

**SKRIPSI
PRARANCANGAN PABRIK BIODIESEL
DARI *PALM OIL MILL EFFLUENT* (POME) DAN METHANOL
DENGAN KAPASITAS 50.000 TON/TAHUN**



**Disusun Sebagai Salah Satu Persyaratan Untuk Menyelesaikan
Pendidikan Strata Satu Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik
Universitas Setia Budi Surakarta**

Oleh:

**Nurul Ulfatimatun
(24180330D)**

**PROGRAM STUDI S1 TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SETIA BUDI
SURAKARTA
2023**

LEMBAR PERSETUJUAN**LAPORAN TUGAS AKHIR****PRARANCANGAN PABRIK BIODIESEL DARI
PALM OIL MILL EFFLUENT (POME) DAN METHANOL DENGAN
KAPASITAS 50.000 TON/TAHUN**

Oleh :

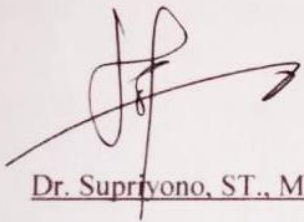
Nurul Ulfatimatun (24180330D)

Telah Disetujui Oleh Pembimbing

Pada Tanggal Juni 2023

Pembimbing I

Pembimbing II

Dr. Supriyono, ST., MT

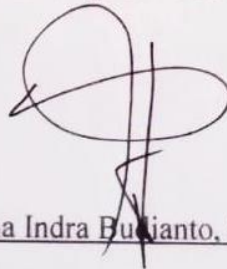
NIS. 01199508011049

Petrus Darmawan, ST., MT.

NIS. 01199905141068

Mengetahui,

Ketua Program Studi

Gregorius Prima Indra Buljianto, ST., M.Eng

NIS. 01201407261183



LEMBAR PENGESAHAN

SKRIPSI

**PRARANCANGAN PABRIK BIODIESEL DARI
PALM OIL MILL EFFLUENT (POME) DAN METHANOL DENGAN
KAPASITAS 50.000 TON/TAHUN**

Oleh :

Nurul Ulfatimatun (24180330D)

Telah Disetujui Oleh Tim Penguji

Pada Tanggal Juli 2023

Penguji I Dewi Astuti Herawati, ST.,M.Eng

Penguji II Gregorius Prima Indra Budianto, ST., M.Eng

Penguji III Petrus Darmawan, ST., MT.

Penguji IV Dr. Supriyono, ST., MT

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik

Ketua Program Studi



DrDrs. Suseno, M.Si
NIS. 01199408011044

G. Prima Indra Budianto, ST., M.Eng
NIS. 01201407261183

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

- ☞ Tidak ada ujian yang tidak bisa diselesaikan. Tidak ada kesulitan yang melebihi batas kesanggupan. Karena 'Allah tidak akan membebani seseorang melainkan sesuai dengan kadar kesanggupannya'. (QS. Al-Baqarah: 286)
- ☞ Dan mintalah pertolongan dengan sabar dan shalat. (Q.S Al-Baqarah: 45)
- ☞ Saya datang, saya bimbingan, saya ujian, saya revisi, dan saya menang.
- ☞ Ketika orang tuamu direndahkan karena pendidikan-Nya maka kamu sebagai anak angkatlah derajat orang tuamu dengan menyelesaikan pendidikanmu.
- ♥ **Terima kasihku untuk.....**

Allah Subhanahu Wa ta'ala segala puji syukur kuucapkan kepada-mu, (.. Atas rahmat dan karunia-mu... semoga kami selalu dalam lindungan-mu dan juga didalam jalan kebenaran-mu..).

Almarhum Bapak dan Ibu tercinta,... (Terima kasih atas kasih sayang yang selalu diberikan, dukungan dan kepercayaannya selama ini... untuk perjuangan dan tanggungjawab yang begitu besar ... kalian adalah segalanya bagiku... "Dua Pahlawan dalam hidupku yang mengajarkan arti dari kehidupan, yang membantuku dalam mewujudkan impian yang tidak pernah lekang oleh waktu, motivator

terbaik dalam hidupku, yang selalu menyelipkan namaku disetiap do'a –Nya. Bapak dan Ibuku tercinta, butiran keringat yang engkau teteskan menjadi wujud keberhasilan dan kebahagiaan kita bersama. Bapak semoga engkau berbahagia melihat pencapaian putrimu ini dari tempat yang jauh disana.”)

Pak Supriyono dan Pak petrus,...(Terima Kasih atas bimbingannya selama ini.. baik untuk akademis maupun tugas akhir ini...)

Bu Dewi, Pak Indra, Pak Diyon, pak Narimo, dan semua Dosen Teknik kimia USB... ...(terimakasih atas masukan-masukannya, atas ilmu yang kalian berikan selama kuliah, atas kesediaan waktu untuk selalu mendengarkan keluh kesah kami)

Semua Keluarga dan Saudara-Saudara ku, tanpa kalian aku bukan siapa – siapa

Adikku, Latifah, Rusdiana dan Imam kamulah senyum dan perjuanganku. Karena kamu aku bisa tersenyum, bertahan dan berusaha menjadi Kakak yang terbaik buat mu.

Untuk teman-temanku Fira, Annisa, Wulan, Nadia, Devia, Antonia, Afia, Riska(aku tidak mungkin sampai dititik ini tanpa kalian...)

Buat semua pihak yang telah membantu...terima kasih atas bantuannya...maafkan tidak dapat disebutkan satu per satu....

PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa skripsi ini yang berjudul **“PRARANCANGAN PABRIK BIODIESEL DARI PALM OIL MILL EFFLUENT (POME) DAN METHANOL DENGAN KAPASITAS 50.000 TON/TAHUN”**.

Adalah hasil pekerjaan saya sendiri dan tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan disuatu perguruan tinggi dan sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain. Kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar Pustaka.

Apabila Skripsi ini merupakan jiplakan dri penelitian/karya ilmiah/skripsi orang lain maka saya siap menerima sanksi, baik secara akademis maupun hukum

Surakarta, 19 Oktober 2023



Nurul Ulfatimatun
(24180330D)

KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Tuhan YME yang telah melimpahkan segala rahmat hidayah dan petunjuknya-Nya sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir prarancangan pabrik kimia ini dengan baik. Sholawat beriring salam taklupa penulis ucapkan kepada junjungan Nabi Muhammad SAW, karena beliau adalah yang membawa kita dari kehidupan jahiliah menuju kehidupan yang penuh dengan ilmu dan teknologi yang kita rasakan saat ini.

Judul Tugas Akhir ini adalah **Prarancangan Pabrik Biodiesel Dari Palm Oil Mill Effluent (POME) dan Methanol dengan Kapasitas 50.000 Ton/Tahun**. Tugas Prarancangan Pabrik Kimia merupakan tugas akhir yang harus diselesaikan oleh setiap mahasiswa Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Setia Budi Surakarta sebagai prasyarat untuk menyelesaikan jenjang studi sarjana. Dengan tugas ini diharapkan kemampuan penalaran dan penerapan teori-teori yang telah diperoleh selama kuliah dapat berkembang dan dapat dipahami dengan baik.

Penyusunan laporan tugas akhir ini tidak lepas dari bantuan dan bimbingan serta dorongan dari berbagai pihak. Melalui laporan ini penyusun ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Allah Subhanahu Wa ta'ala yang telah memberikan kemudahan dalam menyelesaikan skripsi ini.
2. Almarhum Bapak Nurhidayat dan Ibu Karni tercinta atas semua cinta, kasih sayang, pengorbanan dan untaian do'anya yang tak pernah henti-hentinya memberikan dukungannya kepada penulis serta semua yang terbaik yang telah diberikan kepada penulis selama ini, kalianlah sumber motivasiku.
3. Dr. Djoni Tarigan, MBA., selaku Rektor Universitas Setia Budi Surakarta.
4. Drs. Suseno, M.Si selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Setia Budi Surakarta.
5. Ir. Dewi Astuti H, ST., M.Eng., selaku Ketua Program Studi Teknik kimia, Fakultas Teknik, Universitas Setia Budi Surakarta.
6. Dr. Supriyono, S.T.,M.T. selaku pembimbing I, yang dengan kesabarannya telah memberikan bimbingan kepada penulis hingga terselesainya tugas akhir ini.

7. Ir. Petrus Darmawan, S.T.,M.T., selaku pembimbing II, yang telah memberikan bimbingan dan nasehat hingga selesainya tugas akhir ini.
8. Ir. Dewi Astuti H, ST., M.Eng. dan Gregorius Prima Indra Budiarto, ST., M.Eng., selaku dosen penguji yang telah meluangkan waktunya untuk menguji hasil laporan tugas akhir ini.
9. Bapak dan Ibu dosen program studi teknik kimia atas ilmu dan bimbingannya selama kuliah.
10. Teman - teman seperjuangan Teknik Kimia 2018
11. Sahabat – sahabat penulis Fira, Annisa, Wulan, dan Nadia.
12. Partner Skripsi Devia
13. Serta semua yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam skripsi ini, untuk itu saran dan kritik yang membangun dari pembaca sangat penulis harapkan. Dan semoga laporan ini bermanfaat bagi semua pihak.

