

SKRIPSI

**PRA RENCANA PABRIK PEMBUATAN BIODIESEL DARI PALM
FATTY ACID DISTILLATE (PFAD) TANPA KATALIS KAPASITAS
80.000 TON/TAHUN**

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



AISYAH NURUL FATMA

NIM 03031381722093

ANITA ZULHADJ DAMAYANTI

NIM 03031381722087

**JURUSAN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

2021

HALAMAN PENGESAHAN

PRA RENCANA PABRIK PEMBUATAN BIODIESEL DARI PALM FATTY
ACID DISTILLATE (PFAD) TANPA KATALIS KAPASITAS 80.000
TON/TAHUN

SKRIPSI

Diajukan untuk melengkapi salah satu syarat
memperoleh gelar Sarjana

Oleh:

Aisyah Nurul Fatma

NIM. 03031381722093

Anita Zulhadj Damayanti

NIM. 03031381722087

Palembang, Juli 2021
Pembimbing,



Dr. Ir. Hj. Susila Arita Rachman, DEA

NIP. 196010111985032002

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Kimia



Dr. Tuti Indah Sari, S.T., M.T.

NIP. 197502012000122001

HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa Skripsi dengan judul “Pra Rencana Pabrik Pembuatan Biodiesel dari *Palm Fatty Acid Distillate* (PFAD) Tanpa Katalis Kapasitas 80.000 Ton Per Tahun” telah dipertahankan oleh Aisyah Nurul Fatma dan Anita Zulhadj Damayanti di hadapan Tim penguji Sidang Tugas Akhir Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada tanggal 23 Juni 2021.

Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah berupa Skripsi

1. Dr. Ir. H. Syaiful, DEA.
NIP. 195810031986031003
2. Selpiana, S.T., M.T.
NIP. 197809192003122001
3. Lia Cundari, S.T., M.T.
NIP. 198412182008122002

()

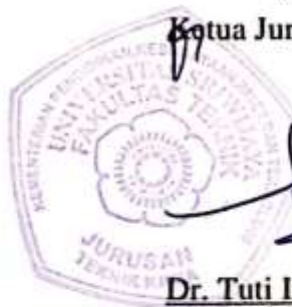
()


()

15 Juli 2021

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Kimia




Dr. Tuti Indah Sari, S.T., M.T.
NIP. 197502012000122001

BERITA ACARA PERBAIKAN LAPORAN

Karya tulis ilmiah berupa Skripsi dengan judul “Pra Rencana Pabrik Pembuatan Biodiesel dari *Palm Fatty Acid Distillate* (PFAD) Tanpa Katalis Kapasitas 80.000 Ton Per Tahun” oleh Aisyah Nurul Fatma dan Anita Zulhadj Damayanti **telah diperbaiki** sesuai arahan/tugas perbaikan dari Dosen Penguji dan Pembimbing.

Palembang, Juli 2021

Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah berupa Skripsi

1. Lia Cundari, S.T., M.T.
NIP. 198412182008122002

()

15 Juli 2021

Mengetahui,
Dosen Pembimbing Tugas Akhir,



Dr. Ir. Hj. Susila Arita Rachman, DEA

NIP. 196010111985032002

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS DAN PLAGIARISME

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Aisyah Nurul Fatma
NIM : 03031381722093
Judul Tugas Akhir : Pra Rencana Pabrik Pembuatan Biodiesel dari *Palm Fatty Acid Distillate* Tanpa Katalis Kapasitas 80.000 Ton/Tahun
Fakultas/Jurusan : Teknik/Teknik Kimia

Menyatakan sesungguhnya bahwa Karya Ilmiah berbentuk Skripsi ini merupakan hasil karya saya dan partner atas nama **Anita Zulhadj Damayanti** didampingi Dosen Pembimbing dan bukan hasil jiplakan/plagiat. Selain itu semua dokumen yang disertakan dalam Karya Ilmiah ini adalah benar dan sesuai dengan kenyataannya. 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, 12 Juli 2021



Aisyah Nurul Fatma
NIM. 03031381722093



HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS DAN PLAGIARISME

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Anita Zulhadj Damayanti
NIM : 03031381722087
Judul Tugas Akhir : Pra Rencana Pabrik Pembuatan Biodiesel dari *Palm Fatty Acid Distillate* Tanpa Katalis Kapasitas 80.000 Ton/Tahun
Fakultas/Jurusan : Teknik/Teknik Kimia

Menyatakan sesungguhnya bahwa Karya Ilmiah berbentuk Skripsi ini merupakan hasil karya saya dan partner atas nama **Aisyah Nurul Fatma** didampingi Dosen Pembimbing dan bukan hasil jiplakan/plagiat. Selain itu semua dokumen yang disertakan dalam Karya Ilmiah ini adalah benar dan sesuai dengan kenyataannya. 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, 12 Juli 2021



Anita Zulhadj Damavanti

NIM. 03031381722087



KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Tuhan Yang Maha Esa sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “Pra Rencana Pabrik Pembuatan Biodiesel dari *Palm Fatty Acid Distillate* (PFAD) Tanpa Katalis Kapasitas 80.000 Ton/Tahun” tepat pada waktunya. 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.

Penyelesaian laporan tugas akhir 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) Dr. Tuti Indah Sari, S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
- 3) Dr. Fitri Hadiah, S.T., M.T., selaku Sekretaris Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
- 4) Dr. Ir. Hj. Susila Arita Rachman, DEA., selaku Dosen pembimbing tugas akhir.
- 5) Seluruh staff administrasi Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
- 6) Sahabat beserta teman-teman yang telah memberikan dukungan dan saran sehingga tugas akhir ini dapat diselesaikan dengan baik.

Penulis berharap tugas akhir ini dapat memberikan gambaran mengenai perancangan pabrik, serta dapat dijadikan sebagai referensi ilmu pengetahuan.

Palembang, Juli 2021

Penulis

ABSTRAK

PRA RENCANA PABRIK PEMBUATAN BIODIESEL DARI PALM FATTY ACID DISTILLATE (PFAD) TANPA KATALIS KAPASITAS 80.000 TON/TAHUN.

Karya tulis ilmiah berupa Skripsi, Juni 2021.

Aisyah Nurul Fatma dan Anita Zulhadj Damayanti; Dibimbing Oleh Dr. Ir. Hj. Susila Arita Rachman, DEA.

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya

xxvii + 415 halaman, 19 tabel, 9 gambar, 4 lampiran

ABSTRAK

Pabrik pembuatan biodiesel dari *palm fatty acid distillate* (PFAD) tanpa katalis dengan kapasitas produksi 80.000 ton/tahun ini direncanakan berdiri pada tahun 2026 di Kecamatan Medang Kampai, Kota Dumai, Provinsi Riau yang diperkirakan memiliki luas area sebesar 4,8 Ha. Proses pembuatan biodiesel ini mengacu pada US Patent No. 0346831 A1 dengan proses reaksi transesterifikasi/esterifikasi bahan baku berupa *palm fatty acid distillate* (PFAD) dengan metanol yang membentuk produk biodiesel. Jenis reaktor yang digunakan adalah *double pipe tubular reactor*. Reaktor beroperasi pada temperatur 285°C dan tekanan 80 atm.

Bentuk perusahaan yang akan digunakan pada pabrik ini adalah Perseroan Terbatas (PT) dengan system organisasi *Line* dan *Staff*, dipimpin oleh seorang Direktur dengan total karyawan 215 pekerja. Berdasarkan hasil analisa ekonomi, pabrik biodiesel ini layak untuk didirikan karena telah memenuhi berbagai macam persyaratan parameter ekonomi, yaitu sebagai berikut:

- *Total Capital Investment* = US \$ 29.622.308,68
- *Selling Price per Year* = US \$ 97.627.722,17
- *Total Production Cost* = US \$ 76.974.460,26
- *Annual Cash Flow* = US \$ 16.746.051,02
- *Pay Out Time* = 1,6076 tahun
- *Rate of Return* = 48,8054 %
- *Discounted Cash Flow* = 56,1751 %
- *Break Even Point* = 34,3841 %
- *Service Life* = 11 tahun

Kata Kunci: Biodiesel, Transesterifikasi/Esterifikasi, *Double Pipe Tubular Reactor*, Perseroan Terbatas.

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
BERITA ACARA PERBAIKAN LAPORAN	iv
HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS DAN PLAGIARISME	v
KATA PENGANTAR	vii
ABSTRAK	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR GAMBAR	xviii
DAFTAR NOTASI	xix
DAFTAR LAMPIRAN	xxvii

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Sejarah dan Perkembangan Biodiesel.....	2
1.3. Bahan Baku Pembuatan Biodiesel.....	3
1.3.1. Minyak Kelapa Sawit (CPO).....	4
1.3.2. Minyak Jelantah.....	5
1.3.3. Minyak Kelapa.....	6
1.3.4. Minyak Jarak Pagar.....	7
1.3.5. Lemak Hewani.....	9
1.3.6. Mikroalga.....	10
1.3.6. <i>Palm Fatty Acid Distillate</i> (PFAD).....	11
1.4. Macam-Macam Proses dan Metode Pembuatan Biodiesel.....	12
1.4.1. Esterifikasi dan Transesterifikasi.....	12
1.4.2. Metode Pirolisis (<i>Thermal Cracking</i>).....	14
1.4.3. Metode <i>Microwave</i>	15
1.4.4. Metode Ultrasonik.....	16
1.4.5. Metode Non-Katalitik.....	16

1.5. Standar Mutu Biodiesel	17
1.6. Sifat Fisika dan Kimia	19
1.6.1. <i>Palm Fatty Acid Distillate</i> (PFAD)	19
1.6.2. Metanol	19
1.6.3. Gliserol.....	19
1.6.4. Air	20
 BAB II PERENCANAAN PABRIK	
2.1. Alasan Pendirian Pabrik	21
2.2. Penentuan Kapasitas	22
2.3. Pemilihan Bahan Baku	23
2.4. Pemilihan Proses.....	23
2.5. Uraian Proses	24
2.5.1. Tahap <i>Pre-treatment</i>	24
2.5.2. Tahap Sintesa	24
2.5.3. Tahap Separasi dan Purifikasi.....	24
2.5.4. Tahap <i>Recycle</i>	25
 BAB III LOKASI DAN LETAK PABRIK	
3.1. Lokasi Pabrik	27
3.1.1. Ketersediaan Bahan Baku	28
3.1.2. Transportasi dan Pemasaran.....	28
3.1.3. Ketersediaan Utilitas	28
3.1.4. Tenaga Kerja	28
3.1.5. Keadaan Iklim	29
3.2. Tata Letak Pabrik.....	29
3.3. Perkiraan Luas Tanah	31
 BAB IV NERACA MASSA DAN NERACA PANAS	
4.1. Neraca Massa.....	32
4.1.1. Neraca Massa Mixing Tank-01 (MT-01).....	32
4.1.2. Neraca Massa Reaktor-01 (R-01).....	32
4.1.3. Neraca Massa Flash Tank-01 (FT-01)	33

4.1.4. Neraca Massa Kolom Distilasi-01 (KD-01).....	33
4.1.5. Neraca Massa Condenser-01 (CD-01)	34
4.1.6. Neraca Massa Accumulator-01 (ACC-01).....	34
4.1.7. Neraca Massa Reboiler-01 (RB-01).....	35
4.1.8. Neraca Massa Decanter-01 (DC-01).....	35
4.1.9. Neraca Massa Evaporator-01 (EV-01).....	36
4.1.10. Neraca Massa Condenser-05 (CD-05)	36
4.1.11. Neraca Massa Kolom Distilasi-02 (KD-02).....	36
4.1.12. Neraca Massa Condenser-02 (CD-02)	37
4.1.13. Neraca Massa Accumulator-02 (ACC-02).....	37
4.1.14. Neraca Massa Reboiler-02 (RB-02).....	38
4.1.15. Neraca Massa Kolom Distilasi-03 (KD-03).....	38
4.1.16. Neraca Massa Condenser-03 (CD-03)	39
4.1.17. Neraca Massa Accumulator-03 (ACC-03).....	39
4.1.18. Neraca Massa Reboiler-03 (RB-03).....	40
4.1.19. Neraca Massa Kolom Distilasi-04 (KD-04).....	40
4.1.20. Neraca Massa Condenser-04 (CD-04)	41
4.1.21. Neraca Massa Accumulator-04 (ACC-04).....	41
4.1.22. Neraca Massa Reboiler-04 (RB-04).....	42
4.2. Neraca Panas.....	43
4.2.1. Neraca Panas Silo Tank-01 (ST-01)	43
4.2.2. Neraca Panas Mixing Tank-01 (MT-01).....	43
4.2.3. Neraca Panas Furnace-01 (F-01).....	43
4.2.4. Neraca Panas Reaktor-01 (R-01)	43
4.2.5. Neraca Panas Chiller-01 (CH-01)	44
4.2.6. Neraca Panas Flash Tank-01 (FT-01)	44
4.2.7. Neraca Panas Cooler-01 (C-01)	44
4.2.8. Neraca Panas Kolom Distilasi-01 (KD-01).....	44
4.2.9. Neraca Panas Condenser-01 (CD-01)	45
4.2.10. Neraca Panas Reboiler-01 (RB-01).....	45
4.2.11. Neraca Panas Cooler-04 (C-04)	45

