf Diesel pada tahun 1912 meyakini bahwa penggunaan biodiesel akan sama pentingnya dengan minyak bumi dimasa depan. Pabrik biodiesel pertama dibangun pada bulan November 1987 dan pabrik berskala industri pertama dibangun pada tahun 1989.

Selama bertahun-tahun, proses biodiesel telah banyak dikembangkan. Tahun 1977, ilmuwan Brasil, Expedito Parente, menemukan proses industri pertama untuk produksi dari biodiesel. Selanjutnya, Dr. Rudolf Christian Karl Diesel melakukan pengujian mesin diesel dengan menggunakan minyak kacang sehingga salah satu *prototype* mesin terbarunya dipublikasikan di Paris pada tahun

1990. Pada tahun 2010, perusahaan Expedito Parente, Tecbio, bekerja sama dengan NASA dan Boeing untuk membuat campuran biodiesel dan minyak tanah (*biokerosene*). Saat ini, bahan bakar biodiesel telah banyak digunakan secara komersial di berbagai Negara seperti Perancis, Jerman, Austria, Italia, Slovakia, Amerika, dan Republik Ceko. Hampir berbagai Negara di dunia mempunyai efektivitas terhadap produksi dan pemanfaatan biodiesel.

Penelitian awal Rudolph diesel menggunakan minyak nabati dengan harapan minyak nabati murni dapat digunakan untuk mesin diesel pertanian di daerah terpencil di dunia, tempat bahan bakar fosil belum tersedia pada waktu itu. Biodiesel modern dibuat dengan mengkonversikan minyak nabati menjadi asam lemak metil ester yang berakar dari penemuan di Belgia tahun 1930 meskipun industri biodiesel di Eropa baru didirikan di akhir 1980.

### **1.3. Bahan Baku Biodiesel**

Biodiesel banyak digunakan sebagai bahan bakar alternatif pengganti solar. Bahan baku biodiesel telah dikembangkan berdasarkan sumber daya alam yang ada di suatu negara, misalnya minyak kedelai di Amerika Serikat, minyak sawit di Malaysia, minyak kanola di Jerman, dan minyak kelapa di Filipina. Bahan baku biodiesel dapat berasal dari lemak atau minyak nabati. Lemak berasal dari lemak sapi, babi, lemak susu sapi, dan lain-lain. Minyak nabati dapat berasal dari tumbuh-tumbuhan, yaitu kelapa sawit, jarak pagar, jarak, kelapa, nyamplung, kapok, bidaro, dan lain-lain.

#### **1.3.1. Minyak Kelapa**

Biodiesel dapat dibuat dari berbagai biomassa yang mengandung minyak. Kelapa adalah salah satu biomassa yang potensial untuk dikembangkan menjadi bahan baku biodiesel, karena minyak yang terkandungnya cukup banyak yaitu 30-35% dari berat buah kelapa basah (Dwiyuni, 2006). Selain itu, penyebaran buah kelapa di Indonesia yang luas sehingga mudah didapat. Indonesia menghasilkan 3,25 juta ton buah kelapa pada tahun 2009 dan merupakan negara penghasil kelapa terbesar di dunia, yaitu 31,15% terhadap total produksi kelapa dunia (Kementerian Pertanian, 2010).

Minyak kelapa dapat digunakan sebagai bahan baku biodiesel melalui reaksi transesterifikasi trigliserida dan atau reaksi esterifikasi asam lemak bebas tergantung dari kualitas minyak nabati yang digunakan sebagai bahan baku. Minyak kelapa dalam Bahasa latin disebut *Cocos nucifera, L.* Kandungan minyak kelapa pada daging kelapa (kernel) mencapai 34% (Shahidi, 2005). Produktivitas minyak kelapa dalam satu tahun adalah 2260 Kg/ha (Soerawidjaya, 2005), selain itu minyak kelapa juga memiliki kandungan ester sangat tinggi dibandingkan minyak diesel itu sendiri, memiliki sifat pembakaran yang baik, dan ramah lingkungan (Ma, 1999).

### **1.3.2. Mikroalga**

Mikroalga dalam beberapa tahun terakhir, telah banyak menarik perhatian sebagai sumber produksi biofuel, seperti metana, biodiesel, dan biohidrogen. Mikroalga merupakan mikroorganisme fotosintesis penghasil minyak yang berpotensi untuk dikembangkan sebagai salah satu alternatif bahan baku pembuatan biodiesel (Chisti, 2007). Semua jenis mikroalga memiliki komposisi kimia sel yang terdiri dari protein, karbohidrat, lemak, dan asam nukleat, dengan persentase yang bervariasi tergantung jenis alga. Kandungan minyak dalam alga bervariasi tergantung jenis alganya namun secara keseluruhan antara 20-50% (Huang dkk, 2010). Adapun contoh dari spesies mikroalga yang cukup dikenal sebagai bahan baku pembuatan biodiesel yaitu *Botryococcus braunii* (Amini, 2010), *Isochrysis zhangjiangensi* (Feng dkk, 2011), *Haematococcus pluvialis* (Damiani dkk, 2010), *Scenedesmus rubescens* (Lin dkk, 2011), dan *Chlorella Sp* (Widyastuti, 2015).