Surakarta, 2023

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PERSETUJUAN	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
MOTTO DAN PERSEMBAHAN	iv
PERNYATAAN	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR GRAFIK	xix
DAFTAR GAMBAR	xx
INTISARI	xxii
ABSTRAK	xxiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Pendirian Pabrik	1
1.2 Kapasitas Rancangan	2
1.2.1 Ketersediaan Bahan Baku	3
1.2.2 Kapasitas Pabrik Yang Beroperasi	3
1.2.3 Peluang Pasar	4
1.2.4 Penetapan Kapasitas Rancangan Pabrik Biodiesel	7
1.3 Lokasi	7
1.3.1 Faktor-faktor Primer	8
1.3.2 Faktor-faktor Sekunder	10
1.4 Macam-macam proses	10
1.5 Tinjauan Pustaka	16
1.5.1 Sifat Fisis dan Kimia Bahan Baku, Bahan Pendukung dan Produk	16
1.5.2 Proses Yang Dipilih Dalam Pembuatan Biodiesel	21
BAB II SPESIFIKASI BAHAN	27
2.1 Spesifikasi Bahan Baku	27
2.2 Spesifikasi Bahan Pembantu	28
2.3 Spesifikasi Produk	30
BAB III DESKRIPSI PROSES	33
3.1 Uraian Proses Pembuatan Biodiesel	33
3.2 Diagram alir Proses	35
3.2.1 Diagram Alir Kualitatif	35

3.2.1	Diagram Alir Kuantitatif.....	35
BAB IV	NERACA MASSA DAN NERACA ENERGI.....	38
4.1	Neraca Massa.....	38
4.1.1	Neraca Massa Decanter-1	41
4.1.2	Neraca Massa Mixer-1	42
4.1.2	Neraca Massa Reaktor-1	43
4.1.3	Neraca Massa Decanter-2	43
4.1.4	Neraca Massa Wash Tank-1	44
4.1.5	Neraca Massa Decanter-3	45
4.1.6	Neraca Massa Wash Tank-2.....	46
4.1.7	Neraca Massa Decanter-4	46
4.1.8	Neraca Massa Tangki Penampung- 1	47
4.1.9	Neraca Massa Mixer-2.....	48
4.1.10	Neraca Massa Reaktor-2.....	48
4.1.11	Neraca Massa Decanter-5	49
4.1.12	Neraca Massa Wash Tank-3	50
4.1.13	Neraca Massa Decanter-6	51
4.1.14	Neraca Massa Wash Tank-4	52
4.1.15	Neraca Massa Decanter-7	52
4.1.16	Neraca Massa Tangki Penampung-2	53
4.1.18	Neraca Massa Drayer-1	54
4.2	Neraca Massa Overall.....	55
4.3	Neraca Energi	56
4.2.1	Neraca Energi Decanter-1.....	60
4.2.2	Neraca Energi Heater-1	60
4.2.3	Neraca Energi Mixer-1	61
4.2.4	Neraca Energi Heater-2	62
2.2.5	Neraca Energi Reaktor-1	62
2.2.6	Neraca Energi Cooler-1	64
2.2.7	Neraca Energi Decanter-2.....	64
2.2.8	Neraca Energi Wash Tank-1.....	65
2.2.9	Neraca Energi Decanter-3.....	66
2.2.10	Neraca Energi Wash Tank-2.....	66
2.2.11	Neraca Energi Decanter-4.....	67
2.2.12	Neraca Energi Tangki Penampung- 1	68

2.2.13	Neraca Energi Mixer-2	68
2.2.14	Neraca Energi Heater-04	69
2.2.15	Neraca Energi Reaktor-2	70
2.2.16	Neraca Energi Cooler-3	71
2.2.17	Neraca Energi Decanter-5.....	72
2.2.18	Neraca Energi Wash Tank-3.....	73
2.2.19	Neraca Energi Wash Tank-4.....	74
2.2.20	Neraca Energi Tangki Penampung- 2	75
2.2.21	Neraca Energi Coller-5	76
2.2.22	Neraca Energi Dryer	77
BAB V	SPESIFIKASI ALAT.....	78
5.1	Alat Penyimpan Bahan Baku dan Produk	78
5.1.1	Tangki Penyimpan Palm Oil Mill Efluent (POME).....	78
5.1.2	Tangki penyimpanan Methanol (CH ₃ OH)	78
5.1.3	Tangki Penyimpan H ₂ SO ₄	79
5.1.4	Tangki penyimpanan NaOH.....	80
5.1.5	Tangki penyimpanan Produk Biodiesel	81
5.1.6	Silo Penyimpan Na ₂ SO ₄	81
5.2	Alat Pemisah Decanter.....	82
5.2.1	Decanter 1	82
5.2.2	Decanter 2.....	83
5.2.3	Decanter 3.....	84
5.2.4	Decanter 4.....	85
5.2.5	Decanter 5.....	86
5.2.6	Decanter 6.....	87
5.2.7	Decanter 7.....	88
5.3	Alat Mixer	89
5.3.1.	Mixer 1.....	89
5.3.2	Mixer 2.....	90
5.4	Reaktor.....	90
5.4.1	Reaktor Esterifikasi	90
5.4.2	Reaktor Transesterifikasi	91
5.5	Wash Tank	92
5.5.1	Wash Tank 1	92

5.5.2	Wash Tank 2	92
5.5.3	Wash Tank 3	93
5.5.4	Wash Tank 4	93
5.6	Dryer	94
5.7	Alat Pemanas (Heater)	95
5.7.1	Heatexchanger 1 (Heater)	95
5.7.2	Heatexchanger 2 (Heater)	95
5.7.3	Heatexchanger 3 (Heater)	96
5.8	Alat Pendingin (Cooler)	96
5.8.1	Heatexchanger 1 (Cooler)	96
5.8.2	Heatexchanger 2 (Cooler)	97
5.8.3	Heatexchanger 3 (Cooler)	97
5.9	Alat Pompa	98
5.9.1	Pompa 1	98
5.9.2	Pompa 2	98
5.9.3	Pompa 3	99
5.9.4	Pompa 4	99
5.9.5	Pompa 5	100
5.9.6	Pompa 6	100
5.9.7	Pompa 7	101
5.9.8	Pompa 8	101
5.9.9	Pompa 9	102
5.9.10	Pompa 10	102
5.9.11	Pompa 11	102
5.9.12	Pompa 12	103
5.9.13	Pompa 13	103
5.9.14	Pompa 14	104
5.9.15	Pompa 15	104
5.9.16	Pompa 16	105
5.9.17	Pompa 17	105
5.9.18	Pompa 18	106
5.9.19	Pompa 19	106
5.9.20	Pompa 20	107
5.9.21	Pompa 21	107
5.9.22	Pompa 22	108
5.9.23	Pompa 23	108
5.9.24	Pompa 24	109
5.9.25	Pompa 25	109

	5.9.26 Pompa 26	109
	5.9.27 Pompa 27	110
	5.9.28 Pompa 28	110
	5.9.29 Pompa 29	111
	5.9.30 Pompa 30	111
	5.9.31 Pompa 31	112
	5.9.36 Pompa 36	112
	5.9.32 Pompa 32	113
	5.9.33 Pompa 33	113
	5.9.34 Pompa 34	114
	5.9.35 Pompa 35	114
	5.9.36 Pompa 36	114
	5.10. Screw Conveyor	115
BAB VI	UNIT PENUNJANG PROSES (UTILITAS)	116
6.1	Unit Penunjang Proses (Utilitas)	116
6.1.1	Unit Pengadaan dan Pengelolaan Air	116
6.1.2	Unit Pengadaan Steam	125
6.1.3	Unit Pengolahan Air limbah	127
6.1.4	Unit Pengadaan Bahan Bakar	127
6.1.5	Unit Pengadaan Tenaga Listrik	128
6.1.6	Unit Laboratorium	130
6.1.7	Unit Kesehatan Dan Keselamatan Kerja	132
6.2	Alat-Alat Pendukung Utilitas	133
BAB VII	ORGANISASI DAN TATALETAK PABRIK	144
7.1	Bentuk Perusahaan	144
7.2	Struktur Organisasi Perusahaan	145
7.3	Tugas Dan Wewenang	148
7.4	Sistem Kepegawaian dan Sistem Gaji	152
7.4.1	Sistem Kepegawaian	152
7.4.2	Pembagian Jam Kerja Karyawan	154
7.4.3	Jumlah Karyawan	156
7.4.4	Sistem Gaji	159
7.5	Kesejahteraan Karyawan	161
7.6	Management Produksi	162
7.6.1	Perencanaan Produksi	162
7.6.2	Pengendalian Proses	163

7.7	Tata Letak (<i>Lay Out</i>) Pabrik.....	164
7.8	Tata Letak Alat	167
BAB VIII EVALUASI EKONOMI.....		171
8.1	Penaksiran Harga Peralatan	171
8.2	Dasar Perhitungan	173
8.2	Perhitungan Biaya	173
8.3	Analisa Kelayakan.....	174
8.4	Hasil Perhitungan	175
8.5	Analisis Ekonomi	177
BAB IX KESIMPULAN.....		181

DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1	Kapasitas pabrik pengolahan kelapa sawit.....	3
Tabel 1.2	Kapasitas pabrik yang Sudah Beroperasi Menggunakan Bahan Baku <i>Crude Palm Oil</i> (CPO)	4
Tabel 1.3	Produksi, Ekpor, Konsumsi Biodiesel Tahun 2015-2019. 5	
Tabel 1. 4	Keunggulan Dan Kelemahan Metode	15
Tabel 1. 5	Karakteristik POME.....	16
Tabel 1. 6	Kondisi Operasi.....	22
Tabel 1. 7	Parameter kinetika.....	25
Tabel 2. 1	Kandungan limbah Palm Oil Mill Effluent (POME)	27
Tabel 2. 2	Baku mutu air limbah.....	27
Tabel 2. 3	Sifat fisis dari metanol.....	28
Tabel 2. 4	Sifat Fisis Air	29
Tabel 2. 5	Sifat Fisis Natrium Hidroksida.....	29
Tabel 2. 6	Sifat Fisis Asam Sulfat.....	30
Tabel 2. 7	Spesifikasi biodiesel berdasarkan European Standard	31
Tabel 2. 8	Standar biodiesel SNI 7182:2015.....	31
Tabel 4. 1	Data Berat Molekul Dari Setiap Komponen	39
Tabel 4. 2	Data Komponen Free Fatty Acid (FFA), Trigliserida, Dan Metil Ester	40
Tabel 4. 3	Neraca Massa Disekitar Decanter-1	42
Tabel 4. 4	Neraca Massa Disekitar Mixer-1.....	42
Tabel 4. 5	Neraca Massa Disekitar Reaktor-01	43
Tabel 4. 6	Neraca Massa Disekitar Decanter-2.....	44
Tabel 4. 7	Neraca Massa Disekitar Wash Tank-1	45
Tabel 4. 8	Neraca Massa Disekitar Decanter-3	46
Tabel 4. 9	Neraca Massa Disekitar Wash Tank-2	46
Tabel 4. 10	Neraca Massa Disekitar Decanter-4.....	47
Tabel 4. 11	Neraca Massa Disekitar Tangki Penampung-1	48
Tabel 4. 13	Neraca Massa Disekitar Mixer-2.....	48
Tabel 4. 13	Neraca Massa Disekitar Reaktor-2.....	49

Tabel 4. 14	Neraca Massa Disekitar Decanter-5	50
Tabel 4. 15	Neraca Massa Disekitar Wash Tank-3	51
Tabel 4. 16	Neraca Massa Disekitar Decanter-6	51
Tabel 4. 17	Neraca Massa Disekitar Wash Tank-4	52
Tabel 4. 18	Neraca Massa Disekitar Decanter-7	53
Tabel 4. 19	Neraca Massa Disekitar Tangki Penampung-2	54
Tabel 4. 20	Neraca Massa Disekitar Drayer-1	55
Tabel 4. 21	Neraca Massa Overall	55
Tabel 4. 24	Data <i>Critical Properties</i>	57
Tabel 4. 25	Data Kapasitas Panas	58
Tabel 4. 26	Data Kapasitas Panas Gas	58
Tabel 4. 27	Data Entalpi Penguapan	59
Tabel 4. 28	Data Densitas Cairan	59
Tabel 4. 29	Data $\Delta H^{\circ}F$, Densitas Dan Berat Molekul.....	59
Tabel 4. 28	Neraca Energi Decanter-1	60
Tabel 4. 29	Neraca Energi Heater-1	61
Tabel 4. 30	Neraca Energi Mixer-1	61
Tabel 4. 31	Neraca Energi Heater-2	62
Tabel 4. 32	Neraca Energi Reaktor-1	63
Tabel 4. 33	Neraca Energi Coller-1.....	64
Tabel 4. 34	Neraca Energi Decanter-2	65
Tabel 4. 35	Neraca Energi Wash Tank-1	65
Tabel 4. 37	Neraca Energi Decanter-2	66
Tabel 4. 38	Neraca Energi Wash Tank-2	67
Tabel 4. 38	Neraca Energi Decanter-4	67
Tabel 4. 39	Neraca Tangkli Penampung-1	68
Tabel 4. 40	Neraca Energi Mixer-2.....	69
Tabel 4. 41	Neraca Energi Heater-4.....	69
Tabel 4. 42	Neraca Energi Reaktor-02.....	71

Tabel 4. 43	Neraca Energi Coller-3.....	71
Tabel 4. 48	Neraca Energi Decanter-5	72
Tabel 4. 45	Neraca Energi Wash Tank-3	73
Tabel 4. 50	Neraca Energi Decanter-6	74
Tabel 4. 51	Neraca Energi Wash Tank-03	74
Tabel 4. 52	Neraca Energi Decanter-7	75
Tabel 4. 53	Neraca Energi Tangki penampung-02.....	76
Tabel 4. 57	Neraca Energi Coller-5.....	77
Tabel 4. 58	Neraca Energi Dryer-01	77
Tabel 7. 7	Kualifikasi Karyawan.....	152
Tabel 7. 8	Pembagian Shift Karyawan	156
Tabel 7. 9	Jumlah Karyawan <i>Non-Shift</i>	157
Tabel 7. 10	Jumlah Karyawan Produksi.....	158
Tabel 7. 11	Jumlah Karyawan Utilitas	158
Tabel 7. 12	Jumlah Karyawan Keamanan	158
Tabel 7. 13	Jumlah Karyawan Kesehatan	159
Tabel 7. 14	Total Jumlah Karyawan <i>Shift</i>	159
Tabel 7. 15	Daftar gaji karyawan	160
Tabel 7. 16	Luas Bangunan dan Tanah	167
Tabel 8. 1	Cost Index cemical plant	172
Tabel 8. 2	Fixed Capital investment.....	175
Tabel 8. 3	Working Capital	176
Tabel 8. 4	Manufakturing Cost.....	176
Tabel 8. 5	General Expenses	177
Tabel 8. 6	Fixed Cost	178
Tabel 8. 7	Variable Cost.....	178
Tabel 8. 8	Regulate Cost	179
Tabel 9. 1	Analisi Kelayakan Ekonomi.....	181



UNIVERSITAS
SETIA BUDI

Prarancangan Pabrik Biodiesel dari Palm Oil Mill Effluent (POME) dan Methanol dengan Kapasitas 50.000 Ton/Tahun

DAFTAR GRAFIK

Grafik 1.1 Produksi Biodiesel Tahun 2015-2019.....	5
Grafik 1.2 Ekspor biodiesel tahun 2015-2019.....	6
Grafik 1.3 Konsumsi biodiesel tahun 2015-2019.....	6
Grafik 8. 1 Cost Index Chemical Plant.....	172
Grafik 8. 2 BEP dan SDP	179

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1	Karang Rejo, Kec. Semaka, Kabupaten Tanggamus,....	8
Gambar 1. 2	Esterifikasi	12
Gambar 1. 3	Persamaan Reaksi Transesterifikasi	12
Gambar 1. 4	Mekanisme <i>Log and Key</i>	15
Gambar 1. 5	Reaksi Esterifikasi	23
Gambar 1. 6	Reaksi Transesterifikasi.....	23
Gambar 1. 7	Reaksi Esterifikasi	24
Gambar 4. 1	Skema Neraca Massa Decanter-1	42
Gambar 4. 2	Skema Neraca Massa Mixer-1	42
Gambar 4. 3	Skema Neraca massa Reaktor-1	43
Gambar 4. 4	Skema Neraca Massa Decanter-2	44
Gambar 4. 5	Skema Neraca Massa Wash Tank-1	45
Gambar 4. 6	Skema Neraca Massa Decanter-3	45
Gambar 4. 7	Skema Neraca Massa Wash Tank-2	46
Gambar 4. 8	Skema Neraca Massa Decanter-4	47
Gambar 4. 9	Skema Neraca Massa Tangki Penampung-1	47
Gambar 4. 11	Skema Neraca Massa Mixer-2.....	48
Gambar 4. 12	Skema Neraca Massa Reaktor-01	49
Gambar 4. 12	Skema Decanter-5	50
Gambar 4. 13	Skema Neraca Massa Wash Tank-3	50
Gambar 4. 14	Skema Neraca Massa Decanter-6	51
Gambar 4. 15	Skema Neraca Massa Wash Tank-4	52
Gambar 4. 16	Skema Neraca Massa Decanter-7	53
Gambar 4. 17	Neraca Massa Tangki Penampung-2	54
Gambar 4. 18	Skema Neraca Massa Drayer-1	54
Gambar 4. 21	Skema Neraca Energi Heater-01	60
Gambar 4. 20	Skema Neraca Energi Decanter-01.....	60
Gambar 4. 21	Skema Neraca Energi Mixer-1	61