4.2.12. Neraca Panas Cooler-02 (C-02)	45
4.2.13. Neraca Panas Decanter-01 (DC-01).....	45
4.2.14. Neraca Panas Heater-01 (H-01)	46
4.2.15. Neraca Panas Evaporator-01 (EV-01).....	46
4.2.16. Neraca Panas Condenser-05 (CD-05)	46
4.2.17. Neraca Panas Cooler-06 (C-06)	46
4.2.18. Neraca Panas Cooler-03 (C-03)	47
4.2.19. Neraca Panas Kolom Distilasi-02 (KD-02).....	47
4.2.20. Neraca Panas Condenser-02 (CD-02)	47
4.2.21. Neraca Panas Reboiler-02 (RB-02).....	47
4.2.22. Neraca Panas Cooler-05 (C-05)	48
4.2.23. Neraca Panas Heater-02 (H-02)	48
4.2.24. Neraca Panas Heater-03 (H-03)	48
4.2.25. Neraca Panas Kolom Distilasi-03 (KD-03).....	48
4.2.26. Neraca Panas Condenser-03 (CD-03)	48
4.2.27. Neraca Panas Reboiler-03 (RB-03).....	49
4.2.28. Neraca Panas Heater-04 (H-04)	49
4.2.29. Neraca Panas Heater-05 (H-05)	49
4.2.30. Neraca Panas Kolom Distilasi-04 (KD-04).....	49
4.2.31. Neraca Panas Condenser-04 (CD-04)	49
4.2.32. Neraca Panas Reboiler-04 (RB-04).....	50
4.2.33. Neraca Panas Cooler-07 (C-07)	50
4.2.34. Neraca Panas Cooler-08 (C-08)	50

BAB V UTILITAS

5.1. Unit Pengadaan <i>Steam</i>	51
5.1.1. <i>Steam</i> Pemanas	51
5.1.2. <i>Steam</i> Penggerak Turbin	52
5.1.3. Total Kebutuhan <i>Steam</i>	53
5.2. Unit Pengadaan Air.....	53
5.2.1. Air Pendingin	53
5.2.2. Air Umpan Boiler.....	56

5.2.3. Air Domestik.....	56
5.2.4. Total Kebutuhan Air	58
5.3. Unit Pengadaan Refrigeran.....	58
5.4. Unit Pengadaan Listrik	58
5.4.1. Listrik untuk Peralatan Pabrik.....	58
5.4.2. Listrik untuk Penerangan	59
5.4.3. Total Kebutuhan Listrik	60
5.5. Unit Pengadaan Bahan Bakar	61
5.5.1. Bahan Bakar Boiler	61
5.5.2. Bahan Bakar Keperluan Generator	63
5.5.3. Bahan Bakar <i>Furnace</i>	63
5.5.4. Total Bahan Bakar.....	64

BAB VI SPESIFIKASI PERALATAN

6.1. Silo Tank-01 (ST-01)	65
6.2. Tangki-01 (T-01).....	66
6.3. Tangki-02 (T-02).....	67
6.4. Tangki-03 (T-03).....	68
6.5. Tangki-04 (T-04).....	69
6.6. Pompa-01 (P-01)	70
6.7. Pompa-02 (P-02)	71
6.8. Pompa-03 (P-03)	72
6.9. Pompa-04 (P-04)	73
6.10. Pompa-05 (P-05)	74
6.11. Pompa-06 (P-06)	75
6.12. Pompa-07 (P-07)	76
6.13. Pompa-08 (P-08)	77
6.14. Pompa-09 (P-09)	78
6.15. Pompa-10 (P-10)	79
6.16. Pompa-11 (P-11)	80
6.17. Pompa-12 (P-12)	81
6.18. Pompa-13 (P-13)	82

6.19. Heater-01 (H-01)	83
6.20. Heater-02 (H-02)	84
6.21. Heater-03 (H-03)	85
6.22. Heater-04 (H-04)	86
6.23. Heater-05 (H-05)	87
6.24. Cooler-01 (C-01)	88
6.25. Cooler-05 (C-05)	89
6.26. Cooler-06 (C-06)	90
6.27. Cooler-08 (C-08)	91
6.28. Cooler-02 (C-02)	92
6.29. Cooler-03 (C-03)	93
6.30. Cooler-04 (C-04)	94
6.31. Cooler-07 (C-07)	95
6.32. Chiller-01 (CH-01)	96
6.33. Furnace-01 (F-01)	97
6.34. Mixing Tank-01 (MT-01).....	98
6.35. Flash Tank-01 (FT-01)	99
6.36. Decanter-01 (DC-01).....	100
6.37. Reaktor-01 (R-01)	101
6.38. Accumulator-01 (ACC-01)	102
6.39. Accumulator-02 (ACC-02)	103
6.40. Accumulator-03 (ACC-03)	104
6.41. Accumulator-04 (ACC-04)	105
6.42. Condenser-01 (CD-01).....	106
6.43. Condenser-02 (CD-02)	107
6.44. Condenser-03 (CD-03).....	108
6.45. Condenser-04 (CD-04)	109
6.46. Condenser-05 (CD-05).....	110
6.47. Reboiler-01 (RB-01)	111
6.48. Reboiler-02 (RB-02)	112
6.49. Reboiler-03 (RB-03)	113

6.50. Reboiler-04 (RB-04)	114
6.51. Kolom Distilasi-01 (KD-01)	115
6.52. Kolom Distilasi-02 (KD-02)	116
6.53. Kolom Distilasi-03 (KD-03)	117
6.54. Kolom Distilasi-04 (KD-04)	118
6.55. Evaporator-01 (EV-01)	119

BAB VII ORGANISASI PERUSAHAAN

7.1. Bentuk Perusahaan.....	121
7.2. Struktur Organisasi	121
7.2.1. Organisasi Fungsional.....	121
7.2.2. Organisasi Lini	122
7.2.3. Organisasi Line dan Staff.....	122
7.3. Tugas dan Wewenang.....	123
7.3.1. Dewan Komisaris	123
7.3.2. Direktur	123
7.3.3. Manajer Teknik dan Produksi	123
7.3.4. Manajer Kepegawaian dan Umum.....	124
7.3.5. Manajer Keuangan dan Pemasaran	125
7.4. Sistem Kerja.....	125
7.4.1. Waktu Kerja Karyawan Non-Shift.....	125
7.4.2. Waktu Kerja Karyawan Shift	125
7.5. Penentuan Jumlah Karyawan.....	126
7.5.1. <i>Direct Operating Labor</i>	126
7.5.2. <i>Indirect Operating Labor</i>	127

BAB VIII ANALISA EKONOMI

8.1. Keuntungan (Profitabilitas)	132
8.1.1. Total Penjualan Produk	133
8.1.2. Perhitungan <i>Annual Cash Flow</i> (ACF).....	133
8.2. Lama Waktu Pengembalian Modal	134
8.2.1. Perhitungan Depresiasi	134

8.2.2. Lama Pengangsuran Pengembalian Pinjaman	135
8.2.3. <i>Pay Out Time</i> (POT)	136
8.3. Total Modal Akhir	136
8.3.1. <i>Net Profit Over Total Life of Project</i> (NPOTLP)	137
8.3.2. <i>Total Capital Sink</i>	138
8.4. Laju Pengembalian Modal	139
8.4.1. <i>Rate of Return</i> (ROR).....	139
8.4.2. <i>Discounted Cash Flow Rate of Return</i> (DCF-ROR).....	139
8.5. <i>Break Even Point</i> (BEP)	140

BAB IX KESIMPULAN

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN-LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1. Kandungan Asam Lemak dalam Minyak Kelapa Sawit (CPO)....	5
Tabel 1.2. Kandungan Asam Lemak dalam Minyak Jelantah.....	5
Tabel 1.3. Kandungan Asam Lemak dalam Minyak Kelapa	7
Tabel 1.4. Kandungan Asam Lemak dalam Minyak Jarak Pagar	8
Tabel 1.5. Kandungan Asam Lemak dalam Mikroalga.....	10
Tabel 1.6. Kandungan Asam Lemak dalam PFAD	11
Tabel 1.7. Karakteristik Biodiesel Berdasarkan Variasi Kondisi Metode <i>Microwave</i>	15
Tabel 1.8. Persyaratan Mutu Biodiesel B100 ASTM D6751-15	17
Tabel 2.1. Data Kebutuhan Biodiesel di Indonesia	22
Tabel 5.1. Total Kebutuhan Bahan Penunjang di Unit Utilitas.....	51
Tabel 5.2. Kebutuhan <i>Saturated Steam</i> 350 °C	52
Tabel 5.3. Total Kebutuhan <i>Steam</i>	53
Tabel 5.4. Total Kebutuhan Air Pendingin	53
Tabel 5.5. Total Kebutuhan Air.....	58
Tabel 5.6. Total Kebutuhan Listrik	58
Tabel 7.1. Pembagian Jadwal <i>Shift</i> Kerja Karyawan	126
Tabel 7.2. Jumlah Karyawan.....	128
Tabel 8.1. Rincian Angsuran Pengembalian Pinjaman	136
Tabel 8.2. Kesimpulan Analisa Ekonomi.....	142

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Skema Reaksi Esterifikasi Asam Lemak Bebas	12
Gambar 1.2. Skema Reaksi Transesterifikasi	14
Gambar 2.1. Grafik Data Kebutuhan Biodiesel di Indonesia	22
Gambar 2.2. Diagram Alir Proses Pabrik Pembuatan Biodiesel dari <i>Palm Fatty Acid Distillate</i> (PFAD) Tanpa Katalis Kapasitas Produksi 80.000 Ton/Tahun	26
Gambar 3.1. Rencana Lokasi Pabrik Berdasarkan RTRW Kota Dumai 2005-2025	27
Gambar 3.2. Perencanaan Tata Letak Peralatan	30
Gambar 3.3. Perencanaan Tata Letak Pabrik	30
Gambar 7.1. Struktur Organisasi Perusahaan	130
Gambar 8.1. Grafik <i>Break Even Point</i> Pabrik Biodiesel	141

DAFTAR NOTASI

1) SILO TANK

C	= Faktor korosi, in
D	= Diameter <i>shell</i> , ft
d	= Diameter ujung konis, ft
E	= <i>Welded joint efficiency</i>
F	= <i>Allowance stress</i> , psi
h	= Tinggi silo, ft
G	= Laju Alir Massa, kg/s
g	= Percepatan Gravitasi, m/s^2
P	= Tekanan, atm
T	= Temperatur, K
V _t	= Volume tangki, m^3
W _s	= Laju alir massa, kg/jam
α	= <i>angle of repose</i>
ρ	= Densitas, kg/m^3
θ	= Sudut Silo

2) TANGKI

C	= Tebal korosi yang diizinkan
D	= Diameter tangki, m
E	= Efisiensi penyambungan, dimensionless
He	= Tinggi head, m
Hs	= Tinggi silinder, m
Ht	= Tinggi total tangki, m
P	= Tekanan Desain, atm
S	= Working stress yang diizinkan, Psia
T	= Temperatur Operasi, K
V _h	= Volume ellipsoidal head, m^3
V _s	= Volume silinder, m^3
V _t	= Volume tangki, m^3