Pengembangan mikroalga sebagai sumber biodiesel saat ini masih mengalami kendala, diantaranya biaya produksi yang masih mahal, terutama penyediaan bahan baku (media kultur yang mahal), dan proses ekstraksi lipid yang masih belum efektif (Patmawati, 2014). Proses pengambilan minyak dari mikroalga cukup sulit dan mahal, terdapat beberapa metode yang digunakan untuk mengambil minyak alga diantaranya *hexane solvent oil extraction*, *osmotic shock*,



dan *ultrasonic extraction* (Halim dkk, 2012). Namun tidak semua metode tersebut menghasilkan rendeman minyak yang cukup besar (Widyastuti, 2015).

### **1.3.3. Lemak Hewan**

Lemak dan minyak adalah senyawa organik yang tidak larut dalam air, tetapi larut dalam pelarut organik non-polar, misalnya dietil eter ( $C_2H_5OC_2H_5$ ), kloroform ( $CHCl_3$ ), benzene, dan hidrokarbon lainnya. Lemak dan minyak dapat larut karena polaritasnya sama dengan pelarut tersebut. Lemak dan minyak merupakan senyawa trigliserida atau triasgliserol yaitu triester dari gliserol. Lemak dan minyak juga merupakan senyawa ester.

Hasil hidrolisis lemak dan minyak adalah asam karboksilat dan gliserol. Lemak dalam jaringan hewan dominan terdapat dalam jaringan adipose dan tulang sumsum. Otot, jaringan syaraf, dan kelenjar mengandung lemak dalam jumlah relatif kecil, tetapi lebih banyak mengandung lipid kompleks dan sterol (Ketaren, 1986). Lemak pada sapi cenderung lebih banyak disimpan pada ginjal dan bagian rongga pelvis. Banyaknya lemak ini bervariasi antara spesies dan merupakan faktor penting dalam menentukan nilai karkas. Persentase lemak sapi akan bertambah selama terjadi pertumbuhan. Perlemakan yang berlebihan akan menurunkan proporsi daging yang dihasilkan. Lemak sapi merupakan salah satu bahan sisa dari rumah pemotongan hewan yang tujuan utamanya adalah industri sabun. Namun, ketika pasar kelebihan beban, lemak biasanya dibakar atau dibuang di tanah sehingga mencemari lingkungan.

### **1.3.4. Kelapa Sawit**

Selama 20 tahun terakhir, kelapa sawit (*Elaeis quinensis Jacq*) menjadi komoditas andalan ekspor dan komoditas di Indonesia. Luas area perkebunan kelapa sawit di Indonesia dari tahun ke tahun mengalami peningkatan yang cukup berarti. Tahun 2004 luasnya 5.601.770 ha meningkat menjadi 6,3 juta ha pada bulan oktober 2007 (Sugiyono, 2008).

Awalnya, industri pengolahan kelapa sawit menghasilkan minyak mentah atau CPO (*crude palm oil*) untuk diekspor. Beberapa tahun terakhir banyak bermunculan pabrik pengolahan minyak mentah maupun industri kimia yang

menggunakan bahan baku yang berasal dari minyak kelapa sawit. Dalam rangka memacu industri kelapa sawit nasional, sejak tahun 1992 PPKS (Pusat Penelitian Kelapa Sawit) mengembangkan Biodiesel Minyak Sawit (BMS). Biodiesel minyak sawit merupakan biodiesel yang dibuat dengan proses esterifikasi atau transesterifikasi, dan alkohol rantai pendek.

Tanaman sawit banyak dihasilkan di Indonesia dan Malaysia. CPO merupakan bahan yang potensial untuk dijadikan biodiesel meskipun di Indonesia lahan tanaman sawit masih diperuntukkan untuk industri minyak goreng dan sabun. Lahan tanaman sawit di Indonesia terus mengalami peningkatan. Dari tahun 2000 sampai 2004 lahan sawit mengalami peningkatan sampai dengan 10% per tahun dengan peningkatan hasil CPO 12% per tahun, luas area lahan sawit meningkat dari 3,77 juta hektar menjadi 5,45 juta hektar. Sementara intensitas produksi CPO meningkat dari 2,01 ton per hektar menjadi 2,16 ton per hektar (Sugiyono, 2008).

### 1.3.5. Palm Fatty Acid Distillate (PFAD)

*Palm Fatty Acid Distillate* (PFAD) merupakan suatu produk samping yang dihasilkan dari proses pemurnian minyak goreng yang banyak mengandung asam lemak bebas. Adapun proses tahapan pemurnian yang dilakukan adalah proses *degumming*, netralisasi, *bleaching*, dan proses deodorasi. Dalam proses pembuatan minyak kelapa sawit, secara keseluruhan akan menghasilkan 73% olein, 21% stearin, 5-6% PFAD dan 0,5-1% CPO parit (Chongkong, 2007). Komposisi asam lemak di dalam PFAD di tunjukan pada tabel 1.1.