Gambar 4. 23	Skema Neraca Energi Heater-2	62
Gambar 4. 23	Skema Neraca Energi Reaktor-1	62
Gambar 4. 24	Skema Neraca Energi Coller-1	64
Gambar 4. 25	Skema Neraca Energi Decanter-2.....	64
Gambar 4. 26	Skema Neraca Energi Wash Tank-1.....	65
Gambar 4. 30	Skema Neraca Energi Decanter-3.....	66
Gambar 4. 31	Skema Neraca Energi Wash Tank-2.....	66
Gambar 4. 29	Skema Neraca Energi Decanter-4.....	67
Gambar 4. 30	Skema Neraca Energi Tangki Penampung-1	68
Gambar 4. 31	Skema Neraca Energi Mixer-2	68
Gambar 4. 32	Skema Neraca Energi Heater-4	69
Gambar 4. 33	Skema Neraca Energi Reaktor-2	70
Gambar 4. 34	Skema Neraca Energi Coller-3	71
Gambar 4. 41	Skema Neraca Energi Decanter-5.....	72
Gambar 4. 36	Skema Neraca Energi Wash Tank-3.....	73
Gambar 4. 43	Skema Neraca Energi Decanter-6.....	73
Gambar 4. 44	Skema Neraca Energi Wash Tank-4.....	74
Gambar 4. 45	Skema Neraca Energi decanter-7	75
Gambar 4. 46	Skema Neraca Energi Tangki Penampung-2.....	75
Gambar 4. 50	Skema Neraca Energi Coller-5	76
Gambar 4. 51	Skema Neraca Dryer-01	77
Gambar 6. 1	Diagram Alir Pengolahan Air.....	123

INTISARI

Prarancangan pabrik biodiesel dari palm oil mill effluent (POME) dan methanol dengan menggunakan katalis asam sulfat (H_2SO_4) dan Natrium hidroksida (NaOH) memberikan prospek yang sangat cerah dalam dunia perindustrian mengingat belum adanya pabrik yang memproduksi di Indonesia. Pabrik tersebut direncanakan beroperasi selama 330 hari/tahun diatas area sebesar 23.000 m² yang akan didirikan pada tahun 2027, Lokasi perencanaan pendirian pabrik biodiesel adalah di wilayah Sumatera yaitu di Karang Rejo, Kec. Semaka, Kabupaten Tanggamus, Lampung. Pabrik ini beroperasi dengan kapasitas 50.000 ton/tahun, dengan pertimbangan dapat memenuhi kebutuhan dalam negeri.

Proses pembuatan biodiesel berlangsung pada fase cair dengan menggunakan reaktor alir tangki berpengaduk (RATB) dengan kondisi tekanan 1 atm, suhu 60°C. Reaksi pada proses ini adalah reaksi esterifikasi dan transesterifikasi. Kebutuhan POME sebesar 24044,038 kg/jam, Methanol sebesar 1725,613 kg/jam dan 1577,156 kg/jam. Untuk kebutuhan katalis H_2SO_4 36,673 Kg/jam dan NaOH 128,974 Kg/ jam. Produk berupa biodiesel sebesar 6.313,1313 kg/jam. Untuk menunjang proses produksi, maka didirikan unit pendukung yaitu unit penyediaan air sebesar 12888,974kg/jam. Kebutuhan listrik diperoleh dari PLN dan dua buah *generator set* sebesar 500 kW sebagai cadangan, bahan bakar sebanyak 0,0712 m³/jam dan udara tekan sebesar 50 m³/jam.

Dari analisa ekonomi yang dilakukan terhadap pabrik ini dengan modal tetap (FCI) Rp 400.187.573.720,23 dan modal kerja Rp 130.686.609.512,08. Keuntungan sebelum pajak Rp 50.283.935.156,85 pertahun setelah dipotong pajak sebesar 30% keuntungan mencapai Rp 15.085.180.547,05 pertahun. *Return On Investment* (ROI) sebelum pajak 65,338% dan setelah pajak 45,737 %. *Pay Out Time* (POT) sebelum pajak adalah 1,32 tahun dan setelah pajak 1,79 tahun. *Break Even Point* (BEP) sebesar 47,195% *Shut Down Point* (SDP) sebesar 15,98 % dan *Discounted Cash Flow* (DCF) sebesar 5,75% Dari data analisis kelayakan diatas dapat disimpulkan bahwa pabrik ini menguntungkan dan layak didirikan

Kata kunci : Palm Oil Mill Effluent (POME), Methanol, H_2SO_4 , NaOH, Esterifikasi, Transesterifikasi, Reaktor Alir Tangki Berpengaduk

ABSTRAK

The design of a biodiesel factory from palm oil mill waste (POME) and methanol using sulfuric acid (H_2SO_4) and sodium hydroxide (NaOH) catalysts provides very bright prospects in the industrial world considering that there are no factories producing it in Indonesia. The factory is planned to operate for 330 days/year over an area of 23,000 m² and will be established in 2027. The location for the planned establishment of the biodiesel factory is in the Sumatra region, namely in Karang Rejo, Kec. Semaka, Tanggamus Regency, Lampung. This factory operates with a capacity of 50,000 tons/year, with the consideration that it can meet domestic needs.

The process of making biodiesel takes place in the liquid phase using a stirred tank flow reactor (RATB) with pressure conditions of 1 atm, temperature 60°C. The reactions in this process are esterification and transesterification reactions. The need for POME is 24044.038 kg/hour, Methanol is 1725.613 kg/hour and 1577.156 kg/hour. For catalyst requirements H_2SO_4 is 36,673 Kg/hour and NaOH is 128,974 Kg/hour. The product in the form of biodiesel is 6,313.1313 kg/hour. To support the production process, a supporting unit was established, namely an air supply unit of 12888.974kg/hour. Electricity needs are obtained from PLN and two generator sets of 500 kW as backup, fuel of 0.0712 m³/hour and air pressure of 50 m³/hour.

From the economic analysis carried out on this factory with fixed capital (FCI) IDR 400,187,573,720.23 and working capital IDR 130,686,609,512.08. Profit before tax is IDR 50,283,935,156.85 per year after tax is deducted by 30%, profit reaches IDR 15,085,180,547.05 per year. Return On Investment (ROI) before tax 65.338% and after tax 45.737%. Pay Out Time (POT) before tax is 1.32 years and after tax 1.79 years. Break Even Point (BEP) is 47.195% Shut Down Point (SDP) is 15.98% and Discounted Cash Flow (DCF) is 5.75%. From the feasibility data analysis above, it can be concluded that this factory is profitable and worth building.

Keywords: Palm Oil Mill Waste (POME), Methanol, H_2SO_4 , NaOH, Esterification, Transesterification, Stirred Tank Flow Reacto



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Pendirian Pabrik

Indonesia adalah salah satu negara agraris di dunia yang menghasilkan minyak. Namun di Indonesia jumlah fasilitas pengolahan untuk menghasilkan bahan bakar minyak (BBM) terbatas. Hal ini mengharuskan Indonesia untuk mengimpor bahan bakar minyak (BBM) untuk mengatasi permasalahan dalam negeri yang terus meningkat dengan cepat. Dunia modern membutuhkan bahan bakar untuk berbagai tujuan, seperti transportasi, pembangkit listrik, dan banyak lagi. Kebutuhan akan bahan bakar terus meningkat, yang berarti stok bahan bakar di Indonesia semakin terkuras. Sedangkan menurut Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Ketersediaan cadangan minyak Indonesia tersedia untuk 9,5 tahun. Karena hal ini, maka diperlukan Sumber energi alternatif untuk mengganti bahan bakar minyak untuk mengantisipasi krisis energi (Kementerian ESDM, 2021).

Untuk mengatasi kekurangan energi yang sedang berlangsung, diperlukan sumber energi pilihan yang dapat menggantikan turunan minyak bumi (BBM). Sebagai akibat dari kondisi ini, banyak spesialis mengembangkan sumber energi alternatif yang tidak berbahaya bagi ekosistem. Salah satu konsekuensi dari perbaikan pemeriksaan yang dilakukan adalah biodiesel. Biodiesel adalah bahan bakar nabati untuk aplikasi mesin/motor diesel berupa ester metil asam lemak (*fatty acid methyl ester/ FAME*) yang terbuat dari minyak nabati atau lemak hewani melalui proses esterifikasi/transesterifikasi. Biodiesel adalah salah satu alternatif energi pengganti solar. Adapun kelebihan dari biodiesel ini memiliki sifat *renewable* (dapat diperbaharui), *biodegradable* (dapat terurai dengan mudah), *non-drying oil* (minyak tidak mengering) sehingga sifatnya pelumas terhadap piston mesin, serta mampu mengurangi efek rumah kaca emisi karbondioksida dan emisi karbon dioksida. Pengakuan penggunaan biodiesel sebagai pengganti bahan bakar solar semakin diakui mengingat fakta bahwa biodiesel tidak berbahaya bagi ekosistem dan menghasilkan pembuangan asap yang lebih baik dibandingkan bahan bakar



diesel. Sebab bebas sulfur, terbakar sempurna (*clean burning*), bilangan asap rendah (*smoke number*) dan tidak beracun (*non toxic*). Selain menggantikan energi surya, keanekaragaman tanaman perkebunan di Indonesia memberikan peluang untuk biodiesel. Kelapa sawit adalah salah satunya (EBTAKE, 2019); (Daryono, 2020) .

Di Indonesia industri biodiesel sudah ada. Bahan baku pembuatan biodiesel yang digunakan kebanyakan adalah *Crude Palm Oil* (CPO), sementara limbah yang dihasilkan dalam pembuatan CPO yaitu *Palm Oil Mill Effluent* (POME) masih belum banyak diolah. POME adalah limbah cair kelapa sawit yang tidak berbahaya (tidak beracun) yang berasal dari kondensat, stasiun klarifikasi, dan hydrosilikon. Memiliki kandungan organik di dalamnya dan memiliki kadar biologis oksigen kebutuhan (BOD) 18.000-48.000 mg/L dan kemiskinan oksigen kebutuhan (COD) 45.000-65.000 mg/L. Secara umum, untuk menghasilkan 1 ton CPO dibutuhkan 5-7 ton air, dan 50% dari proses tersebut menjadi PO. POME terdiri dari 73% air, 8-16,1% trigliserida dan FFA, 2,4% kotoran (Mirnandaulia et al., 2019).