W = Laju alir massa, kg/jam

ρ = Densitas, kg/m³

3) POMPA

A = Area alir pipa, in²

BHP = Brake Horse Power, HP

D_{i opt} = Diameter optimum pipa, in

E = Equivalent roughness

f = Faktor friksi

FK = Faktor keamanan

g_c = Percepatan gravitasi, ft/s²

Gpm = Gallon per menit

H_{f suc} = Total friksi pada suction, ft

H_{f dis} = Total friksi pada discharge, ft

H_{fs} = Skin friction loss

H_{fsuc} = Total suction friction loss

H_{fc} = Sudden Contraction Friction Loss (ft lb_m/lb_f)

H_{fe} = Sudden expansion friction loss (ft lb_m/lb_f)

ID = Inside diameter pipa, in

K_C, K_S = Contraction, expansion loss contraction, ft

L = Panjang pipa, ft

L_e = Panjang ekuivalen pipa, ft

NPSH = Net positive suction head (ft)

N_{Re} = Reynold number, dimension less

P_{Vp} = Tekanan uap, Psi

Q_f = Laju alir volumeterik

V_f = Kapasitas pompa, lb/jam

V = Kecepatan alir

ΔP = Beda tekanan, Psi

4) HEAT EXCHANGER (HEATER, COOLER, CHILLER, CONDENSER, DAN REBOILER)

A = Area perpindahan panas, ft²

C	=	Clearance antar tube, in
D	=	Diameter dalam tube, in
D _e	=	Diameter ekivalen, in
f	=	Faktor friksi, ft ² /in ²
G _s	=	Laju alir massa fluida pada shell, lb/jam.ft ²
G _t	=	Laju alir massa fluida pada tube, lb/jam.ft ²
G _a	=	Laju alir massa fluida pada annulus, lb/jam.ft ²
G _p	=	Laju alir massa fluida pada <i>inner pipe</i> , lb/jam.ft ²
g	=	Percepatan gravitasi
h	=	Koefisien perpindahan panas, Btu/jam.ft ² .°F
h _i ,h _{io}	=	Koefisien perpindahan panas fluida bagian dalam dan luar tube serta annulus dan <i>inner pipe</i>
jH	=	Faktor perpindahan panas
k	=	Konduktivitas termal, Btu/jam.ft ² .°F
L	=	Panjang tube, pipa, ft
LMTD	=	Logaritmic Mean Temperature Difference, °F
N _t	=	Jumlah tube
P _T	=	Tube pitch, in
ΔP _r	=	Return drop sheel, Psi
ΔP _s	=	Penurunan tekanan pada shell, Psi
ΔP _t	=	Penurunan tekanan tube, Psi
ΔP _a	=	Penurunan tekanan pada shell, Psi
ΔP _p	=	Penurunan tekanan tube, Psi
ID	=	Inside Diameter, ft
OD	=	Outside Diameter, ft
ΔP _T	=	Penurunan tekanan total pada tube, Psi
Q	=	Beban panas pada heat exchanger, Btu/jam
R _d	=	Dirt factor, Btu/jam.ft ² .°F
R _e	=	Bilangan Reynold, dimensionless
s	=	Specific gravity
T ₁ ,T ₂	=	Temperatur fluida panas inlet, outlet, °F

t_1, t_2	=	Temperatur fluida dingin inlet, outlet, °F
T_c	=	Temperatur rata-rata fluida panas, °F
t_c	=	Temperatur rata-rata fluida dingin, °F
U_c, U_d	=	Clean overall coefficient, design overall coefficient, Btu/jam.ft ² .°F
W_1	=	Laju alir massa fluida panas, lb/jam
W_2	=	Laju alir massa fluida dingin, lb/jam
μ	=	Viscositas, cp

5) FURNACE

A	=	Luas tube, ft ²
A_{cp}	=	Cold plate area, ft ²
A_{cpw}	=	Cold plate area tube wall, ft ²
A_r, a	=	Luas area radian section, luas tube, ft ²
ϵ	=	Emisivitas
F	=	Faktor seksi konveksi
G	=	Mass velocity pada minimum cross section, lb/s.ft ²
L	=	Panjang tube, ft
L_{beam}	=	Mean beam length, ft
N_t	=	Jumlah tube
OD	=	Diameter luar tube, in
Q_n	=	Net heat release, Btu/jam
qL	=	Tube heat loss
q_r	=	Radian duty, Btu/jam
t_f, t_t	=	Temperatur fluida, temperatur dinding, °F
ρ_g	=	Densitas fuel gas, lb/ft ³

6) MIXING TANK

C	=	Korosi yang diizinkan, m
E	=	Effisiensi pengelasan, dimensionless
S	=	Working stress yang diizinkan, psi
D_t	=	Diameter tanki, m
D_i	=	Diameter pengaduk, m

H_i	= Tinggi pengaduk dari dasar tanki
H_1	= Tinggi pengaduk
W	= Lebar daun impeller
L	= Panjang daun impeller
V_s	= Volume silinder, m^3
V_e	= Volume ellipsoidal, m^3
t_h	= Tebal tanki, m
N_t	= Jumlah pengaduk
P	= Densitas liquid
μ	= Viscosity, cP
t_m	= waktu pengadukan, menit

7) FLASH TANK

A	= Vessel Area Minimum, m^2
C	= Korosi maksimum, in
D	= Diameter vessel minimum, m
E	= Joint efisiensi
H_L	= Tinggi liquid, m
H_t	= Tinggi vessel, m
P	= Tekanan desain, psi
Q_v	= Laju alir volumetric massa, m^3/jam
Q_L	= Liquid volumetric flowrate, m^3/jam
S	= Working stress allowable, psi
t	= Tebal dinding tangki, m
U_v	= Kecepatan uap maksimum, m/s
V_t	= Volume Vessel, m^3
V_h	= Volume head, m^3
ρ	= Densitas, kg/m^3
μ	= Viskositas, cP
ρ_g	= Densitas gas, kg/m^3
ρ_L	= Densitas liquid, kg/m^3

8) DECANTER

W_c	= Lajualir light fase, kg/jam
-------	-------------------------------

ρ_c	= Densitas, kg/m ³
W_d	= Laju alir heavy fase, kg/jam
ρ_d	= Densitas, kg/m ³
U_d	= Velocity, m/sec
L_c	= Volumetric flowrate continues phase, m ³ /det
a_i	= Interphase of area, m ²
D_{dec}	= Diameter decanter, m
H	= Tinggi decanter, m
I	= Dispersi Band, m
t_r	= Residence time of droplet, menit
A_p	= Pipa area, m ²
D_p	= Pipe Diameter, m
Z_t	= Light liquid take off, m
Z_i	= Tinggi Interface, m
Z_n	= Heavy liquid take off, m
t	= Tebal dinding, m
C	= Faktor korosi yang diizinkan, m
E	= Joint efisiensi, dimensionless
F	= Faktor friksi
P	= Tekanan desain, atm

9) REAKTOR

C_{A0}	= Konsentrasi umpan FFA, kmol/m ³
C_{B0}	= Konsentrasi umpan metanol reaksi 1, kmol/m ³
C_{E0}	= Konsentrasi umpan trigliserida, kmol/m ³
C_{F0}	= Konsentrasi umpan metanol reaksi 2, kmol/m ³
F_{A0}	= Laju alir molar umpan FFA, kmol/jam
F_{B0}	= Laju alir molar umpan metanol reaksi 1, kmol/jam
F_{E0}	= Laju alir molar umpan trigliserida, kmol/jam
F_{F0}	= Laju alir molar umpan metanol reaksi 2, kmol/jam
$-r_A, -r_E$	= Laju reaksi, kmol/m ³ jam
V	= Volume reaktor, m ³

10) ACCUMULATOR

C	= Tebal korosi yang diizinkan, m
E	= Efisiensi pengelasan, dimensionless
ID, OD	= Inside diameter, Outside diameter, m
L	= Panjang accumulator, m
P	= Tekanan operasi, atm
S	= Working stress yang diizinkan
t	= Temperatur Operasi, °C
V	= Volume total, m ³
V _s	= Volume silinder, m ³
W	= Laju alir massa, kg/jam
ρ	= Densitas, lb/ft ³

11) KOLOM DISTILASI

A _d	= Downcomer area, m ²
A _t	= Tower area, m ²
A _n	= Net area, m ²
A _a	= Active area, m ²
A _b	= Hole area, m ²
A _{da}	= Aerated area, m ²
C	= Faktor korosi yang diizinkan, m
C _{sb}	= Kapasitas vapor, m/det
DI	= Clearance, mm
d _h	= Diameter hole, mm
d _c	= Diameter kolom, mm
e	= Total entrainment, kg/det
E	= Joint efficiency, dimensionless
F	= Friction factor, dimensionless
F _{IV}	= Paramater aliran, dimensionless
h _a	= Aerated liquid drop, m
h _f	= Froth height, mm
h _w	= Weir height, mm

h_{σ}	= Weep point, cm
H	= Tinggi kolom, m
L_w	= Weir length
L	= Laju alir massa liquid solvent, kg/det
N_m	= Jumlah tray minimum
ΔP	= Pressure drop
P	= Tekanan desain, atm
q	= Laju alir volume umpan solvent, m ³ /det
Q	= Laju alir volume umpan gas, m ³ /det
Q_p	= Aeration factor, dimensionless
R	= [L/D] reflux ratio, dimensionless
R_h	= Radius Hydrolic, m
R_m	= Refluks minimum
Re_h	= Reynold modulus, dimensionless
S	= Working stress, N/m ²
S_s	= Stage umpan
St	= Jumlah stages
t	= Tebal dinding vessel, m
T	= Temperatur operasi, °C
T_{av}	= Temperatur rata-rata, °C
U_f	= Kecepatan aerated mass, U_f
V	= Laju alir massa umpan gas, kg/det
V_d	= Downcomer velocity, m/det
α	= Relatif volatil, dimensionless
Δ	= Liquid gradien, cm
ρ_g	= Densitas gas, kg/m ³
ρ_l	= Densitas liquid, kg/m ³
ψ	= Fractional entrainment, dimensionless

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN I PERHITUNGAN NERACA MASSA.....	151
LAMPIRAN II PERHITUNGAN NERACA PANAS	212
LAMPIRAN III SPESIFIKASI PERALATAN	294
LAMPIRAN IV PERHITUNGAN EKONOMI	53

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Biodiesel merupakan bahan bakar terbarukan yang dapat dicampur atau menggantikan bahan bakar diesel konvensional untuk pembakaran pada mesin diesel. Metode komersial produksi biodiesel saat ini meliputi mereaksikan *natural oils* (misalnya minyak kedelai atau minyak kelapa sawit) dengan alkohol melalui proses transesterifikasi dengan adanya bantuan katalis dasar, misalnya natrium hidroksida. Metode komersial lainnya yaitu proses *two-stage* dimana pada tahapan pertama minyak mengalami reaksi esterifikasi dengan bantuan katalis asam, kemudian dilanjutkan dengan tahapan kedua yaitu reaksi transesterifikasi dengan menggunakan bantuan katalis basa. Komposisi produk biodiesel yang dihasilkan bergantung pada jenis alkohol yang digunakan pada reaksi transesterifikasi. Sebagai contoh, jika metanol yang dipilih, maka biodiesel yang dihasilkan akan terdiri dari *fatty acid methyl esters* (FAME). Begitu pula jika etanol yang dipilih, maka hasil biodiesel terdiri dari *fatty acid ethyl esters* (FAEE).