**Tabel 1.1.** Komposisi Asam lemak di dalam PFAD

Asam Lemak	Rumus Molekul	Komposisi (%) berat	Jenis Asam lemak
Asam Miristat	C <sub>14</sub> H <sub>28</sub> O <sub>2</sub>	0,9 - 1,5	Jenuh
Asam Palmitat	C <sub>16</sub> H <sub>32</sub> O <sub>2</sub>	42,9 - 51,0	Jenuh
Asam Stearat	C <sub>18</sub> H <sub>36</sub> O <sub>2</sub>	4,1- 4,9	Jenuh
Asam Oleat	C <sub>18</sub> H <sub>38</sub> O <sub>2</sub>	32,8 - 39,8	Tak Jenuh
Asam Linoleat	C <sub>18</sub> H <sub>32</sub> O <sub>2</sub>	8,6 - 11,3	Tak Jenuh

(Sumber : Hambali, 2007)

Asam lemak yang terkandung di dalam PFAD berupa asam lemak jenuh dan tak jenuh. Secara umum, asam lemak jenuh akan berwujud padat pada suhu kamar, sedangkan asam lemak tak jenuh dalam wujud cair. Selain itu, di dalam PFAD juga terdapat komponen lain selain asam lemak (85%) yaitu gliserol (14%). Kandungan di dalam PFAD dapat digunakan sebagai salah satu bahan baku untuk pembuatan alternatif karena PFAD tidak seperti CPO yang digunakan untuk pembuatan produk rumah tangga lainnya sehingga PFAD belum banyak pemanfaatannya (Prihandana, 2006).

### **1.3.6. Palm Oil Mill Effluent (POME)**

Tingginya timbulan limbah cair industri kelapa sawit yang dikenal dengan *Palm Oil Mill Effluent* (POME) menimbulkan gangguan lingkungan. POME mengandung bahan organik dengan konsentrasi COD tinggi, yaitu 50.000 - 200.000 ppm (Abdullah, 2011). Pengolahan POME pada saat ini masih dilakukan secara konvensional, yaitu dengan bantuan bakteri anaerobik untuk memproduksi metana menggunakan kolam ukuran besar. Masalah lain dengan pengolahan konvensional adalah kebutuhan lahan yang meningkat seiring dengan peningkatan volume limbah dan pada akhirnya mempengaruhi faktor ekonomis pengolahan limbah (Ayuwibowo, 2018).

Manajemen *palm oil mill* telah menyediakan beberapa *waste storage ponds* atau disebut dengan *ponds*. Jumlah *ponds* yang disediakan tergantung pada jumlah limbah liquid yang ada. Semakin lama suatu pabrik beroperasi, jumlah *ponds* yang harus disediakan akan semakin banyak. Di lain pihak, limbah yang berlimpah jumlahnya ini merupakan bahan baku untuk produksi senyawa yang bernilai ekonomi tinggi. Kandungan asam lemak yang sangat bervariasi dalam POME, sehingga pengelolaan POME menjadi biodiesel dapat menjadi solusi pengolahan limbah ini dan membantu pengembangan energi terbarukan yang tidak mengganggu ketersediaan bahan pangan. Biasanya pada pabrik kelapa sawit terdapat teknik pengolahan limbah cair yang disebut dengan *ponding system* yang terdiri dari, kolam pengumpul (*fat pit*), *deoiling ponds*, kolam pengasaman, kolam anaerobik primer, kolam anaerobik sekunder, dan kolam pengendapan.

Kolam pengumpul (*fat pit*) merupakan kolam yang berfungsi untuk menampung cairan-cairan yang masih mengandung minyak yang berasal dari air

kondensat dan proses pemurnian. Kemudian dilanjutkan ke unit *deoiling ponds* untuk diambil kembali minyaknya dan diturunkan suhunya dari 70-80°C menjadi 40-45°C melalui menara atau bak pendingin. Kemudian dilanjutkan pada kolam pengasaman yang menggunakan mikroba untuk menetralkan keasaman cairan limbah. Pengasaman bertujuan agar limbah cair yang mengandung bahan organik lebih mudah mengalami biodegradasi dalam suasana anaerobik. Proses selanjutnya terjadi pada kolam anaerobik primer, pada proses ini memanfaatkan mikroba dalam suasana anaerobik dan aerobik untuk merombak BOD dan biodegradasi bahan organik menjadi senyawa asam dan gas, proses pada kolam ini mencapai 40 hari, lalu dilanjutkan pada kolam anaerobik sekunder dengan waktu 20 hari, dan dilanjutkan pada kolam pengendapan yang bertujuan untuk mengendapkan lumpur-lumpur yang terdapat dalam limbah cair (Leela, 2018).

Pada rencana pabrik pembuatan biodiesel ini menggunakan limbah POME yang berasal dari *deoiling ponds* dikarenakan kandungan asam yang terdapat pada limbah tersebut masih tinggi, selain itu hal ini membantu dalam mengurangi beban pengolahan limbah pada tahap berikutnya, dan dari paten yang digunakan pada rencana pendirian pabrik ini dianjurkan POME tersebut mengandung 0,4-99,9% trigliserida.