Didirikannya pabrik biodiesel di Indonesia diharapkan mampu untuk memenuhi kebutuhan biodiesel di seluruh wilayah Indonesia. Kemudian juga bertujuan untuk mendukung berlangsungnya program pemerintah yang telah menetapkan penggunaan bahan bakar campuran biodiesel sebanyak 30% (B30) sebagai bahan bakar mesin diesel dan telah di implementasikan sejak tanggal 1 Januari 2020 menurut Peraturan Menteri ESDM No.12 Tahun 2015 (EBTAKE, 2019). Selain itu juga diharapkan dapat memberikan keuntungan sebagai berikut:

- a) Mengurangi pemakaian bahan bakar diesel subsidi;
- b) Menghemat sumber devisa negara karena dapat mengurangi ketergantungan impor minyak mentah;
- c) Mengurangi polusi udara karena dapat mengeliminasi gas buangan dan efek rumah kaca;
- d) Membuka lapangan kerja baru.

1.2 Kapasitas Rancangan

Indonesia memiliki pabrik biodiesel yang kapasitasnya cukup besar. Namun pabrik biodiesel yang sudah beroperasi di Indonesia menggunakan bahan baku *Crude Palm Oil* (CPO), Sedangkan

pabrik biodiesel yang berbahan baku *Palm Oil Mill Effluent* (POME) belum ada di Indonesia. Dalam rancangan pembangunan pabrik ini penentuan kapasitas dilihat dari beberapa hal sebagai pertimbangan, yaitu:

1.2.1 Ketersediaan Bahan Baku

Lini produksi biodiesel ingin dibuat di dekat pabrik pemrosesan pengolahan minyak sawit, hal ini diharapkan dapat mengurangi biaya pengangkutan bahan alami. Batasan penanganan tanaman kelapa sawit yang tersebar di berbagai kabupaten pun tidak jauh berbeda. Batasan pabrik penanganan kelapa sawit ditampilkan pada tabel 1.1

Tabel 1. 1 Kapasitas pabrik pengolahan kelapa sawit

Pulau	Kapasitas (TON tandan buah segar/ jam)
Sumatera 505 pabrik	22.905
Kalimantan 257 pabrik	13.989
Sulawesi 19 pabrik	890
Maluku, Papua 8 pabrik	484
Jawa, Bali, NTT	50
JUMLAH	38.319

Sumber: www.pertanian.go.id

Menurut Dirjen Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, kapasitas pengolahan kelapa sawit mentah di Indonesia mencapai 38.319 ton/jam, dengan hasil POME sebanyak 583 kilogram per ton buah segar. Dengan demikian, data produksi tahun 2019 menunjukkan bahwa jumlah POME yang dihasilkan dari proses produksi CPO adalah 22.339.977 kg/jam. Dengan demikian dapat menentukan kapasitas pabrik menggunakan pertimbangan ketersediaan bahan baku POME dengan asumsi pabrik beroperasi dalam 1 tahun selama 300 hari dan setiap harinya beroperasi selama 24 jam maka diperoleh 160.847,8344 Ton/tahun.

1.2.2 Kapasitas Pabrik Yang Beroperasi

Kapasitas Pabrik yang sudah beroperasi di Indonesia juga merupakan faktor penentu Kapasitas pabrik yang akan didirikan pada tahun 2027. Kapasitas pabrik yang sudah beroperasi menggunakan bahan baku *Crude Palm Oil* (CPO) dapat dilihat pada Tabel 1.2.



Tabel 1.2 Kapasitas pabrik yang Sudah Beroperasi Menggunakan Bahan Baku *Crude Palm Oil* (CPO)

NO	Nama Perusahaan	Kapasitas (Ton/ Tahun)	Kapasitas Tahun 2027 (Ton/Tahun)
1	PT. Batara Elok Semesta Terpadu	88.286,667	142.186,56
2	PT. Bayas Biofuels	264.860,0002	426.559,68
3	PT. Cemerlang Energi Perkasa	211.888,0002	341.247,74
4	PT. Ciliandra Perkasa	88.286,667	142.186,56
5	PT. Dabi Biofuels	127.132,800	204.748,65
6	PT. Darmex Biofuels	88.286,667	142.186,56
7	PT. Energi Unggul Persada	233.076,447	375.371,95
8	PT. Intibenua Perkasa Tama	135.961,467	218.967,30
9	PT. Kutai Refinery Nusantara	128.898,534	207.592,38
10	PT. LDC Indonesia	148.321,600	238.873,42
11	PT. Multi Nabati Sulawesi	146.202,720	235.460,94
12	PT. Musim Mas	141.258,667	227.498,50
13	PT. Multimas Nabati Asahan	194.230,667	312.810,43
14	PT. Pelita Agung Agrindustri	70.629,333	113.749,25
15	PT. Permata Hijau Palm Oleo	28.192,240	45.403,88
16	PT. Sinarmas Bio Energy	139.916,003	225.336,12
17	PT. Smart TBK	135.343,460	217.972,00
18	PT. Sukajadi Sawit Mekar	123.601,333	199.061,18
19	PT. Tunas Baru Lampung TBK	123.601,333	199.061,18
20	PT. Wilmar Bioenergi Indonesia	492.639,600	793.401,00
21	PT. Wilmar Nabati Indonesia	511.709,520	824.113,30
TOTAL		3.662.323,73	5.833.788,58

Sumber: www.aprobi.or.id

Tabel 1.2 ini digunakan untuk menentukan kapasitas diasumsikan bahwa setiap tahunnya industri mengalami peningkatan sebesar 10%.

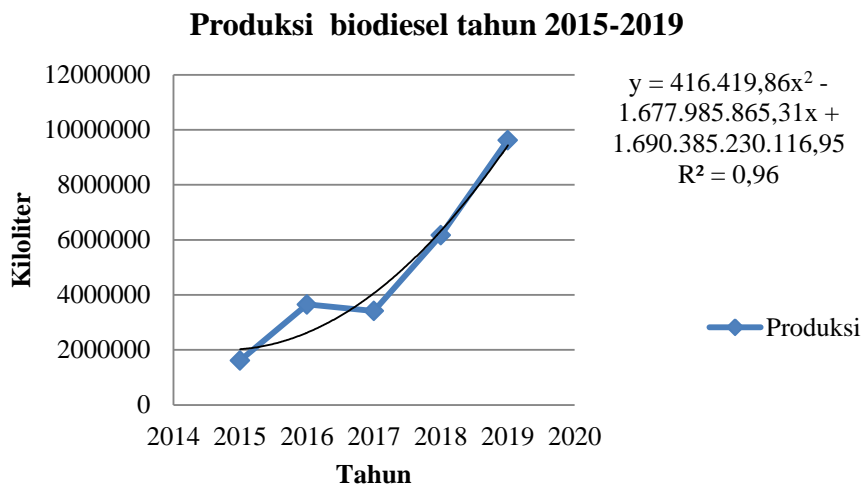
1.2.3 Peluang Pasar

Pada dasarnya penentuan kapasitas produksi biodiesel tidak terlepas dari pertimbangan-pertimbangan khusus untuk memperoleh keuntungan yang cukup besar. Tabel 1.3 menunjukkan proyeksi kebutuhan biodiesel Indonesia, ketersediaan bahan baku, produksi biodiesel, dan ekspor yang dilakukan oleh Indonesia untuk menunjukkan seberapa besar atau kecil kapasitas produksi pabrik. Kapasitas ini menentukan potensi keuntungan.

Tabel 1.3 Produksi, Ekspor, Konsumsi Biodiesel Tahun 2015-2019

Tahun	Produksi (Kiloliter/Tahun)	Ekspor (Kiloliter/Tahun)	Konsumsi (Kiloliter/Tahun)
2015	1.620.000	329.000	915.000
2016	3.656.361	477.000	3.008.000
2017	3.416.416	187.000	2.572.000
2018	6.167.837	1.793.000	3.750.000
2019	9.623.454	1.469.456	6.922.639

Sumber: www.bps.go.id


Grafik 1.1 Produksi Biodiesel Tahun 2015-2019

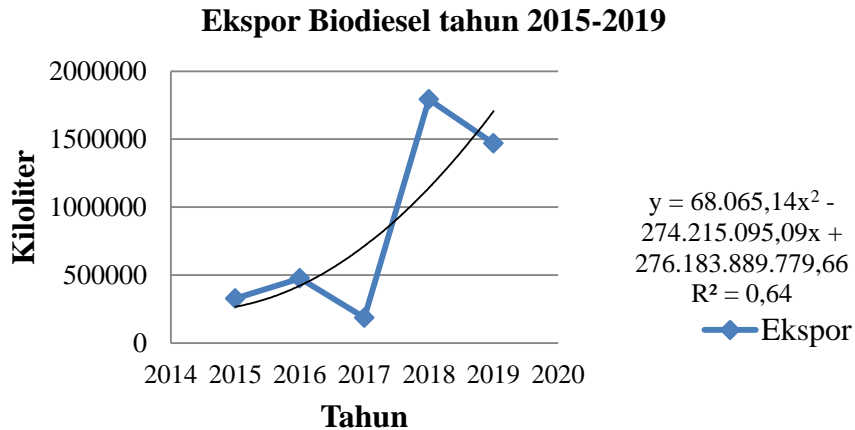
Grafik 1.1 kemudian di hitung menggunakan regresi polynomial orde 2 untuk mengetahui jumlah produksi biodiesel pada tahun 2027. Perhitungan Polynomial orde 2 sebagai berikut:

$$y = 416.419,86x^2 - 1.677.985.865,31x + 1.690.385.230.116,95$$

$$y = 416.419,86 \times 2027^2 - 1.677.985.865,31 \times 2027 + 1.690.385.230.116,95$$

$$y = 64.236.720$$

Maka diperoleh hasil Perhitungan Regresi polynomila orde 2 produksi biodiesel pada tahun 2027 yaitu sebesar 64.236.720 KL/Tahun.