Produk samping yang dihasilkan dari reaksi transesterifikasi *natural oils* berkatalis adalah gliserol (yaitu gliserin) dan alkohol yang tidak bereaksi. Produk gliserol yang dihasilkan pada umumnya terkontaminasi dan tidak cocok digunakan sebagai gliserol “food-grade” bernilai tinggi. Upaya yang dapat dilakukan untuk mendapatkan produk biodiesel *fuel-grade*, misalnya biodiesel yang memenuhi spesifikasi D6751 yang ditetapkan American Society of Testing and Manufacturing (ASTM) adalah memisahkan produk utama berupa *fatty acid alkyl ester* dari produk samping reaksi seperti gliserol, alkohol yang tidak bereaksi, air, asam lemak bebas (FFA), garam, serta senyawa organik ringan dan berat. Teknik pemisahan konvensional yang paling umum digunakan adalah teknik pemisahan tipe *batch liquid-liquid*. Teknik produksi produk biodiesel konvensional saat ini terbatas pada kemampuannya untuk mengolah minyak dengan kandungan FFA yang tinggi, misalnya minyak dengan kandungan FFA lebih dari 10%. Hal ini dikarenakan

kecendrungan FFA yang bereaksi dengan katalis sehingga meningkatkan biaya penggantian katalis, dan menurunkan *yield* biodiesel secara keseluruhan. Kelemahan-kelemahan tersebut membatasi pertumbuhan dari pasar biodiesel.

Pendirian pabrik biodiesel berbahan baku *palm fatty acid distillate* (PFAD) ini berbeda daripada proses konvensional yang telah ada. Proses yang terjadi dilakukan tanpa adanya bantuan katalis. Pabrik biodiesel ini juga menyediakan sistem dan proses untuk pembuatan biodiesel dan gliserol berkualitas tinggi yang efisien secara ekonomi. Kandungan FFA yang tinggi pada bahan baku akan menjadikan proses ini menjadi proses alternatif lain yang berbeda dari proses konvensional yang telah tersedia dalam memproduksi biodiesel. Metode dan proses yang disediakan juga akan memproduksi hasil akhir berupa biodiesel yang memenuhi atau melebihi spesifikasi untuk B100 yang ditetapkan dalam spesifikasi ASTM D6751 dan memenuhi atau melebihi spesifikasi U.S. Pharmacopeial Convention-(USP) kelas untuk gliserol.

1.2. Sejarah dan Perkembangan Biodiesel

Penggunaan dari bahan bakar alternatif biodiesel dikenalkan pertama kali sebelum perang dunia II di Afrika Selatan sebagai bahan bakar kendaraan berat. Biodiesel diartikan sebagai metil/etil ester yang diperoleh dari minyak hewan atau tumbuhan serta memenuhi kualitas untuk digunakan sebagai bahan bakar pada mesin diesel. Sedangkan ada pula yang disebut dengan minyak lemak mentah yaitu minyak yang didapatkan langsung dari pengempaan atau pemerahan biji sumber minyak (oilseed) yang selanjutnya dilakukan proses penyaringan dan pengeringan untuk mengurangi kadar airnya. Pemrosesan lanjut minyak lemak mentah untuk menghilangkan fosfor (degumming) dan asam lemak bebas (dengan netralisasi dan steam refining) disebut refined fatty oil atau straight vegetable oil (SVO).

Konsep produksi bahan bakar mesin menggunakan minyak nabati dimulai ketika Dr. Rudolf Christian Karl Diesel (1858-1913) mengembangkan mesin pertama dengan penggunaan minyak kacang untuk menjalankan mesinnya yang didemonstrasikan pada Pameran Dunia pada tahun 1900 di Paris. Mesin diesel yang ditemukan oleh Rudolf Diesel pada saat itu adalah suatu mesin motor penyalan yang memiliki konsep penyalan dikarenakan oleh penekanan atau kompresi

campuran antara oksigen dan bahan bakar pada suatu kondisi tertentu di dalam mesin motor. Konsepnya adalah ketika suatu bahan bakar dengan oksigen yang berasal dari udara dicampur, maka pada temperatur dan tekanan tertentu bahan bakar tersebut akan menyala dan menimbulkan tenaga maupun panas.

Rudolf Diesel pada masa itu memiliki keyakinan bahwa pemanfaatan dari bahan bakar biomassa menjadi masa depan bagi mesin yang diciptakannya. Rudolf berambisi ingin memberikan kesempatan untuk menghasilkan bahan bakar sendiri bagi para petani. Sehingga pada tahun 1911, ia mengatakan bahwa minyak nabati dapat dijadikan sebagai umpan pada mesin diesel dan akan cukup membantu pada pengembangan pertanian dari negara-negara yang menggunakannya. Penggunaan dari minyak nabati sebagai bahan bakar mesin mungkin tidak tampak secara signifikan pada saat ini, akan tetapi seiring berjalannya waktu, minyak tersebut dapat menjadi sama pentingnya dengan produk minyak bumi ataupun tar batubara saat ini seperti yang diperkirakan oleh Rudolf Diesel.

Kelangkaan bahan bakar pada pertengahan tahun 1970-an memacu minat dalam memversifikasikan sumber bahan bakar dan dengan demikian biodiesel (ester dari minyak) dikembangkan kembali sebagai alternatif dalam minyak diesel. Pada tahun 1990, peningkatan ketertarikan terjadi dalam pengembangan biodiesel dikarenakan adanya manfaat pengurangan polusi yang besar dari penggunaan biodiesel. Mesin diesel saat ini membutuhkan pembakaran yang bersih dan bahan bakar yang stabil yang akan beroperasi di bawah berbagai kondisi. Kebangkitan dari biodiesel di semua negara telah dipengaruhi oleh undang-undang dan peraturannya. Peraturan tersebut banyak dibuat untuk mempromosikan ekonomi pertanian negara, mengurangi polusi dan perubahan iklim serta keamanan nasional.

1.3. Bahan Baku Pembuatan Biodiesel

Bahan bakar minyak berbahan baku fosil tergolong ke dalam bahan bakar yang tidak terbarukan sehingga untuk mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar minyak bumi tersebut, salah satu upaya yang dapat dilakukan adalah dengan memproduksi bahan bakar biodiesel yang diproduksi dengan menggunakan bahan baku berupa minyak nabati maupun lemak hewani. Bahan baku minyak nabati yang digunakan dapat berasal dari minyak kelapa, jagung, kelapa sawit, jarak pagar,

randu, nyamplung, kemiri, dan lain-lain. Sedangkan lemak hewani dapat berasal dari lemak sapi, lemak babi, lemak ayam, lemak susu sapi, dan lain-lain.

1.3.1. Minyak Kelapa Sawit (CPO)

CPO merupakan salah satu sumber minyak nabati yang memiliki potensi untuk digunakan sebagai bahan dasar dalam produksi biodiesel (Oko dan Syahrir, 2017). Sebagai negara yang mempunyai tanah dan lahan yang subur, Indonesia memiliki potensi yang sangat besar untuk ikut berperan dalam industri kelapa sawit. Indonesia tercatat sebagai penghasil serta pengeksport minyak kelapa sawit terbesar di dunia pada tahun 2007 dan sampai dengan tahun 2010, luas areal perkebunan kelapa sawit di Indonesia mencapai 7,8 juta hektar. Produksi minyak kelapa sawit dalam kurun waktu 15 tahun terakhir meningkat hampir lima kali lipat yaitu dari 4,8 juta ton minyak sawit mentah (CPO) pada tahun 1996 menjadi 19,8 juta ton pada tahun 2010 (Julianti dkk, 2014).

Sejak awal abad ke-20, Pusat Penelitian Kelapa Sawit (PPKS) telah menghasilkan berbagai teknologi hulu, misalnya klon-klon unggul dan bahan tanaman yang saat ini dinikmati oleh pengguna secara luas. PPKS sejak tahun 1992 secara khusus telah mengembangkan biodiesel minyak kelapa sawit dalam rangka memicu industri kelapa sawit nasional yang telah diuji coba sejak tahun 2001 bersamaan dengan diadakannya Seminar Internasional di Medan untuk mesin-mesin pertanian dan angkutan barang.

Komposisi asam lemak paling dominan yang terkandung di dalam CPO adalah asam palmitat dan linoleat, dan secara rinci kandungan asam lemak dalam CPO ditampilkan pada **Tabel 1.1**. Biodiesel dari CPO biasanya dihasilkan melalui beberapa tahapan yaitu *degumming*, *refining*, esterifikasi dan transesterifikasi. CPO paling umum digunakan di Indonesia sebagai bahan baku pembuatan biodiesel karena ketersediaannya yang melimpah di Indonesia serta potensi konversi minyak kelapa sawit menjadi biodiesel yang lebih tinggi dibandingkan dengan bahan baku lainnya. Semakin tingginya nilai konversi CPO menjadi biodiesel dapat menjadi sumber energi baru dan terbarukan serta mengurangi konsumsi bahan bakar fosil dengan memanfaatkan potensi industri kelapa sawit (Ristianingsih, 2015).

Tabel 1.1. Kandungan asam lemak dalam Minyak Kelapa Sawit (CPO)

Asam Lemak	% Berat	Jenis Asam Lemak
Miristat	1,1– 2,5	Jenuh
Palmitat	40 – 46	Jenuh
Stearat	3,6 – 4,7	Jenuh
Oleat	39 – 45	Tak Jenuh
Linoleat	7 – 11	Tak Jenuh

(Sumber : Sari, 2019)

1.3.2. Minyak Jelantah

Minyak jelantah adalah minyak goreng yang sudah digunakan beberapa kali untuk penggorengan. Minyak jelantah apabila tetap dikonsumsi maka dapat menyebabkan beberapa penyakit seperti kanker, gangguan kecerdasan, dan tekanan darah tinggi (Rukmini, 2007). Minyak jelantah dapat bermanfaat apabila diolah dengan tepat. Salah satu pemanfaatan tersebut adalah dengan mengolahnya menjadi biodiesel (Satriana dkk, 2012). Minyak jelantah merupakan salah satu bahan baku dalam pembuatan biodiesel yang berpotensi untuk dimanfaatkan di Indonesia. Hal ini tercermin dari produksi minyak jelantah yang dapat mencapai 4.000.000 ton/tahun di Indonesia (Adhari dkk, 2016).

Asam lemak bebas yang terkandung pada minyak jelantah menjadikannya memiliki peluang untuk dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan biodiesel. Secara terperinci, kandungan asam lemak di dalam minyak jelantah ditampilkan pada **Tabel 1.2**. Proses yang dilakukan dalam pengolahan biodiesel dari minyak jelantah yaitu esterifikasi (menurunkan kadar FFA di bahan baku) dan transesterifikasi (mengkonversi trigliserida menjadi metil ester) dengan menggunakan bantuan katalis untuk mempercepat reaksi (Arifin dkk, 2016).

Tabel 1.2. Kandungan asam lemak dalam Minyak Jelantah

Asam Lemak	% Berat	Jenis Asam Lemak
Miristat	0,9	Jenuh
Palmitat	20,4	Jenuh
Palmitoleat	4,6	Tak Jenuh

Stearat	4,8	Jenuh
Oleat	52,9	Tak Jenuh
Linoleat	13,5	Tak Jenuh
Linolenat	0,8	Tak Jenuh
Arakidat	0,12	Jenuh
Eikosenoat	0,84	Tak Jenuh
Behenat	0,03	Jenuh
Erukat	0,07	Tak Jenuh
Tetrakosanoat	0,04	Tak Jenuh

(Sumber : Chhetri dkk, 2008)

Menurut Rahkadima dan Putri (2011), berdasarkan hasil evaluasi dari kelayakan biodiesel, bahan baku biodiesel berupa minyak jelantah dinilai menjadi minyak nabati yang paling layak digunakan mengingat jumlah dari minyak jelantah yang belum dimanfaatkan secara maksimal. Pemanfaatan dari minyak jelantah sebagai bahan bakar motor diesel merupakan suatu upaya pengurangan limbah yang dapat menciptakan bahan bakar alternatif pengganti bahan bakar solar serta bernilai ekonomis (Siswani dkk, 2012).

1.3.3. Minyak Kelapa

Biodiesel dapat dibuat dari berbagai biomassa yang mengandung minyak. Kelapa merupakan salah satu dari biomassa yang berpotensi untuk dimanfaatkan menjadi bahan baku diesel karena minyak yang terkandung cukup banyak yaitu 30-35% dari berat buah kelapa basah (Dwiyuni, 2006). Kandungan ester yang sangat tinggi pada minyak kelapa dibandingkan minyak diesel itu sendiri, bersifat ramah lingkungan dan memiliki sifat pembakaran yang baik menjadikan keuntungan minyak kelapa yang diolah menjadi biodiesel (Ma dan Hanna, 2009). Hal lainnya yang sangat mendukung dalam pengembangan produk biodiesel dari minyak kelapa adalah Indonesia memiliki lahan perkebunan kelapa terbesar di dunia dengan total produksi mencapai lebih dari 85% total dunia (Wright dkk, 2014).