#### **1.4. Macam-Macam Proses Pembuatan Biodiesel**

Bahan baku biodiesel umumnya memiliki viskositas dan densitas yang tinggi. Melalui reaksi metanolisis ataupun etanolisis bahan baku biodiesel baik minyak nabati maupun lemak hewani diubah menjadi biodiesel yang memiliki karakteristik menyerupai solar. Ada bermacam-macam proses pembuatan biodiesel yang banyak dikembangkan dan terus mengalami inovasi.

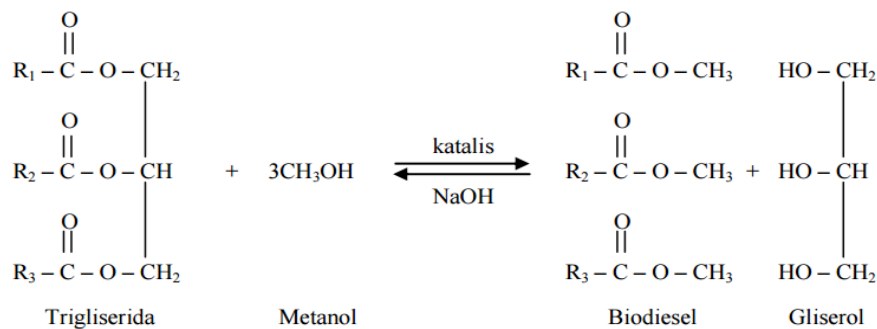
##### **1.4.1. Transesterifikasi dan Esterifikasi**

Transesterifikasi merupakan reaksi antara minyak nabati dan atau lemak hewani dengan alkohol membentuk metil ester dan gliserol. Katalis biasanya digunakan untuk meningkatkan laju reaksi dan *yield* reaksi. Reaksi transesterifikasi bersifat *reversible* sehingga digunakan metanol berlebih untuk mendorong kesetimbangan reaksi bergeser ke produk. Alkohol yang digunakan biasanya menggunakan metanol karena harga yang ekonomis dan sifat fisika dan



kimianya menguntungkan (polar dan terdiri dari rantai pendek). Sementara katalis yang paling umum digunakan adalah kalium hidroksida dan natrium hidroksida.

Reaksi transesterifikasi mengubah minyak nabati dari viskositas tinggi menjadi rendah yang lebih sesuai digunakan sebagai bahan bakar atau menyerupai solar. Berdasarkan stoikiometri reaksi, dibutuhkan metanol berlebih untuk mereaksikan trigliserida dengan metanol. Hal ini disebabkan 1 mol trigliserida bereaksi dengan 3 mol metanol untuk menghasilkan 3 mol metil ester atau biodiesel dan 1 mol gliserol. Biodiesel dan gliserol akan membentuk dua lapisan dimana gliserol berada di lapisan bawah karena densitasnya yang lebih besar daripada biodiesel.

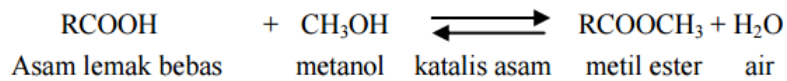


**Gambar 1.1.** Reaksi Transesterifikasi

(Sumber: Utami, 2011)

Reaksi esterifikasi merupakan reaksi antara minyak nabati dan alkohol dengan bantuan katalis asam menghasilkan metil ester dan air. Reaksi esterifikasi diperuntukkan pada minyak nabati dan atau lemak hewani dengan kandungan asam lemak bebas yang tinggi sehingga dapat menyebabkan reaksi penyabunan pada reaksi transesterifikasi dalam produksi biodiesel.

Bahan baku dengan kadar asam lemak bebas yang tinggi perlu melalui reaksi esterifikasi sebelum melalui tahap reaksi transesterifikasi pada metode konvensional. Sama halnya dengan reaksi transesterifikasi, alkohol yang umum digunakan adalah metanol. Sementara katalis yang biasanya digunakan adalah asam sulfat dan asam klorida.



**Gambar 1.2.** Reaksi Esterifikasi

(Sumber: Utami, 2011)

#### 1.4.2. Metode Pirolisis

Metode pirolisis adalah proses dekomposisi termal dari minyak nabati dengan atau tidak menggunakan katalis untuk memutuskan rantai hidrokarbon. Pemutusan rantai minyak nabati secara katalik menggunakan katalis yang biasa digunakan pada pemutusan rantai minyak bumi, yaitu  $\text{SiO}_2$  atau  $\text{Al}_2\text{O}_3$  pada temperatur  $450^\circ\text{C}$ . Produk tersebut difraksinasi menghasilkan biodiesel dan *biogasoline*.