Grafik 1.2 Ekspor biodiesel tahun 2015-2019

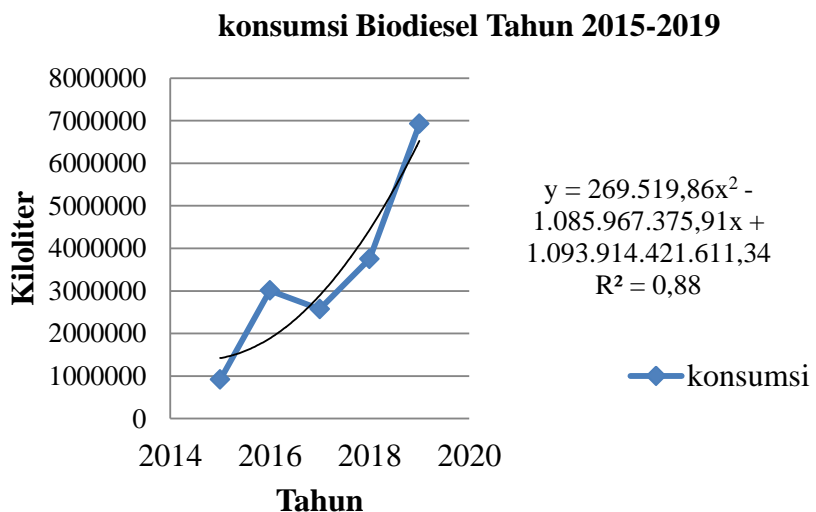
Grafik 1.2 kemudian di hitung menggunakan regresi polynomial orde 2 untuk mengetahui jumlah ekspor biodiesel pada tahun 2027. Perhitungan Polynomial orde 2 sebagai berikut:

$$y = 68.065,14x^2 - 274.215.095,09x + 276.183.889.779,66$$

$$y = 68.065,14x 2027^2 - 274.215.095,09 x 2027 + 276.183.889.779,66$$

$$y = 23.432.826$$

Maka diperoleh hasil Perhitungan Regresi polynomila orde 2 ekspor biodiesel pada tahun 2027 yaitu sebesar 23.432.826 KL/Tahun.



Grafik 1.3 Konsumsi biodiesel tahun 2015-2019

Dari Grafik 1.3 kemudian di hitung menggunakan regresi polynomial orde 2 untuk mengetahui jumlah konsumsi biodiesel pada tahun 2027. Perhitungan Polynomial orde 2 sebagai berikut:

$$y = 269.519,86x^2 - 1.085.967.375,91x + 1.093.914.421.611,34$$
$$y = 269.519,86 \times 2027^2 - 1.085.967.375,91 \times 2027 + 1.093.914.421.611,34$$
$$y = 42.615.500$$

Maka diperoleh hasil Perhitungan Regresi polynomila orde 2 konsumsi biodiesel pada tahun 2027 yaitu sebesar 42.615.500 KL/Tahun.

1.2.4 Penetapan Kapasitas Rancangan Pabrik Biodiesel

Data yang telah di peroleh dan di hitung menggunakan regresi polynomial di gunakan untuk memilih kapasitas prarancangan pabrik biodisel pada tahun 2027. Produksi minimal pabrik tersebut sebesar 45.403,88 ton per tahun dan produksi maksimum sebesar 824.113,30 ton per tahun diproyeksikan pada tahun 2027, berdasarkan data produksi pabrik yang sudah ada pada tabel 1.2. Peluang pasar yang masih ada pada tahun 2027 berdasarkan data produksi, ekspor dan konsumsi sebesar 87.784,14 Ton/Tahun. Dilihat dari ketersediaan bahan baku yang cukup banyak dan kebutuhan yang besar maka perencanaan pendirian pabrik biodiesel bisa dengan kapasitas yang besar. Untuk kapasitas pabrik yang akan didirikan pada tahun 2027 adalah 50.000 Ton/Tahun.

1.3 Lokasi

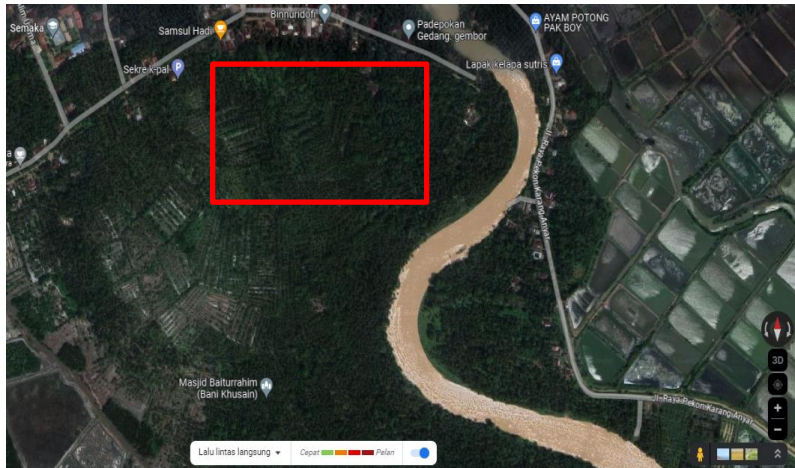
Dalam perancangan pabrik biodiesel pemilihan lokasi merupakan suatu persoalan yang tidak mudah dan ini merupakan hal terpenting. Untuk itu pemilihan lokasi harus sangat berhati-hati. Umumnya ada beberapa kondisi yang menjadi persoalan dalam penentuan lokasi pabrik (Fahrizal *et al.*, 2014), yaitu:

- 1) Perluasan Pabrik;
- 2) Pemecahan pabrik dalam sentral-sentral unit kerja (*decentralization*);
- 3) Faktor-faktor ekonomis (perubahan pasar, penyediaan tenaga kerja dan lain sebagainya).



Biasanya pemilihan lokasi pabrik strategi yang digunakan adalah strategi untuk meminimalkan biaya. Selain itu pemilihan lokasi gudang juga ditentukan oleh kombinasi antara biaya dan kecepatan pengiriman. Pada umumnya tujuan dari strategi pemilihan lokasi adalah untuk memaksimalkan keuntungan lokasi bagi pabrik. Faktor-faktor yang mempengaruhi pemilihan lokasi pabrik biasanya dibagi menjadi dua: faktor primer dan faktor sekunder (Wahyono, 2012).

Lokasi perencanaan pendirian pabrik biodiesel adalah di wilayah Sumatera yaitu di Karang Rejo, Kec. Semaka, Kabupaten Tanggamus, Lampung. Pemilihan lokasi ini tidak terlepas dari faktor-faktor yang telah disebutkan. Beberapa faktor yang mempengaruhi penentuan lokasi pendirian perancangan pabrik adalah sebagai berikut:



Sumber: google. Maps

Gambar 1. 1 Karang Rejo, Kec. Semaka, Kabupaten Tanggamus

1.3.1 Faktor-faktor Primer

Faktor ini adalah faktor yang memiliki peran langsung dan berpengaruh pada proses produksi dan distribusi pada pabrik, seperti ketersediaan sumber bahan baku, utilitas, konsumen (pemasaran), transportasi dan komunikasi, ketersediaan tenaga kerja, iklim dan letak geografis. Berikut adalah faktor-faktor primer pendirian pabrik:

1. Ketersediaan Bahan baku

Pabrik biodiesel ini memerlukan bahan baku berupa *Palm Oil Mill Effluent* (POME). Wilayah Sumatera merupakan wilayah yang memproduksi *Crude Palm Oil*

(CPO) terbesar di Indonesia. Sehingga ketersediaan bahan baku sangat melimpah. POME diambil dari industri terdekat yaitu PT Gunung Aji Jaya, PT Perkebunan Nusantara VII (Unit Bekri), PT.NAKAU, dan industri terdekat. Wilayah Lampung yang dipilih juga dekat dengan wilayah industri dan pelabuhan, yang memudahkan transportasi bahan baku lainnya.

2. Utilitas

Alat yang diperlukan untuk mendukung proses yang diperlukan oleh pabrik adalah unit utilitas, yang mencakup air, steam, listrik, dan pengadaan generator. Di wilayah pendirian pabrik biodiesel yang dipilih untuk menunjang unit utilitas ini sangat baik. Air melimpah baik air permukaan maupun air tanah. Kebutuhan listrik nantinya dapat di penuhi dengan menggunakan listrik yang telah disediakan untuk wilayah industri dan dapat menggunakan generator.