Minyak kelapa kini telah dikembangkan sebagai bahan bakar karena di dalam satu molekul minyak kelapa terdiri dari 1 unit gliserin dan sejumlah asam

lemak serta 3 unit asam lemak dari rantai karbon panjang adalah trigliserida (lemak dan minyak). Kandungan asam lemak pada minyak kelapa ditampilkan pada **Tabel 1.3**. Minyak dapat dilindungi dari penguapan (volatilizing) dikarenakan komponen gliserin yang memiliki titik didih tinggi. Komponen asam lemak dari minyak dikonversi menjadi elemen lain pada biodiesel yang disebut ester. Asam lemak dan gliserin dipisahkan melalui proses esterifikasi. Minyak tumbuhan akan bereaksi dengan alkohol dengan bantuan katalis, jika minyak tumbuhan berupa kelapa serta komponen reaktan alkoholnya berupa metanol maka akan dihasilkan coco metil ester yang juga nama lain dari coco biodiesel (Darmato dan Sigit, 2006).

Tabel 1.3. Kandungan asam lemak dalam Minyak Kelapa

Asam Lemak	% Berat	Jenis Asam Lemak
Kaproat	0,0 – 0,8	Jenuh
Kaprilat	5,5 – 9,5	Jenuh
Kaprat	4,5 – 9,5	Jenuh
Laurat	44 – 52	Jenuh
Miristat	13 – 19	Jenuh
Palmitat	7,5 – 10,5	Jenuh
Stearat	1 – 3	Jenuh
Arakidat	0,0 – 0,4	Jenuh
Palmitoleat	13 – 19	Tak Jenuh
Oleat	5,5 – 9,5	Tak Jenuh
Linoleat	4,5 – 9,5	Tak Jenuh

(Sumber : Maulinda dkk, 2017)

1.3.4. Minyak Jarak Pagar

Minyak jarak pagar (*Jatropha curcas L.*) merupakan tanaman yang dapat tumbuh di daerah tropis maupun subtropis. Tanaman ini dapat bertahan di daerah yang kering serta memiliki kandungan minyak non-edible sekitar 35% (Geobitz dkk, 1999). Tempat tumbuh tanaman jarak pagar berkisar antara dataran rendah hingga dataran yang memiliki ketinggian 300 meter di atas permukaan laut. Pertumbuhan dari tanaman akan terhambat pada daerah dengan suhu yang terlalu

tinggi ($>30^{\circ}\text{C}$) atau terlalu rendah ($<15^{\circ}\text{C}$), hal ini juga akan mengurangi kadar minyak dan mengubah komposisinya (Santoso, 2010).

Kandungan minyak yang dihasilkan dari biji tanaman jarak pagar berkisar 30-50% (Said dkk, 2010). Minyak jarak pagar dapat diperoleh dari bijinya dengan metode pengempaan panas atau dengan ekstraksi pelarut (Purnomo dkk, 2020). Komposisi asam lemak dari minyak jarak pagar ditampilkan pada **Tabel 1.4**. Tanaman jarak pagar merupakan bahan non pangan dan komponen terbesar minyak jarak adalah trigliserida yang mengandung asam lemak oleat dan linoleat sehingga minyak jarak pagar dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku dalam proses pembuatan biodiesel (Muyassaroh dkk, 2012). Kandungan minyak jarak pagar berupa asam lemak esensial yang rendah menjadikan minyak jarak pagar tidak dapat dimanfaatkan sebagai minyak pangan. Selain itu juga, minyak jarak pagar mengandung racun yang disebabkan karena adanya senyawa ester forbol yang tidak dapat dikonsumsi oleh manusia (Syah, 2006).

Tabel 1.4. Kandungan asam lemak dalam Minyak Jarak Pagar

Asam Lemak	% Berat	Jenis Asam Lemak
Miristat	0,0 – 0,1	Jenuh
Palmitat	14,1 – 15,3	Jenuh
Stearat	3,7 – 9,8	Jenuh
Arakidat	0,0 – 0,3	Jenuh
Behenat	0,0 – 0,2	Jenuh
Palmitoleat	0,0 – 1,3	Tak Jenuh
Linoleat	29 – 44,2	Tak Jenuh
Oleat	34,3 – 45,8	Tak Jenuh
Linolenat	0,0 – 0,3	Tak Jenuh

(Sumber : Said dkk, 2009)

Minyak bumi sebagai bahan baku umum minyak diesel mengandung 8-10 atom karbon per molekul sedangkan minyak jarak pagar mengandung 16-18 atom karbon. Hal ini menyebabkan viskositas minyak pagar lebih tinggi apabila dibandingkan dengan minyak bumi. Minyak jarak pagar memiliki daya pembakaran

yang masih rendah untuk digunakan sebagai bahan bakar (biodiesel). Upaya yang dapat dilakukan untuk menurunkan viskositas minyak jarak pagar serta meningkatkan daya pembakarannya sehingga sesuai dengan standar minyak diesel untuk kendaraan bermotor dapat dilakukan dengan proses transesterifikasi. Proses transesterifikasi minyak jarak dilakukan dengan mereaksikannya dengan alkohol untuk mengubah trigliserida menjadi biodiesel dan gliserol (Said dkk, 2010).

1.3.5. Lemak Hewani

Selain minyak nabati, lemak hewani juga dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku dalam pembuatan biodiesel. Beberapa contoh dari lemak hewani yang dapat dimanfaatkan pada pengolahan pembuatan biodiesel antara lain lemak sapi, lemak ayam broiler, dan lemak babi. Lemak sapi merupakan bahan baku non-edible dengan biaya yang rendah dan memiliki ketersediaan yang tinggi pada produksi sapi (Rengga dan Ernawati, 2012). Kandungan asam lemak yang paling tinggi di dalam lemak sapi adalah asam oleat sebesar 38,35%. Lemak sapi dapat disimpan dalam tempat kedap udara untuk mencegah oksidasi (Faizal dkk, 2013).

Kandungan lemak yang terdapat dalam ayam broiler sekitar 10 % berat dan lemak ayam broiler ini belum banyak dimanfaatkan oleh masyarakat sehingga sering dibuang sebagai limbah pemotongan. Lemak ayam dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku biodiesel dikarenakan kandungan asam lemak yang cukup tinggi antara lain asam miristat 0,64%, asam palmitat 20,95%, asam oleat 47,73%, asam linoleat 20,42% dan asam linoleat 1,40% (Marnoto dan Efendi, 2011).

Lemak babi merupakan lemak yang didapatkan dari proses pemotongan babi. Proses pembuatan biodiesel dari lemak babi hanya dilakukan pengurangan kadar air dan pengotor melalui pemanasan untuk mencairkan lemak. Berkurangnya yield biodiesel yang akan dihasilkan dapat dipengaruhi karena kandungan air dan asam lemak bebas yang terdapat pada lemak babi karena akan membentuk sabun. Kandungan FFA pada lemak babi tergolong tinggi yaitu berkisar 5-30% sehingga untuk mengurangi kadar FFA tersebut biasanya dilakukan acid pretreatment. Proses ini adalah proses reaksi antara lemak dengan menggunakan katalis asam dan jenis asam yang dapat digunakan antara lain asam sulfat, asam klorida, serta asam kuat lainnya (Setiawan dkk, 2010).

1.3.6. Mikroalga

Mikroalga merupakan mikroorganisme fotosintesis penghasil minyak yang memiliki potensi untuk dikembangkan sebagai salah satu alternatif bahan baku penghasil biodiesel (Ondrey, 2008). Produktivitas mikroalga yang tinggi sebagai sumber bahan biofuel yang ekonomis dan ramah lingkungan menarik perhatian kalangan para pebisnis dan peneliti di berbagai belahan dunia (Santoso, 2016). Salah satu alasan pengembangan biodiesel dari mikroalga oleh negara-negara maju di Eropa adalah karena kandungan minyak mikroalga yang cukup tinggi selain selasan terkait dengan lingkungan (Amini dan Susilowati, 2010). Kandungan asam lemak yang tinggi pada beberapa mikroalga ditunjukkan pada **Tabel 1.5**.

Tabel 1.5. Kandungan asam lemak dalam Mikroalga

Asam Lemak	Jenis Asam Lemak	% Berat Beberapa Jenis Mikroalga		
		Spirulina plantensis	Isochrysis sp.	Porphyridium cruentum
Kapriat	0,0 – 0,1	0,07	-	-
Laurat	14,1 – 15,3	3,08	-	0,49
Miristat	3,7 – 9,8	2	0,33	0,23
Stearat	0,0 – 0,3	3,5	20,21	7,62
Palmitat	0,0 – 0,2	17,28	0,93	25,52
Oleat	0,0 – 1,3	22,58	37,63	0,64
Margarita	29 – 44,2	-	0,77	-
Palmitoleat	34,3 – 45,8	0,24	34,25	0,23
Linoleat	0,0 – 0,3	9,93	2,06	-

(Sumber : Kawaroe dkk, 2012)

Kandungan minyak yang mencapai 77% pada mikroalga sangat berpotensi digunakan sebagai bahan baku biodiesel. Berdasarkan perhitungan, dibandingkan dengan sumber nabati lainnya, mikroalga mampu menghasilkan minyak 200 kali lebih banyak (Sumantri dkk, 2014). Komposisi kimia sel semua jenis mikroalga terdiri dari protein, karbohidrat, lemak (fatty acid), dan asam nukleat dengan persentase yang bervariasi tergantung jenis alga. Fatty acid inilah yang akan

diekstraksi dan diubah menjadi biodiesel (Richmond, 2014). Persoalan yang perlu dihadapi dalam penggunaan mikroalga sebagai bahan baku biodiesel salah satunya adalah proses pengambilan minyaknya yang tergolong sulit dan mahal. Press, Hexane Solvent Oil Extraction, Supercritical Fluid Extraction, Osmotic Shock, dan Ultrasonic Extraction merupakan beberapa metode yang dapat digunakan dalam pengambilan minyak dari mikroalga (Widyastuti dan Dewi, 2015).

1.3.7. *Palm Fatty Acid Distillate (PFAD)*

Palm fatty acid distillate (PFAD) merupakan salah satu produk samping yang dihasilkan melalui proses pemurnian minyak sawit (Putri dkk, 2018). Proses pemurnian pada pengolahan minyak sawit terdiri dari beberapa tahap antara lain penyingkiran pospatida, penyingkiran warna yang tidak diinginkan kemudian penyingkiran bau. Proses dari penyingkiran bau dilakukan secara fisika melalui steam stripping. Melalui proses ini, akan terpisahkan PFAD sekitar 6% dari CPO umpan (Yelmida dkk, 2012). Proses pembuatan minyak sawit secara keseluruhan akan menghasilkan 0,5-1% CPO parit, 5-6% PFAD, 21% stearin, dan 73% olein (Indriyani dan Suryani, 2015). PFAD mengandung racun sehingga tidak dapat digunakan sebagai bahan pangan (Karunia, 2008).

PFAD berwujud padat dan berwarna kuning pada suhu ruang. PFAD mengandung asam lemak bebas (FFA) yang tinggi dengan jumlah 72,3-89,4% sedangkan kandungan trigliseridanya hanya berjumlah 10,6-14,4% (Hui, 1996). Kandungan asam lemak jenuh dan tak jenuh secara rinci dalam PFD ditampilkan pada **Tabel 1.6**. Asam lemak yang terkandung di dalam PFAD dapat dikonversi menjadi metil ester asam lemak.