Pirolisis merupakan proses dekomposisi termal minyak nabati dengan bantuan katalis menggunakan pemanasan tanpa melibatkan oksigen. Tujuan metode ini adalah untuk memutus rantai ikatan karbon pada minyak nabati untuk menurunkan viskositas minyak. Metode ini di uji cobakan pada minyak kelapa dan kelapa sawit menggunakan katalis garam logam yaitu  $\text{SiO}_2$  atau  $\text{Al}_2\text{O}_3$  pada temperatur  $450^\circ\text{C}$ . Hasilnya minyak nabati memiliki kemiripan struktur dengan bahan bakar fosil seperti *gasoline* dan minyak diesel namun harga peralatan yang dibutuhkan sangat mahal karena proses tidak melibatkan oksigen (Ma,1999).

Pemutusan rantai katalik mempengaruhi temperatur selektivitas produk. Semakin tinggi temperatur, maka fraksi ringan yang dihasilkan semakin banyak. Keuntungan produk biodiesel dengan metode ini mirip struktur bahan bakar diesel pada minyak bumi, tetapi kelemahan metode ini adalah pada prosesnya tidak boleh terdapat oksigen, sehingga bahan bakar yang dihasilkan tidak teroksidasi dan peralatan yang digunakan pada metode ini relatif mahal.

#### 1.4.3. Mikroemulsi

Metode mikroemulsi digunakan untuk mengatasi masalah viskositas minyak nabati yang terlampaui tinggi. Mikroemulsi menggunakan pelarut seperti metanol, etanol, dan 1-butanol. Mikroemulsi didefinisikan sebagai dispersi kesetimbangan koloid cairan optikisotropik dengan ukuran 1-150 nanometer yang

terbentuk secara spontan. Namun biodiesel yang dihasilkan memiliki *cetane number* yang rendah dengan kandungan energi yang rendah (Ma, 1999).

#### **1.4.4. Metode Pembuatan Biodiesel Dengan *Microwave***

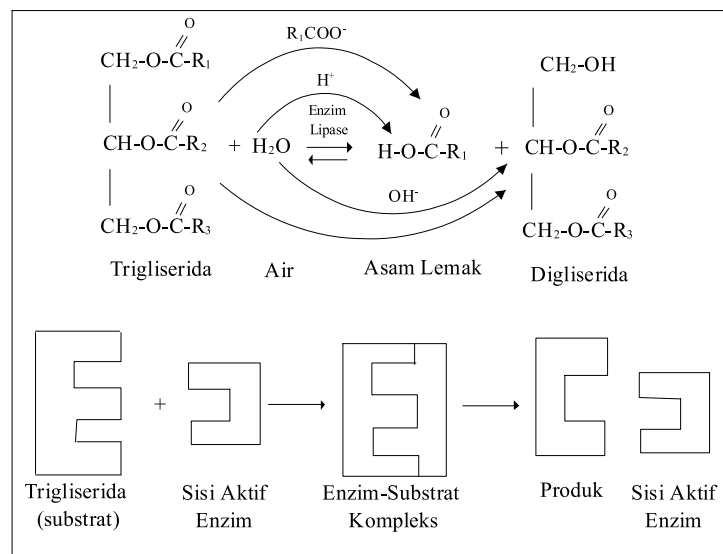
Teknologi pembuatan dengan bantuan gelombang mikro pada *microwave* ditujukan untuk mengatasi permasalahan pembuatan biodiesel secara konvensional. Pemanasan menggunakan *microwave* dinilai lebih baik daripada pemanasan secara konvensional. Pemanasan secara konvensional bergantung pada konduktivitas bahan, panas spesifik, dan densitas bahan. Selain itu pemanasan secara konvensional juga dinilai tidak merata meskipun dengan bantuan pengadukan serta boros energi karena membutuhkan waktu reaksi berjam-jam. Pemanasan menggunakan *microwave* menggunakan medan elektromagnetik yang menciptakan tumbukan antar molekul yang menimbulkan panas reaksi yang ditempatkan pada media reaksi sehingga pemanasan berlangsung sangat cepat (Buchori, 2015).

Penggunaan metode pemanasan dengan *microwave* dapat menghasilkan biodiesel dalam waktu yang sangat singkat dengan persentase *yield* yang tinggi, dan sedikit menghasilkan produk samping. Meskipun demikian, pembuatan biodiesel memiliki kekurangan karena sulit dikembangkan untuk diterapkan pada industri, faktor keamanan yang belum terjamin, dan *maintenance* pada reaktor di dalam *microwave*.

#### **1.4.5. Produksi Biodiesel Dengan Katalis Biologis**

Pengembangan katalis biologis dilakukan untuk mengurangi konsumsi energi proses dan menghilangkan terikutnya senyawa-senyawa pengotor dalam biodiesel kasar, seperti gliserol, air, katalis alkalin, dan sabun yang timbul pada proses transesterifikasi dengan menggunakan katalis kimiawi. Ada beberapa macam katalis biologis yang sedang dikembangkan oleh peneliti dari berbagai perguruan tinggi dan lembaga penelitian, yaitu *Candida antarctica B*, *Rizhomucor miehei*, dan *Pseudomonas cepacia*. Penggunaan katalis biologis memiliki kelemahan dibandingkan dengan katalis kimiawi sehubungan dengan harganya yang masih mahal (Susanty, 2013).