3. Lokasi pemasaran

Biodiesel merupakan bahan bakar kendaraan bermotor pengganti solar yang saat ini kebutuhannya semakin meningkat dan dalam beberapa waktu terakhir terjadi kelangkaan bahan bakar biodiesel. Pemilihan lokasi di kabupaten Tanggamus ini dikarenakan kabupaten ini termasuk daerah yang sedang dikembangkan untuk daerah industri. Dimana generator yang dimiliki oleh industri nantinya menggunakan bahan bakar biodiesel. Selain itu kita dapat mendistribusikan biodiesel ke para nelayan yang ada di wilayah Lampung, Bengkulu, Sumatra Selatan dan daerah Sumatera serta Jawa, karena lokasinya berada di ujung pulau Sumatera yang dekat dengan pulau Jawa.

4. Transportasi dan komunikasi

Untuk menunjang keberlangsungan beroperasinya pabrik yang berkaitan dengan transportasi dan komunikasi sangatlah penting. Untuk transportasi di wilayah Tanggamus ini dekat dengan pelabuhan yang berjarak 186,3 km. dan dapat di tempuh melalui jalur tol. Serta jalur



darat untuk transportasi kendaraan bermotor juga telah mendukung akses ke antar daerah untuk pendistribusian dan pengadaan bahan baku.

5. Ketersediaan tenaga kerja

Untuk wilayah industri di kabupaten Tanggamus di provinsi Lampung, dapat ditemukan karyawan dengan pendidikan formal dan non-formal. Karyawan yang diperlukan untuk mengoperasikan pabrik biodiesel dapat dengan mudah diakses. Selain terkhusus untuk wilayah kabupaten lampung tenaga kerja juga dapat diambil dari daerah sekitar dan seluruh wilayah.

6. Iklim dan letak geografis

Wilayah Taggamus memiliki iklim yang cukup stabil untuk pendirian pabrik biodiesel yaitu 25-30°C.

1.3.2 Faktor-faktor Sekunder

Variabel opsional adalah faktor-faktor yang secara tidak langsung mengambil bagian dalam waktu yang dihabiskan di pabrik manufaktur, namun sangat berpengaruh dalam koherensi siklus produksi pabrik pengolahan. Variabel-variabel tersebut adalah:

1. Kawasan Industri

Kabupaten Taggamus adalah kabupaten yang sedang dibangun sebagai kawasan industri untuk meningkatkan perekonomian masyarakat. Sehingga di kabupaten ini sarana transportasi, lingkungan, energi dan sosialnya telah tersedia.

2. Perijinan

Untuk mendirikan sebuah pabrik biodiesel tidak langsung berdiri, tentunya diperlukan perizinan untuk mendirikan. Karena daerah ini merupakan kawasan industri tentunya mempermudah mendapat perijinan untuk mendirikan pabrik.

1.4 Macam-macam proses

Biodiesel di dalamnya terkandung *free fatty acid* (FFA) yang dapat memicu korosi dan stabilitas oksidasi yang rendah pada mesin. Oleh karena itu proses pembuatan biodiesel terus dikembangkan guna meningkatkan kualitas dari biodiesel dan

menurunkan viskositasnya. Untuk mencapai hal ini, sifat minyak nabati dapat diubah dalam beberapa cara, seperti:

1. Pirolisis

Pirolisis adalah cara paling umum untuk merusak material pada suhu tinggi yang terjadi tanpa udara apa pun atau dengan udara terbatas. Pada proses ini terjadi pemutusan rantai hidrokarbon dengan menggunakan katalis SiO_3 atau Al_2O_3 secara katalitik pada temperatur 450°C . proses ini bertujuan untuk menurunkan Viskositas dari minyak. Kemudian difraksinasi untuk menghasilkan biodiesel dan biogasoline. Meskipun demikian, setelah siklus ini, sebenarnya terdapat cukup banyak sulfur, air dan residu, serta erosi tembaga. Namun, ada juga langkah-langkah yang salah dalam menangani sampah dan penumpukan karbon. Penggunaannya pada mesin dibatasi untuk pemakaian jangka pendek (Rezeika, 2017).

2. Mikroemulsi

Minyak nabati dengan ester dan dispersan (pelarut) atau minyak nabati, cairan, dan surfaktan, apa pun jenis minyak dieselnnya, dapat digunakan untuk membuat mikroemulsi. Namun karena cairan mempunyai intensitas/intensitas penguapan yang tinggi, maka ruang bakar menjadi kecil dan menyebabkan penyumbatan. Mikroemulsi dan metanol dengan minyak nabati bertindak seperti minyak diesel.

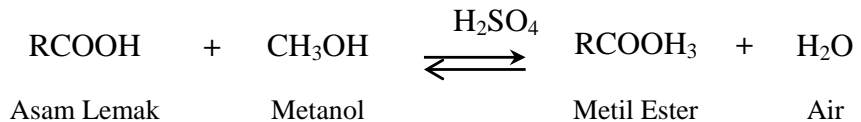
Mikroemulsi adalah dispersi seimbang cairan koloid isotropik optik dengan ukuran dari 1 hingga 150 nano meter yang terbentuk secara alami. Minyak nabati yang terlalu keras dikeringkan dengan emulsi. Metanol, etanol, dan 1-butanol adalah pelarut yang digunakan dalam teknik mikroemulsi. Biodiesel yang dibuat memiliki kandungan energi yang rendah karena *cetane number* nya rendah. Jumlah centane yang rendah menunjukkan ketidakmampuan untuk mencegah *Knocking*.

3. Esterifikasi

Bahan baku untuk proses ini adalah minyak mentah yang memiliki kadar lemak bebas *free fatty acid* (FFA) lebih dari 5%. Tujuan dari proses esterifikasi adalah untuk mengurangi kadar FFA hingga di bawah 5%, sehingga proses trans esterifikasi dapat berjalan lancar dan efektif (Daryono, 2020).



Pada umumnya, interaksi ini menggunakan dorongan korosif terkonsentrasi seperti korosif belerang dan korosif hidroklorik. Pada titik ini, metil ester kasar dan metanol sisa akan dikumpulkan dan kemudian diisolasi. Kemudian, lanjutkan dengan siklus transesterifikasi bahan utama dengan menggunakan bahan pendorong yang dapat larut. Sistem berikut ini setara dengan interaksi transesterifikasi. Berikut reaksi esterifikasi:

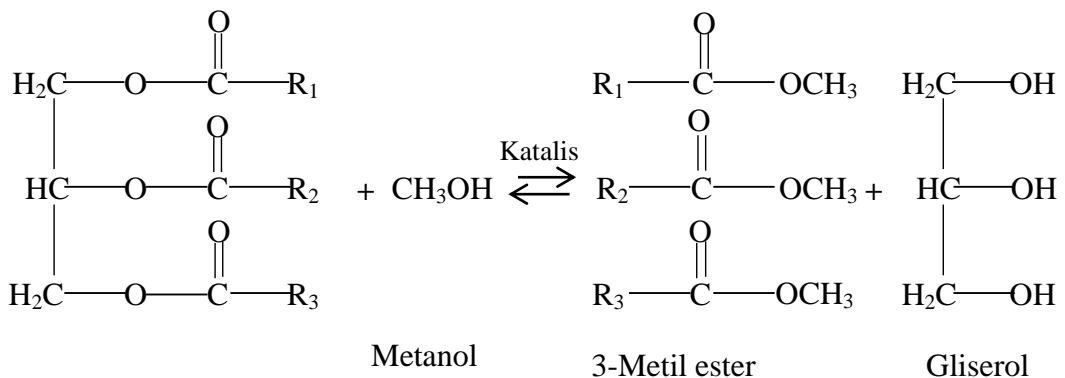


Gambar 1. 2 Esterifikasi

4. Transesterifikasi

Pembuat biodiesel paling umum menggunakan metode transesterifikasi. Dimana pada metode ini trigliserida direaksikan dengan metanol kemudian terbentuk metil ester dengan menggunakan katalis. Katalis yang biasanya digunakan dalam reaksi ini adalah katalis basa kuat seperti kalium hidroksida dan natrium hidroksida (Arita et al., 2020).

Suhu reaksi dalam proses transesterifikasi memengaruhi jumlah reaksi yang terjadi. Suhu yang digunakan untuk reaksi adalah antara 60 dan 70 derajat Celcius, yang merupakan suhu yang hampir mendekati titik didih metanol pada tekanan atmosferik. Suhu yang lebih tinggi menyebabkan metanol banyak hilang, atau menguap. Persamaan reaksi yang dihasilkan adalah:



Gambar 1. 3 Persamaan Reaksi Transesterifikasi

Karena proses transesterifikasi dapat menghasilkan biodiesel dengan rendemen 95% dari bahan baku minyak tumbuhan, proses ini lebih sering digunakan untuk membuat biodiesel.

5. Ultrasonik

Ultrasonik diartikan sebagai suara dengan frekuensi melebihi suara yang dapat direspon oleh telinga manusia. Frekuensi suara normal yang dapat didengar oleh manusia terletak antara 16 dan 18 kHz. Tetapi frekuensi ultrasonik biasanya antara 20 dan 100 MHz. Teknologi ultrasonik yang frekuensinya rendah dapat digunakan untuk transesterifikasi trigliserida dengan alkohol. Teknologi ultrasonik ini memberikan energi mekanikal untuk pencampuran dan energi aktivasi yang dibutuhkan untuk memulai reaksi transesterifikasi. Proses transesterifikasi yang dibantu oleh gelombang ultrasonik tidak hanya mempersingkat waktu reaksi tetapi juga meminimalkan rasio molar alkohol/minyak dan mengurangi konsumsi energi dibandingkan dengan metode pengadukan konvensional (Buchori et al., 2015).