Tabel 1.6. Kandungan asam lemak dalam PFAD

Asam Lemak	Rumus Molekul	% Berat	Jenis Asam Lemak
Laurat	$C_{11}H_{23}COOH$	0,1 – 0,3	Jenuh
Miristat	$C_{13}H_{27}COOH$	0,9 – 1,5	Jenuh
Palmitat	$C_{15}H_{31}COOH$	42,9 – 51,0	Jenuh
Stearat	$C_{17}H_{35}COOH$	4,1 – 4,9	Jenuh
Oleat	$C_{17}H_{33}COOH$	32,8 – 39,8	Tak Jenuh
Linoleat	$C_{17}H_{31}COOH$	8,6 – 11,3	Tak Jenuh

(Sumber : Hui, 1996)

Melimpahnya ketersediaan PFAD yang ada di Indonesia membuat PFAD berpotensi untuk dijadikan sebagai bahan baku dalam pembuatan biofuel (biodiesel) dikarenakan penggunaannya yang tidak bersaing dengan bahan untuk pangan seperti minyak sawit. Harga PFAD juga relatif murah yakni 80% dari harga CPO (Budi dan Puspayana, 2019). Harga CPO pada akhir tahun 2018 mencapai Rp 8.750,00/kg, maka harga PFAD sebesar Rp 7.000,00/kg (Kementrian Pertanian, 2018). Putri dkk. (2018) menambahkan bahwa PFAD memungkinkan untuk dapat diolah menjadi biodiesel dikarenakan secara umum PFAD memiliki rantai hidrokarbon panjang yang mirip dengan minyak bumi.

Menurut Masduki dkk. (2013) metode yang tepat untuk produksi biodiesel dengan bahan baku yang memiliki kandungan FFA yang tinggi adalah reaksi dua tahap yaitu reaksi esterifikasi untuk mengkonversi FFA menjadi biodiesel, dilanjutkan dengan transesterifikasi untuk mengkonversi trigliserida menjadi FAME. Katalis yang dapat digunakan dalam pembuatan biodiesel berbahan baku PFAD adalah katalis asam homogen (Talukder, 2008). Pada rencana pabrik pembuatan biodiesel berbahan baku PFAD ini, proses reaksi esterifikasi dan transesterifikasi yang dilakukan tanpa menggunakan bantuan dari katalis dengan kondisi operasi supercritical.

1.4. Macam-Macam Proses dan Metode Pembuatan Biodiesel

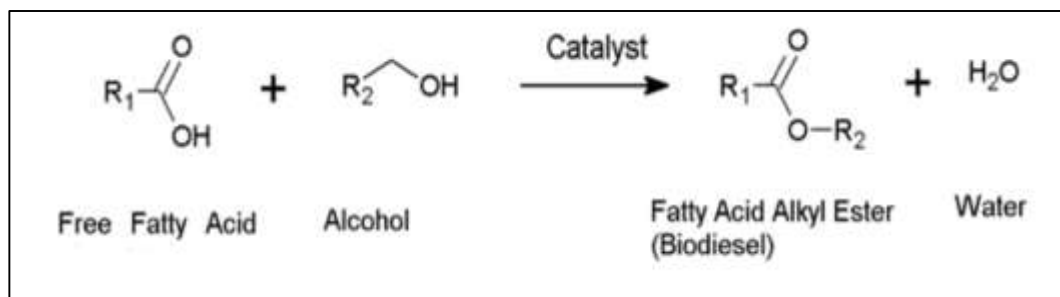
Bahan baku yang digunakan dalam pembuatan bahan bakar minyak berupa biodiesel baik bahan minyak nabati maupun lemak hewani memiliki kandungan serta sifat fisika dan sifat kimia yang berbeda-beda. Pengolahan bahan-bahan baku yang berbeda tersebut tentu memiliki reaksi dan proses yang juga dapat berbeda-beda. Terdapat beberapa metode dalam pembuatan dan pengolahan biodiesel.

1.4.1. Esterifikasi dan Transesterifikasi

Reaksi esterifikasi merupakan proses pengkonversian asam lemak bebas menjadi metil ester sehingga hasil biodiesel yang didapatkan dapat maksimal. Jenis katalis yang paling umum digunakan dalam proses ini adalah jenis asam-asam kuat seperti H_2SO_4 dan HCl . Keuntungan dari reaksi esterifikasi menggunakan katalis

asam homogen yaitu aktivitas dan selektivitasnya yang tinggi tetapi sulit dipisahkan dari campuran reaksi serta kurang stabil pada suhu tinggi (Aziz dkk, 2011).

Esterifikasi pada umumnya dilakukan untuk memproduksi biodiesel dari bahan baku minyak yang memiliki kadar FFA tinggi (angka asam >5 mg-KOH/gr). Reaksi esterifikasi termasuk reaksi *reversible* dimana FFA dikonversi menjadi alkil ester dan air dengan bantuan katalis. Tahapan esterifikasi ini biasanya disertai dengan tahap transesterifikasi setelah air dan bagian terbesar katalis asam yang dikandungnya disingkirkan. Menurut Kusmiyati (2008), reaksi esterifikasi termasuk reaksi endotermis. Umumnya salah satu reaktan berupa alkohol diberikan dalam jumlah yang berlebihan dan air diambil selama reaksi untuk mengarahkan reaksi ke arah produk alkil ester.

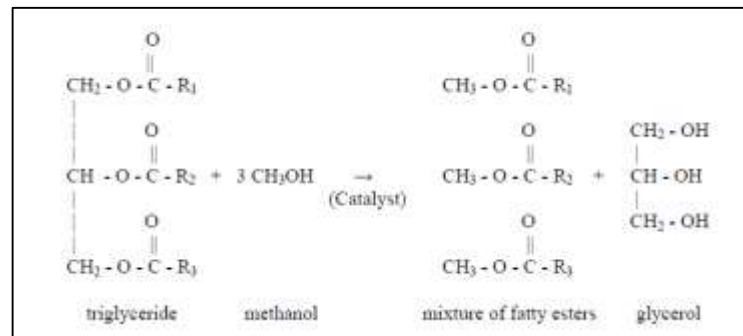


Gambar 1.1. Skema Reaksi Esterifikasi Asam Lemak Bebas

(Sumber : Haigh dkk, 2012)

Reaksi transesterifikasi merupakan reaksi yang terjadi antara trigliserida yang terkandung di dalam minyak nabati dengan alkohol dan dibantu dengan adanya katalis asam kuat maupun basa kuat menghasilkan campuran fatty acid alkil ester dan gliserol (Schuchardt dkk, 1998). Freedman dkk. (1986) menjelaskan bahwa reaksi transesterifikasi berjalan secara tiga tahap dan reversible dengan mono dan digliserida terbentuk sebagai intermediate. Reaksi stoikiometrisnya membutuhkan 1 mol trigliserida dan 3 mol alkohol. Alkohol digunakan secara berlebih agar yield alkil ester meningkat dan memudahkan pemisahan fasanya dari gliserol yang terbentuk. Faktor-faktor yang mempengaruhi proses transesterifikasi antara lain kecepatan pengadukan, temperatur, jenis dan konsentrasi katalis serta

perbandingan antara etanol dan asam lemak. Kemurnian reaktan juga merupakan salah satu faktor yg mempengaruhi reaksi transesterifikasi (Schuchardt dkk, 1998).



Gambar 1.2. Skema Reaksi Transesterifikasi

(Sumber : Van Gerpen dkk, 2004)

1.4.2. Metode Pirolisis (*Thermal Cracking*)

Proses pirolisis atau perengkahan katalitik adalah proses dekomposisi kimia termal dengan menggunakan katalis dan umumnya menyebabkan molukel menjadi lebih kecil. Menurut Agra (1995) pirolisis merupakan proses penguraian bahan organik secara termal tanpa oksigen serta produk yang dihasilkan berupa cairan dan gas. Hasil dari proses pirolisis ini dapat digunakan sebagai bahan bakar, petrokimia, dan monomer (Scheirs dan Kaminsky, 2006). Berdasarkan penelitian (Purwanto, 2020), karakteristik minyak *green diesel* dari minyak jelantah memenuhi standar untuk bahan bakar jenis solar. Karakteristik minyak yang dihasilkan memiliki nilai *density* 832,5 kg/m³, viskositas kinematik 2,620 mm²/s, *flash point* 54,5°C, *pour point* -9°C, pH 4,05, dan *cetane index* 50,3.

Peningkatan reaksi meliputi cracking, dekarboksilasi, dekarbonilasi, *hydrocracking*, hidrogenasi, dan hidrodeoksigenasi pada sistem pirolisis dapat dilakukan dengan menambahkan katalis (Mortensen dkk, 2011). Dua jenis katalis yang telah banyak diteliti pada proses pirolisis yaitu hidrodeoksigenasi dan perengkahan dengan zeolit (Dickerson dan Soria, 2013). Proses pirolisis dilakukan di dalam suatu reaktor yang tahan terhadap suhu dan tekanan yang tinggi. Bahan konstruksi yang umumnya digunakan untuk reaktor ini adalah logam yang tahan karat dan tahan panas. Proses perengkahan di dalam reaktor pirolisis dapat berlangsung secara tertutup maupun terbuka. Proses pirolisis secara tertutup berarti

tidak ada senyawa yang keluar selama proses perengkahan sedangkan proses terbuka berarti selama proses perengkahan adanya senyawa yang keluar dan terkondensasi menjadi fraksi cair (Riyadhi dan Syahrullah, 2016).

1.4.3. Metode Microwave

Teknologi pembuatan biodiesel dengan bantuan gelombang mikro pada microwave ditujukan untuk mengatasi pembuatan biodiesel secara konvensional. Proses pemanasan dengan microwave memberikan waktu yang relatif lebih singkat untuk memanskan bahan baku tanpa adanya pemanasan awal (Lertsathapornsuk dkk, 2004). Menurut Terigar (2009), penggunaan microwave dapat membuat reaksi lebih efisien, dengan lama reaksi dan proses pemisahan yang singkat, menurunkan konsumsi energi serta menurunkan jumlah produk samping. Kebutuhan katalis juga dapat ditekan dengan penggunaan microwave (Rohman dkk, 2015)

Efisiensi dari reaksi transesterifikasi microwave berasal dari sifat dielektrik campuran polar dan komponen ion dari minyak, katalis, serta pelarut. Pemanasan yang cepat serta efisien pada radiasi microwave dikarenakan gelombang microwave berinteraksi dengan sampel pada tingkatan molekular menghasilkan campuran intermolekul dan proses agitasi yang dapat meningkatkan peluang dari sebuah molekul minyak bertemu dengan sebuah molekul alkohol (Terigar, 2009). Berdasarkan penelitian yang dilakukan Trisnaliani dkk. (2018), karakteristik biodiesel yang dihasilkan dari minyak jelantah yang diolah dengan bantuan metode *microwave* ditampilkan pada **Tabel 1.7.**

Tabel 1.7. Karakteristik Biodiesel Berdasarkan Variasi Kondisi Metode *Microwave*

Karakteristik	Variasi Kondisi Optimum		
	Rasio molar minyak : metanol = 1 : 9	Temperatur reaksi (60°C)	Waktu Reaksi (12 menit)
pH	7	6	7
Angka asam	0,318	0,54	0,21
Kadar air	0,0387	0,03	0,03
Densitas	0,87	0,86	0,86
Viskositas	2,757	2,42	2,36
<i>Flash point</i>	127	101	102,1
Persen yield	82,699	88,91	86,04

(Sumber : Trisnaliani dkk, 2018)

1.4.4. Metode Ultrasonik

Penggunaan dari gelombang ultrasonik dinilai memberikan pengaruh yang positif untuk meningkatkan produk biodiesel. Proses pencampuran menggunakan ultrasonik lebih baik dibandingkan dengan menggunakan pengadukan dikarenakan adanya efek kavitasi (Mahamuni dan Adewuyi, 2009). Gelombang ultrasonik memberikan efek kavitasi, termal, dan mekanik yang meningkatkan kecepatan reaksi. Peningkatan dari laju reaksi akan membuat proses pembuatan biodiesel berlangsung lebih cepat dan akan menghasilkan konversi pembentukan biodiesel yang lebih tinggi (Putri dkk, 2012).