Menggunakan katalis biologis memiliki mekanisme reaksi tersendiri di bandingkan dengan menggunakan katalis kimiawi. Pada pembuatan biodiesel ini katalis yang digunakan ada enzim lipase, Mekanisme reaksi dengan menggunakan enzim akan menggunakan prinsip *Log and Key*. Penggunaan enzim terjadi didalam reaktor 1 dimana sisi aktif enzim akan menempel dengan substratnya berupa trigliserida dengan media air. Setelah menempel akan membentuk enzim substrat-kompleks, kemudian ikatan tersebut akan terlepas kembali dan membentuk produk berupa digliserida dan asam lemak. Pembentukan produk tersebut akan diikuti dengan terlepas kembali sisi aktif enzim dari substrat karena sisi substrat sudah tidak sama lagi dengan sisi sebelum bereaksi dengan sisi aktif enzim tersebut. Hal ini akan terulang kembali sampai tiga rantai asam lemak pada trigliserida berubah menjadi gliserol dengan pelepasan tiga asam lemak.



**Gambar 1.3.** Mekanisme *log and key* sisi aktif enzim dan substrat

(Sumber : Susanti, 2017)

#### 1.4.6. Produksi Biodiesel Tanpa Katalis

Beberapa penelitian telah mengembangkan teknologi membuat biodiesel tanpa menggunakan katalis. Dalam metode ini, proses transesterifikasi minyak dilakukan pada suhu dan tekanan yang tinggi, yaitu sekitar 350°C dan tekanan 43 Mpa. Proses ini sering disebut sebagai proses transesterifikasi dengan kondisi

superkritik metanol. Rasio mol antara minyak dan alkohol yang digunakan hingga mencapai 1:42.

Proses superkritik metanol memiliki beberapa kelebihan, yaitu tidak dipengaruhi oleh kondisi bahan. Hal itu terjadi karena asam lemak bebas yang terkandung dalam bahan akan teresterifikasi menjadi metil ester secara simultan, tingkat konversi minyak yang terjadi menjadi metil ester tinggi, waktu proses yang lebih singkat, dan tidak dipengaruhi oleh keberadaan air.

Keberadaan air sebanyak 50% tidak mempengaruhi rendemen metil ester yang terbentuk. Dalam proses ini tidak ada sabun yang terbentuk sehingga mengurangi biaya pengolahan limbah. Namun, metode ini memiliki kelemahan yaitu perlunya *safety treatment*, karena dalam prosesnya melibatkan suhu dan tekanan tinggi (Wahyudin, 2018).

#### **1.4.7. Metode Ultrasonik**

Metode ultrasonik merupakan metode pembuatan biodiesel dalam reaktor dengan bantuan gelombang suara dengan frekuensi antara 20-100 MHz yang dapat memberikan energi mekanik dan energi aktivasi pada proses reaksi. Nilai tersebut jauh di atas ambang batas frekuensi suara yang dapat didengar oleh manusia yang hanya 16-18 kHz. Metode ultrasonik menghasilkan biodiesel dengan waktu yang lebih singkat daripada metode konvensional dan perbandingan molar antara bahan baku dan metanol lebih rendah. Akan tetapi, keberadaan katalis cenderung menyebabkan reaksi penyabunan dan tertinggal pada biodiesel dan gliserol sehingga menyebabkan kenaikan biaya pada proses pemurnian (Buchori, 2015).

#### **1.5. Standar Mutu Biodiesel**

Terdapat beberapa standar di dunia yang mengatur kualitas biodiesel misalnya ASTM (*American Society for Testing Material*), EN (*European Commite for Standadization*), dan SNI (Standar Nasional Indonesia). Persyaratan mutu biodiesel di Indonesia untuk Biodiesel dikeluarkan oleh BSN dengan nomor SNI 7182:2015 yang sudah merevisi SNI 04-7182-2006. Berikut syarat mutu biodiesel.

**Tabel 1.2.** Persyaratan kualitas biodisel menurut SNI 7182:2015

No.	Parameter Uji	Satuan, min/maks	Syarat	Metode Uji
1	Massa jenis pada 40°C	kg/m <sup>3</sup>	850 -890	ASTM D 1298 atau ASTM D 4052
2	Viskositas Kinematik pada	mm <sup>2</sup> /s (cSt)	2,3 - 6,0	ASTM D 445
3	Angka setana	Min	51	ASTM D 613 atau ASTM D 6890
4	Titik nyala (mangkok tertutup)	°C, min	100	ASTM D 93
5	Titik kabut	°C, maks	18	ASTM D 2500
6	Korosi lempeng tembaga (3 jam pada 50°C)		nomor 1	ASTM D 130
7	Residu karbon dalam per sampel asli dalam 10% ampas distilasi	%-massa, maks	0,05 0,3	ASTM D 4530 atau ASTM D 189
8	Air dan sedimen	%-vol, maks	0,05	ASTM D 2709
9	Temperatur distilasi 90%	oC, maks	360	ASTM D 1160
10	Abu tersulfatkan	%-massa, maks	0,02	ASTM D 874
11	Belerang	mg/kg, maks	100	ASTM D 5453 atau ASTM D 1266 atau
12	Fosfor	mg/kg, maks	10	AOCS Ca 12-55
13	Angka asam	mg-KOH/g,	0,6	AOCS Cd 3d-63 atau ASTM D 664
14	Gliserol Bebas	%-massa, maks	0,02	AOCS Ca 14-56 atau ASTM D 6584
15	Gliserol total	%-massa, maks	0,24	AOCS Ca 14-56 atau ASTM D 6584
16	Kadar ester metil	%-massa, min	96,5	
17	Angka iodium	%-massa(g-	115	AOCS Cd 1-25
18	Kestabilan Oksidasi -Periode induksi metode rancimat -Periode Induksi	Menit	360	EN 15751
			27	ASTM D 7545

(Sumber : SNI 7182:2015 (BSN, 2015))



## 1.6. Sifat Fisika dan Kimia

### 1.6.1. Palm Mill Oil Effluent (POME)

Wujud (30°C)	: Slurry
Titik Leleh	: 36°C
Densitas	: 0,85-0,88 g/ml
Kelarutan	: Tidak Larut dalam air
Warna	: Kekuning-kuningan
Temperatur Limbah	: 40-45°C

### 1.6.2. Gliserol

Rumus Molekul	: $C_3H_5(OH)_3$
Berat molekul	: 92 g/mol
Wujud	: Cair
Titik beku	: 291,33 K
Titik didih	: 563,15 K (290°C)
Titik leleh	: 17,9 °C
Temperatur kritis	: 723 K
Tekanan kritis	: 40 bar
Viskositas	: 749,33 Cp pada 25°C
Kelarutan	: larut dalam air

### 1.6.3. Metanol

Rumus Molekul	: $CH_3OH$
Berat Molekul	: 32 g/mol
Wujud	: Cair
Titik beku	: 175,4 K
Titik didih	: 337,85 K (64,7°C)
Titik leleh	: -97 – 8°C
Temperatur kritis	: 512,58 K
Tekanan kritis	: 39,5 bar
Viscositas	: 0,539 cp pada 25°C
Kelarutan	: larut dalam air

#### 1.6.4. Metil Asetat

Rumus molekul	: $\text{CH}_3\text{COOCH}_3$
Berat molekul	: 74 g/mol
Wujud	: Cair
Titik beku	: 175,15 K
Titik didih	: 330,09 K (57,1°C)
Titik leleh	: -98,7°C
Temperatur kritis	: 506,8 K
Tekanan kritis	: 46,9 bar
Viskositas	: 0,353 Cp pada 25°C

#### 1.6.5. Natrium Hidroksida

Rumus molekul	: NaOH
Berat molekul	: 40 g/mol
Wujud	: Padat
Titik beku	: 596 K
Titik didih	: 1663,15 K (1390°C)
Titik leleh	: 318,4°C
Temperatur kritis	: 2820 K
Tekanan kritis	: 253,31 bar

#### 1.6.6. Asam Asetat

Rumus Molekul	: $\text{CH}_3\text{COOH}$
Berat Molekul	: 60 g/mol
Wujud	: Cair
Titik beku	: 289,81 K
Titik didih	: 391,05 K (118,1°C)
Titik leleh	: 16,7°C
Temperatur kritis	: 592,71 K
Tekanan kritis	: 57,86 bar
Viscositas	: 1,132 Cp pada 25°C

#### 1.6.7. Enzime Lipase

Rumus Molekul	: $\text{C}_{11}\text{H}_9\text{N}_3\text{NaO}_2^+$
---------------	---

Berat molekul : 238,197 g/mol  
Wujud : Cair  
Densitas : 1,05-1,1 g/ml  
Warna : Kuning kecoklatan  
Solubilitas : 2 mg/ml

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, R. 2011. World Palm Oil Supply, Demand, Price and Prospects: Focus on Malaysian dan Indonesian Palm Oil Industries. *Oil Palm Industry Economic Journal*. 11(2): 13-25.
- Ayuwibowo, I. S., dkk. 2018. Potensi Asam Lemak Omega-3 dari *Palm Oil Mill Effluent* (POME) Melalui Proses Anaerobik dengan Mikroaerasi. *Jurnal Konversi*. 7(2): 25-30.
- Badan Pusat Statistik., 2014. *Statistik Kelapa Sawit Indonesia*. Badan Pusat Statistik: Indonesia.
- Badan Standardisasi Nasional. 2015. Karakteristik Kualitas Biodiesel. (Online). <http://sispk.bsn.go.id/SNI/DetailSNI/10147>, diunduh pada tanggal 27 Maret 2019.
- Basumatary, S. 2013. Transesterification with Heterogeneous Catalyst in Production of Biodiesel: A Review. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*. 5(1): 1-7.
- Buchori, L., dkk. 2015. Perkembangan Proses Produksi Biodiesel Sebagai Bahan Bakar Alternatif. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia "Kejuangan" Pengembangan Teknologi Kimia untuk Pengolahan Sumber Daya Alam Indonesia*. UPN Veteran: Yogyakarta.
- Chisti, Y. 2007. Biodiesel from Microalgae. *Biotechnology Advances*. 25(3): 294-306.
- Chongkong, S., dkk. 2007. Biodiesel Production by Esterification of Palm Fatty Acid Distillate. *Biomass and Bioenergy*. 31(8), 563-568.
- Damiani, M. C., dkk. 2010. Lipid Analysis in *Haematococcus pluvialis* to assess its Potential Use as a Biodiesel Feedstock. *Bioresour Technol*. 101(11): 3801-3807.
- Dwiyuni, M. 2006. *Kajian Sifat Fisiko Kimia Ekstraksi Minyak Kelapa Murni (Virgin Coconut Oil, VCO) dengan Metode Pembekuan Krim Santan*. Bogor: Institut Pertanian Bogor.