Pembentukan produk biodiesel yang lebih cepat ini dikarenakan gelombang ultrasonik menimbulkan peregangan dan pemampatan pada ruang antar cairan, sehingga menyebabkan terbentuknya gelembung mikro. Gelembung mikro berumur sangat singkat (kurang dari 1×10^{-7} detik) dan ukuran droplet metanol maupun minyak menjadi 42% lebih kecil dibandingkan metode konvensional ketika gelembung mikro tersebut pecah. Hal ini menyebabkan jumlah area antar muka kedua fase reaktan bertambah banyak (Ji dkk, 2006). Berdasarkan hasil penelitian Maisarah dan Hidayati (2019), karakteristik biodiesel dari minyak jelantah dengan menggunakan gelombang ultrasonik menghasilkan nilai viskositas kinematis (pada 40°C) 7,21 cSt, *flash point* 171°C, residu karbon 0,206%, dan angka asam 5,35 mg-KOH/gram.

1.4.5. Metode Non-katalik

Reaksi transesterifikasi non-katalitik dapat terjadi jika alkohol mengalami kondisi superkritis (Kusdiana dan Saka, 2001). Kusdiana dan Saka (2004) lebih lanjut menjelaskan bahwa metode superkritis alkohol tidak memerlukan katalis dan dalam waktu yang relatif singkat dapat mendekati konversi yang hampir sempurna. Proses superkritis non-katalitik memiliki keuntungan dari segi lingkungan karena tidak adanya limbah yang dihasilkan dari perlakuan katalis dan pemisahan pada produk akhir. Metode non-katalitik ini tidak memerlukan pretreatment dari bahan baku dikarenakan pengotor dalam bahan baku minyak tidak terlalu mempengaruhi reaksi secara signifikan (Diasakou dkk, 1998).

Fluida akan berada dalam fasa superkritis (SCF) apabila terdapat dalam kondisi di atas titik kritis (yaitu suhu dan tekanan kritis) akan tetapi masih berada di bawah tekanan yang dibutuhkan untuk terkondensasi menjadi padat (Kusdiana dan Saka, 2001). Kondisi seperti ini akan membuat kerapatan fasa cair dan gas menjadi identik dan tidak adanya perbedaan diantara keduanya. Kondisi SCF lebih khusus lagi memiliki kepadatan seperti cairan dan sifat pengangkut seperti gas (misalnya viskositas dan difusivitas). Keadaan superkritis metanol meningkatkan sifat saling melarutkan dari campuran minyak dan metanol karena penurunan konstanta dielektrik metanol dalam keadaan superkritis (Marchetti, 2013).

Menurut Kusdiana dan Saka (2004), kondisi superkritis alkohol pada tekanan dan suhu kritisnya mempengaruhi mekanisme reaksi dari proses transesterifikasi. Diasumsikan bahwa molekul alkohol secara langsung menyerang atom karbonil dari trigliserida akibat tekanan tinggi. Ikatan hidrogen akan mengalami penurunan signifikan dalam keadaan superkritis dan memungkinkan metanol menjadi monomer bebas. Reaksi transesterifikasi diakhiri melalui transfer metoksida sehingga terbentuk metil ester asam lemak dan digliserida. Digliserida ditransesterifikasi untuk membentuk metil ester dan monogliserida yang diubah menjadi metil ester dan gliserol pada langkah terakhir dengan cara yang sama.

1.5. Standar Mutu Biodiesel

Terdapat beberapa standar yang mengatur kualitas atau mutu dari biodiesel antara lain *American Society for Testing Material (ASTM)*, *European Commite for Standardization (EN)*, dan Standar Nasional Indonesia (SNI). Standar mutu biodiesel yang diperoleh pada rencana pabrik pembuatan biodiesel tanpa katalis ini mengacu pada standar mutu ASTM D6751. Syarat mutu biodiesel ASTM spesifikasi D6751-15 ditampilkan pada **Tabel 1.8**.

Tabel 1.8. Persyaratan Mutu Biodiesel B100 ASTM D6751-15

No	Parameter	Satuan	Syarat	Metode
1.	Sulfur	% massa (ppm), max	0,0015(15)	D5453
2.	Monogliserida	% massa, max	0,40	D6584

3.	Kalsium dan magnesium, kombinasi	ppm, max	5	EN14538
4.	Flash Point (Closed cup)	°C, min	93	D93
5.	Kontrol alkohol			
	• Kandungan metanol	% massa, max	0,2	EN14110
	• Flash point	°C, min	130	D93
6.	Air dan sedimen	% volume, max	0,050	D2709
7.	Viskositas kinematis	mm ² /s, 40°C	1,9-6,0	D445
8.	Abu tersulfatkan	% massa, max	0,020	D874
9.	Korosi lempeng tembaga	max	No. 3	D130
10.	Angka setana	min	47	D613
11.	Cloud point	°C	Report	D2500
12.	Residu karbon	% massa, max	0,050	D4530
13.	Angka asam	mg KOH/g, max	0,50	D664
14.	Free gliserol	% massa, max	0,020	D6584
15.	Total gliserol	% massa, max	0,240	D6584
16.	Kandungan fosfor	% massa, max	0,001	D4951
17.	Temperatur distilasi, 90% recovered	°C, max	360	D1160
18.	Natrium dan kalium, kombinasi	ppm, max	5	EN14538
19.	Kestabilan oksidasi	hr, min	3	EN15751

(Sumber : Alleman dan McCormick, 2016)

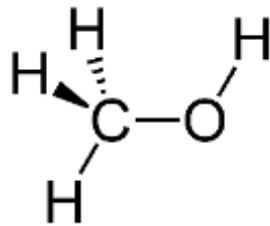
1.6. Sifat Fisika dan Kimia

1.6.1. *Palm Fatty Acid Distillate* (PFAD)

Fase	: <i>Slurry</i> (pada temperatur ruang)
Densitas	: > 0,9 gr/mL (dalam kondisi cair)
Titik Leleh	: 48°C = 321 K
Angka Asam	: 170 mg KOH/gr
<i>Moisture Content</i>	: 0,08%
Kelarutan	: Tidak larut dalam air
Bau	: Berbau lemak
Warna	: Kuning
Kondisi Penyimpanan	: Temperatur di bawah 60°C

1.6.2. Metanol

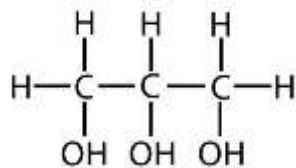
Rumus Molekul	: CH ₃ OH
Rumus Bangun	:



Berat Molekul	: 32 gr/mol
Fase	: <i>liquid</i>
Titik Didih	: 64,7°C = 337,85 K
Titik Beku	: -97,6°C = 175,5 K
Temperatur kritis	: 239,43°C = 512,58 K
Tekanan kritis	: 8,084 Mpa = 78,5 atm
Viskositas	: 0,539 cp pada 25°C
Kelarutan	: Larut dalam air

1.6.3. Gliserol

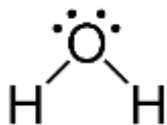
Rumus Molekul	: C ₃ H ₅ (OH) ₃
Rumus Bangun	:



Berat Molekul	: 92 gr/mol
Fase	: <i>liquid</i>
Titik Didih	: 290°C = 563,15 K
Titik Beku	: 18,18°C = 291,33 K
Temperatur kritis	: 450°C = 723 K
Tekanan kritis	: 40 bar = 39,5 atm
Viskositas	: 749,33 Cp pada 25°C
Kelarutan	: Larut dalam air

1.6.4. Air

Rumus molekul	: H ₂ O
Rumus Bangun	:



Berat Molekul	: 18,016 gr/mol
Fase	: <i>gas</i> atau <i>liquid</i>
Berat Jenis	: 0,998 gr/cm ³ (20°C)
Titik Didih	: 100°C = 373,15 K
Titik Beku	: 0°C = 273,15 K
Temperatur Kritis	: 374,15°C = 647,3°K
Tekanan Kritis	: 221,2 bar = 218,3 atm
Kalor penguapan	: 40,656 KJ/mol

DAFTAR PUSTAKA

- Adhari, H., Yusnimar, Utami, S. P. 2016. Pemanfaatan Minyak Jelantah Menjadi Biodiesel dengan Katalis ZnO Presipitan Zinc Karbonat: Pengaruh Waktu Reaksi dan Jumlah Katalis. *Jom Fteknik*. Vol. 3(2): 1-7.
- Amini, S. dan Susilowati, R. 2010. Produksi Biodiesel dari Mikroalga *Botryococcus braunii*. *Squalen*. Vol. 5(1): 23-32.
- Arifin, Z., Rudiyanto, B., dan Susmiati, Y. 2016. Produksi Biodiesel dari Minyak Jelantah Menggunakan Katalis Heterogen Cangkang Bekicot (*Achatina fulica*) dengan Metode Pencucian Dry Washing. *Jurnal Rotor*. Vol. 9 (2): 100-104.
- Asosiasi Produsen Biofuel Indonesia. 2020. *Data Produksi dan Distribusi Biodiesel Hasil Rekonsilitasi Ebtke*. (Online). <https://aprobi.or.id/project/>. (Diakses pada Tanggal 25 Februari 2021).
- Bank Indonesia. 2021. *Kurs Transaksi Bank Indonesia*. (Online). <https://www.bi.go.id/id/statistik/informasi-kurs/transaksi-bi/Default.aspx>. (Diakses pada Tanggal 1 Mei 2021).
- Bank Indonesia. 2019. *Suku Bunga Penjaminan*. (Online). <https://www.bi.go.id/id/moneter/suku-bunga-penjaminan/Contents/Default.aspx>. (Diakses pada Tanggal 1 Mei 2021).
- Chhetri A. B., Watts, K. C., dan Islam, M. R. 2008. Waste Cooking Oil As An Alternate Feedstock For Biodiesel Production. *Energies*. (1):3-18.
- Climate Data Organization. 2021. *Climate Dumai*. (Online). <https://en.climate-data.org/asia/indonesia/riau/dumai-kota-586184/>. (Diakses pada Tanggal 1 Maret 2021).
- Couper, J. R., Penney, W. R., James, dan Walas, S. M. 2010. *Chemical Process Equipment Selection and Design Edisi 2*. New York: Butterworth-Heinemann.
- Darmanto, S. dan Sigit, I. 2006. Analisa Biodiesel Minyak Kelapa Sebagai Bahan Bakar Alternatif Minyak Diesel. *Traksi*. Vol. 2(2): 1-8.

- Dwiyuni, M. 2006. Kajian Sifat Fisiko Kimia Ekstraksi Minyak Kelapa Murni (Virgin Coconut Oil, VCO) dengan Metode Pembekuan Krim Santan. *Skripsi*. Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Energy Efficiency Guide for Industry Asia. 2017. *Energy Efficiency Asia*. (Online). <http://www.energyefficiencyasia.org/energyequipment/energyequipment.html>. (Diakses pada Tanggal 8 Mei 2021).
- Evans, J. E., dan Lobo, W. E. 1939. *Heat Transfer in the Radiant Section of Petroleum Heaters*. New York: Kellogg Company.
- Faizal, M., Maftuchah, U., dan Auriyani, W. A. 2013. Pengaruh Kadar Metanol, Jumlah Katalis, dan Waktu Reaksi pada Pembuatan Biodiesel dari Lemak Sapi Melalui Proses Transesterifikasi. *Jurnal Teknik Kimia*. Vol. 4(19): 29-37.
- Felder, R. M. dan Rousseau, R. W. 2005. *Elementary Principles of Chemical Engineering 3rd Edition*. New York: John Wiley and Sons.
- Fogler, S. H. 2004. *Element of Chemical Reaction Engineering 3rd Edition*. United States of America: John Wiley & Sons, Inc.
- Gubitz, G. M., Mittelbach, M., dan Trabi, M. 1999. Exploitation of The Tropical Oil Seed Plant *Jatropha curcas* L. *Bioresource Technology*. 67. 73-82.
- Hill, C. G. dan Root, T. W. 2014. *Introduction to Chemical Engineering Kinetics & Reactor Design Second Edition*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Holland, F. A., dan Chapman, F. S. 1966. *Liquid Mixing and Processing in Stirred Tank*. New York: Reinhold Publishing Corporation.
- Ilmusipil.com. 2021. *Harga Borong Bangunan per Meter Persegi*. (Online). <http://www.ilmusipil.com/harga-borong-bangunan-per-meter-persegi>. (Diakses pada 15 Mei 2021).
- Index Mundi. 2021. *Indonesian Liquefied Natural Gas Monthly Price – US Dollars per Million Metric British Thermal Unit*. (Online). <https://www.indexmundi.com/commodities/?commodity=indonesian-liquefied-natural-gas&months=60>. (Diakses pada Tanggal 15 Mei 2021).
- Indriyani, L., dan Suryani, D. 2015. Pabrik Biodiesel Dari Palm Fatty Acid Distillate (PFAD) Dengan Proses Transesterifikasi Metode Foolproof.