- Feng, D., dkk. 2011. Increased Lipid Production of the Marine Oleaginous Microalgae *Isochrysis zhangjiangensis* (Chrysophyta) by Nitrogen Supplement. *Bioresour Technol.* 102(12): 6710-6716.
- Halim, R., dkk. 2012. Extraction of Oil from Microalgae for Biodiesel Production: A Review. *Biotechnology Advances.* 30(3): 709-732.
- Hambali, E., dkk. 2007. *Teknologi Bioenergi*. Jakarta: Agromedia.
- Huang, G. H., dkk. 2010. Biodiesel Production by Microalgal Biotechnology. *Applied Energy.* 87(1): 38-46.
- Indriyani, N. P. 2010. *Pemanfaatan Limbah Minyak Tepung Ikan Sardin untuk Pembuatan Biodiesel Terkatalis H-Zeolit dan NaOH*. Universitas Gadjah Mada:Yogyakarta.
- Kementerian Pertanian. 2010. *Outlook Komoditas Pertanian Perkebunan*. Jakarta: Kementerian Pertanian.
- Ketaren, S. 1986. *Pengantar Teknologi Minyak dan Lemak Pangan*. Jakarta: UI-Press.
- Leela, D., dkk. 2018. Performance of Palm Oil Mill Effluent (POME) as Biodiesel Source Based on Different Ponds. *Prosiding The 3rd International Tropical Renewable Energy Conference "Sustainable Development of Tropical Renewable Energy" (i-TREC 2018)*. Darma Persada University: Jakarta.
- Lin, Q., dkk. 2011. Effect of Nitrogen Source and Concentration on Biomass and Oil Production of a *Scenedesmus rubescens* Like Microalga. *Bioresour Technol.* 102(2): 1615-1621.
- Ma, F., dkk. 1999. Biodiesel Production: A Review. *Bioresource Technology.* 70(1): 1-15.
- Pahan, I. 2007. *Panduan Lengkap Kelapa Sawit*. Jakarta: Penebar Swadaya.
- Patmawati., dkk. 2014. Produksi Biodiesel dari Biomassa *Chlamydomonas* sp. ICBB 9113 Dikultivasi Menggunakan Media yang Murah: Efektifitas dari Beberapa Metode Ekstraksi. *Widyariset Pusbindiklat Peneliti LIPI.* 17(2): 269-276.
- Prihandana, R., dkk. 2006. *Menghasilkan Biodiesel Murah*. Jakarta: Agromedia.

- Shahidi, F. 2005. *Bailey's Industrial Oil and Fat Products*. John Wiley & Sons, Inc.
- Soerawidjaya, T. H. 2005. *Studi Kebijakan Penggunaan Biodiesel di Indonesia*. Indonesia: Kementerian Riset dan Teknologi RI-MAKSI.
- Sugiyono, A. 2008. *Peluang Pemanfaatan Biodiesel dari Kelapa Sawit sebagai Bahan Bakar Alternatif Pengganti Minyak Solar di Indonesia*. Prospek Pengemabangan Bio-Fuel Sebagai Substitusi Bahan Bakar Minyak. Jakarta: Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi.
- Susanty, A., dkk. 2013. Produksi Biodiesel dari Crude Palm Oil Menggunakan Katalis Pseudomonas. *Jurnal Riset Industri*. 7(2): 111-118.
- Thanh, L. T., dkk. 2012. Catalytic Technologies for Biodiesel Fuel Production and Utilization of Glycerol: A Review. *Catalysts*. 2: 191-222.
- Utami, A. R. 2011. *Kajian Proses Produksi Biodiesel dari Minyak Biji Bintaro (cerbera odollam G.) dengan Metode Transesterifikasi*. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Wahyudin., dkk. 2018. Tinjauan Perkembangan Proses Katalitik Heterogen dan Non-Katalitik untuk Produksi Biodiesel. *Jurnal Keteknikan Pertanian*. 6(2): 123-130.
- Widyastuti, C. R., dkk. 2015. Sintesis Biodiesel dari Minyak Mikroalga Chlorella Vulgaris dengan Reaksi Transesterifikasi Menggunakan Katalis KOH. *Jurnal Bahan Alam Terbarukan*. 4(1): 29-33.