- Skripsi*. Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- Ismail, S. 1999. *Alat Industri Kimia*. Inderalaya: Universitas Sriwijaya.
- Julianti, N. K., Wardani, T. K., Gurnadi, I., dan Roesyadi, A. 2014. Pembuatan Biodiesel dari Minyak Kelapa Sawit RBD dengan Menggunakan Katalis Berpromotor Ganda Berpenyangga γ -Alumina (CaO/MgO/ γ -Al₂O₃) dalam Reaktor Fluidized Bed. *Jurnal Teknik Pomits*. Vol. 3(2): 143-148.
- Kawaroe, M., Prariono, T., Rachmat, A., Sari, D. W., dan Augustine, D. 2012. Laju Pertumbuhan Spesifik Dan Kandungan Asam Lemak Pada Mikroalga *Spirulina platensis*, *Isochrysis sp.* dan *Porphyridium cruentum*. *Ilmu Kelautan*. Vol. 17(3): 125-131.
- Kern, D. Q. 1965. *Process Heat Transfer*. New York: McGraw-Hill Book, Co.
- Levenspiel, O. 1999. *Chemical Reaction Engineering 3rd Edition*. Oregon: John Wiley and Sons.
- Maisarah, Q. H., dan Hidayati, N. 2019. Transesterifikasi Minyak Jelantah Menjadi Biodiesel Menggunakan Gelombang Ultrasonik Dan Katalis Na₂O/Fly Ash. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia "Kejuangan"*. Yogyakarta, 22 April 2019.
- Marnoto, T. dan Efendi, A. 2011. Biodiesel dari Lemak Hewani (Ayam Broiler) dengan Katalis Kapur Tohor. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia "Kejuangan"*. Yogyakarta, 22 Februari 2011.
- Masduki, Sutijan, dan Budiman, A. Kinetika Reaksi Esterifikasi Palm Fatty Acid Distillate (PFAD) Menjadi Biodiesel Dengan Katalis Zeolit-Zirkonia Tersulfatasi. 2013. *Jurnal Rekayasa Proses*. Vol. 7(2): 59-64.
- Matches Engineering. 2017. *Equipment Cost*. (Online). <http://www.matche.com/>. (Diakses pada 3 Mei 2021).
- Maulida, L., Nasrul, Z. A., dan Nurbaity. 2017. Hidrolisis Asam Lemak Dari Buah Sawit Sisa Sortiran. *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*. Vol. 6(2): 1-15.
- McCabe, W. L., Smith, J. C., & Harriott, P. 1993. *Unit Operation of Chemical Engineering 5th Edition*. New York: McGraw-Hill.

- Muyassaroh, Daryono, E. D., dan Hudha, M. I. 2012. Biodiesel dari Minyak Jarak Pagar dengan Variasi Penambahan Co-Solvent dan Waktu Reaksi. *Jurnal Teknik Kimia*. Vol. 7(1): 8-11.
- Oko, S. dan Syahrir, I. 2018. Sintesis Biodiesel dari Minyak Sawit Menggunakan Katalis CaO Superbasa dari Pemanfaatan Limbah Cangkang Telur Ayam. *Jurnal Teknologi*. Vol. 10(2): 113-121.
- Perry, R. H. 1997. *Perry's Chemical Engineers' Handbook 7th Edition*. United States of America. The McGraw Hill Companies.
- Perry, R. H. 2008. *Perry's Chemical Engineers' Handbook 8th Edition*. United States of America. The McGraw Hill Companies.
- Peters, M. S. dan Timmerhaus, K. D. 1991. *Plant Design and Economics for Chemical Engineers, Edisi 4*. Singapore: McGraw Hill.
- Purnomo, V., Hidayatullah, A. S., In'am, A. J., Prastuti, O. P., Septiani, E. L., dan Herwoto, R. P. 2020. Biodiesel dari Minyak Jarak Pagar dengan Transesterifikasi Metanol Subkritis. *Jurnal Teknik Kimia*. Vol. 14(2): 73-79.
- Purwanto, E. 2020. Produksi Dan Karakterisasi Bahan Bakar Green Diesel Dari Pirolisis Minyak Jelantah Berbantuan Gelombang Mikro. *Skripsi*. Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang. Semarang.
- Putri, S. K., Supranto, dan Sudiyo, R. 2012. Studi Proses Pembuatan Biodiesel Dari Minyak Kelapa (Coconut Oil) Dengan Bantuan Gelombang Ultrasonik. *Jurnal Rekayasa Proses*. Vol. 6(1): 20-25.
- Putri, D. E., Azis, Y., dan Alfarisi, C. D. 2018. Sintesis Biodiesel Dari Palm Fatty Acid Distillate (PFAD) Menggunakan Katalis Cu-HAp Dengan Variasi Kecepatan Pengadukan dan Waktu Reaksi. *Jom FTEKNIK*. Vol. 5(2): 1-5.
- Rahkadima, Y. T. dan Abdi, P. 2016. Produksi Biodiesel dari Minyak Jelantah Menggunakan Katalis Kalsium Oksida. *Journal of Research and Technologies*. Vol.2 (1): 44-48.
- Reid, R. C., Sherwood, T. K., dan Prausnitz, J. M. 1977. *The Properties of Gases and Liquids 3th Edition*. New York: McGraw-Hill.

- Rengga, W. D. P. dan Ernawati, R. E. 2012. Biodiesel dari Campuran Lemak Sapi (Beef Tallow) dan Minyak Sawit. *Jurnal Bahan Alam Terbarukan*. Vol. 1(1): 16-24.
- Richardson, J. F., Harker, J. H., dan Backhurst, J. R. 2002. *Coulson and Richardson's Chemical Engineering 5th Edition, Volume 2: Particle Technology & Separation Processes*. New York: Butterworth-Heinemann.
- Ristianingsih, Y., Hidayah, N., dan Sari, F. W. 2015. Pembuatan Biodiesel dari Crude Palm Oil (CPO) Sebagai Bahan Bakar Alternatif Melalui Proses Transesterifikasi Langsung. *Jurnal Teknologi Agro-Industri*. Vol. 2(1): 1-8.
- Rohman, G. A. N., Fatmawati, F., dan Mahfud, M. 2015. Pembuatan Biodiesel Dari Minyak Kelapa Menggunakan Microwave Penggunaan Katalis KOH Dengan Konsentrasi Rendah. *Jurnal Teknik ITS*. Vol. 5(2): 225-227.
- Rumah Dijual.com. 2021. Jual Beli Murah dan Cepat. (Online). <https://rumahdijual.com/pekanbaru/661686-tanah-dekat-kawasan-industri-pelintung-dumai.html>. (Diakses pada Tanggal 15 Mei 2021).
- Rumah.com. 2013. *Situs Properti Terdepan di Indonesia*. (Online). <http://www.rumah123.com>. (Diakses pada Tanggal 15 Mei 2021).
- Said, M., Belinda, A., dan Saputra, A. 2009. Pembuatan Biodiesel Dari Minyak Jarak Pagar Dengan Katalis NaOH. *Jurnal Teknik Kimia*. Vol. 16(1): 9-17.
- Said, M., Septiarty, W., dan Tutiwi, T. 2010. Studi Kinetika Reaksi pada Metanolisis Minyak Jarak Pagar. *Jurnal Teknik Kimia*. Vol. 17(1): 15-22.
- Santoso, B. B. 2010. *Deskripsi Botani Jarak Pagar Jatropha curcas L.* Lombok: Arga Puji Press.
- Sari, S. U. R. 2019. Analisa Kuantitatif Asam Lemak Dari Minyak Kelapa Sawit Stearin (Refined Bleached Deodorized Palm Stearin) di PT. SOCI Secara Kromatografi Gas. *Skripsi*. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sumatera Utara. Medan.
- Satriana, Husna, N. E., Desrina, dan Supardan, M. D. 2012. Karakteristik Biodiesel Hasil Transesterifikasi Minyak Jelantah Menggunakan Teknik Kavitasasi

- Hidrodinamik. *Jurnal Teknologi dan Industri Pertanian Indonesia*. Vol. 4(2): 15-20.
- Setiawan, H., Puspitasari, A., Retnoningtyas, E. S., dan Antaresti. 2010. Pembuatan Biodiesel dari Minyak Babi. *Widya Teknik*. Vol. 9(2): 111-120.
- Sinnott, R. K. 2005. *Coulson and Richardson's Chemical Engineering Design 4th Edition, Volume 6*. Oxford: Elsevier Butterworth-Heinemann.
- Siswani, E. D., Kristianingrum, S., dan Suwardi. 2012. Sintesis dan Karakterisasi Biodiesel dari Minyak Jelantah pada Berbagai Waktu dan Suhu. *Prosiding Seminar Nasional Penelitian, Pendidikan, dan Penerapan MIPA*. Fakultas MIPA, Universitas Negeri Yogyakarta.
- Smith, J. M. 1982. *Chemical Engineering Kinetics 2nd Edition*. New York: McGraw Hill Book Company.
- Smith, J. M., Van Ness, H. C., dan Abbott, M. M. 2001. *Introduction Chemical Engineering Thermodynamics 6th Edition*. Boston: McGraw Hill.
- Sutterlin, W. R., Long, R., Gray, L. T., dan Sawyer, H. 2018. Systems and Methods For the Non-Catalytic Production of Biodiesel From Oils. US Patent No. 0346831A1.
- Syah, D. N. A. 2006. *Biodiesel Jarak Pagar*. Depok: Agromedia Pustaka.
- The Engineering Toolbox. 2021. *Engineering ToolBox*. (Online). <https://www.engineeringtoolbox.com/>. (Diakses pada Tanggal 29 April 2021).
- Top, A. G. M. 2010. Production and Utilization of Palm Fatty Acid Distillate. *Lipid Technology*. Vol. 22(1): 11-13.
- Treybal, R. E. 1980. *Mass Transfer Operations 3rd Edition*. New York: McGraw-Hill Book Co.
- Trisnaliani, Fatria, dan Sari, I. M. 2018. Proses Produksi Biodiesel Dari Minyak Jelantah Menggunakan Microwave Hydro Distillation Dan Separasi Tekanan Tinggi. *Jurnal Kinetika*. Vol. 9(2): 25-30.
- Ulrich, G. G. 1984 *A Guide to Chemical Engineering Process Design and Economics*. New York: John Willey and Sons.

- Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 1 Tahun 1995. Tentang Perseroan Terbatas. (Online). <https://www.bphn.go.id/data/documents/95uu001.pdf>. (Diakses pada Tanggal 28 April 2021).
- Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 13 Tahun 2003. Tentang Ketenagakerjaan. (Online). http://www.kemenperin.go.id/kompetensi/UU_13_2003.pdf. (Diakses pada Tanggal 28 April 2021).
- Vataruk, W. M., Hall, R. S., dan Matley, J. 2002. Estimating Process Equipment Costs. *Chemical Engineering Journal*. Vol. 95, Hal. 66.
- Walas, S. M. 1990. *Chemical Process Equipment Selection and Design*. New York: Butterworth-Heinemann.
- Wright, R. T., Wiyono, I. E., dan Abdi, A. 2014. Indonesia Biofuels Annual. *Global Agricultural Information Network (GAIN)*. ID1420.
- Yaws, C. L. 1999. *Chemical Properties Handbook*. New York: McGraw Hill Education.
- Yemilda, Zahrina, I., dan Akbar, F. 2012. Perengkahan PFAD (Palm Fatty Acid Distillate) Dengan Katalis Zeolit Sintesis Untuk Menghasilkan Biofuel. *Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan*. Vo. 9(1): 45-50.