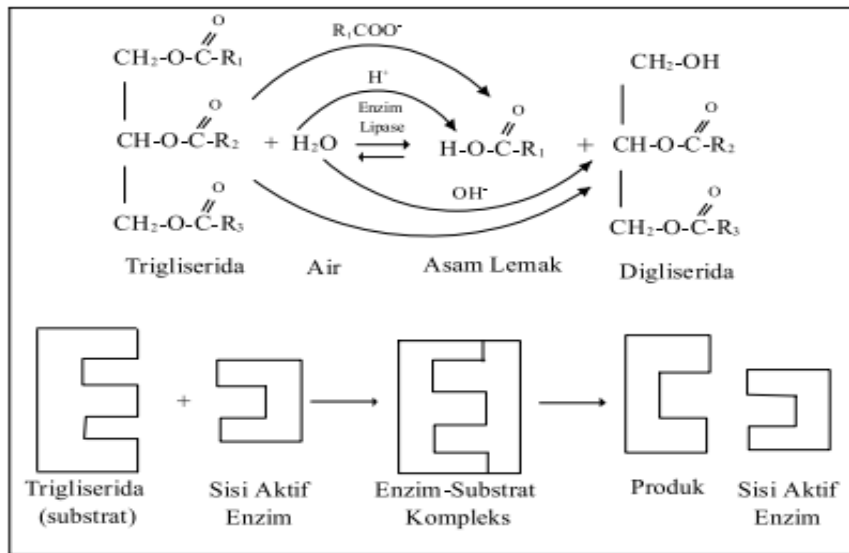
Gelombang ultrasonik digunakan dengan proses kontinyu untuk mengkonversi minyak sawit diperoleh konversi > 90%. Masalah yang terjadi menggunakan teknologi ultrasonik yaitu jumlah katalis yang digunakan pada proses ini memiliki pengaruh yang signifikan terhadap lingkungan. Sejumlah besar katalis cenderung menghasilkan lebih banyak sabun, dan beberapa katalis tetap berada dalam biodiesel, sehingga meningkatkan pH. Saat proses transesterifikasi selesai, biodiesel dipisahkan dari fase alkohol dan kemudian dibersihkan dengan air untuk menghilangkan katalis, sabun, dan gliserin yang berlebihan. Proses ini menghasilkan sejumlah besar air limbah yang perlu diolah. Hal ini akan meningkatkan biaya pemurnian dan menghambat kelangsungan proses (Buchori et al., 2015).



6. Katalis Biologis

Pengembangan penggerak alami ini dilakukan untuk mengurangi pemanfaatan energi proses dan menghilangkan pencemaran biodiesel dari polutan seperti gliserol, air, penggerak basa dan pembersih yang dihasilkan selama proses transesterifikasi dengan katalis sintetik. Ada beberapa jenis dorongan alami yang diciptakan oleh para ahli dari berbagai perguruan tinggi dan yayasan ujian, antara lain *Candida antarctica B*, *Pseudomonas cepacia*, dan *Rizhomucor miehei*. Pemanfaatan impuls alami mempunyai kendala yaitu biayanya lebih mahal dibandingkan dengan impuls yang bersifat substansi (Susanty et al., 2013).

Penggunaan katalis biologis memiliki proses reaksi tersendiri dibandingkan dengan penggunaan katalis kimia. Dalam pembuatan biodiesel, dorongan yang digunakan adalah katalis lipase, siklus respon dengan senyawa tersebut akan memanfaatkan aturan Log dan Key. Penggunaan katalis terjadi di Reaktor 1 di mana situs dinamis bahan kimia mengikat substrat sebagai minyak lemak dengan media encer. Setelah dipegang, itu akan membentuk substrat kimia yang membingungkan, kemudian keamanan akan diberikan di masa depan dan membentuk digliserida dan lemak tak jenuh. Susunan produk tersebut akan dihasilkan setelah situs dinamis katalis dikeluarkan dari substrat karena sisi substrat saat ini tidak setara dengan sisi sebelum bereaksi dengan situs dinamis bahan kimia. Hal ini diulangi sampai masing-masing dari tiga rantai lemak tak jenuh dalam zat lemak diubah menjadi gliserol dengan munculnya tiga lemak tak jenuh.


Gambar 1. 4 Mekanisme *Log and Key*
Tabel 1. 4 Keunggulan Dan Kelemahan Metode

Metode	Keunggulan	Kelemahan
Pirolisis	a. Dapat menurunkan viskositas dari minyak b. Menghasilkan biodiesel dan biogasoline c. Jumlah sulfur, endapan dan air masih dapat diterima	a. Proses menggunakan suhu 450°C b. Terdapat abu dan residu karbon dalam jumlah yang tidak dapat diterima c. Pemakaian pada mesin dibatasi pada jangka pendek
Mikroemulsi	Dapat menurunkan angka fiksositas minyak nabati yang terlalu tinggi	Memiliki <i>centane nuber</i> yang rendah dengan kandungan energi yang rendah sehingga tidak dapat mencegah terjadinya <i>knocking</i> .
Esterifikasi	Dapat menurunkan kadar <i>Free Faty Acid</i> (FFA) yang tinggi > 5%	a. Menghasilkan Metil ester kasar dan metanol b. Diperlukan proses lanjutan yaitu transesterifikasi dengan katalis alkil
Transesterifikasi	a. Rendemen biodiesel yang dihasilkan 95% b. Produk yang dihasilkan biodiesel dan gliserol. c. Proses reaksi terjadi pada suhu rendah 60 hingga 70°C	a. Diperlukan penurunan kadar <i>Free Faty Acid</i> (FFA) terlebih dahulu melalui proses transesterifikasi b. Tidak dapat beroperasi pada suhu tinggi karena etanol yang digunakan akan menguap
Ultrasonik	a. Konversi yang diperoleh >90% b. Reaksi terjadi dalam waktu yang singkat c. Lebih hemat energi dibanding dengan proses konvensional	a. Katalis yang digunakan menimbulkan penyabunan, katalis tetap di dalam produk biodiesel b. Menghasilkan air limbah yang perlu di olah, sehingga meningkatkan biaya proses dan mengurangi waktu.
Katalis Biologis	Mengurangi konsumsi energi proses dan menghilangkan kontaminasi pada biodiesel dari pengotor gliserol, air, sabun, dan katalis basa.	Lebih mahal dibanding katalis kimia



Pemilihan proses ini juga berdasarkan dari bahan baku serta bahan pendukung yang akan diggunakan. Pada proses esterifikasi dan transesterifikasi menggunakan bahan baku *Free faty Acid* (FFA) dan metanol. Pada proses esterifikasi menggunakan katalis H_2SO_4 dan pada transesterifikasi menggunakan katalis NaOH. Dimana bahan baku pembuatan dapat diperoleh dengan mudah serta harganya lebih murah.

1.5 Tinjauan Pustaka

1.5.1 Sifat Fisis dan Kimia Bahan Baku, Bahan Pendukung dan Produk

a. Sifat-Sifat Fisis dan Kimia Bahan Baku

a) *Palm Oil Mill Effluent* (POME)

Produksi minyak sawit mentah (CPO) menghasilkan produk samping berupa limbah cair atau biasa dikenal dengan limbah cair kelapa sawit (POME). POME yang terdiri dari campuran air, serpihan kulit kelapa sawit dan sisa-sisa lemak yang bernilai ekonomis dan energi tinggi jika dapat digunakan. Proses produksinya membutuhkan air dalam jumlah yang banyak. Selama ekstraksi, 50 % air digunakan yang menjadi POME.

Pada pembuatan biodiesel diggunakan bahan baku *Palm Oil Mill Effluents* (POME). POME pada umumnya terdiri dari molekul dengan konsentrasi yang *High Free Fatty Acid* (FFA), protein, karbohidrat, senyawa nitrogen, dan lemak termasuk Trigliserida. Trigliserida ini yang kemudian direaksikan lagi dan membentuk biodiesel. Dimana POME memiliki karakteristik yang dapat dilihat pada tabel 1.5 (Lam & Lee, 2011):

Tabel 1. 5 Karakteristik POME

Parameter ^a	POME (Range)	POME (Mean)	Discharge standard (1-1-1984 and thereafter)
Temperature (°C)	80-90	85	45
pH	3.4-3.5	4.2	5.0-9.0
Oil and grease	130-18,000	6,000	50
BOD ₃ ^b	10,250-43,750	25,000	100
COD	15,000-100,000	51,000	-
Total Solid	11,500-79,000	40,000	-
Suspended Solid	5,000-54,000	18,000	400
Total Volatile Solid	9,000-72,000	34,000	-
Total Nitrogen	180-1,400	750	200 ^c
Ammoniacal nitrogen	4-80	35	150 ^c

^a Semua parameter dengan satuan mg/L kecuali Temperatur dan pH

^b sampel di inkubasi selama 3 hari pada suhu 30°C

^c nilai sampel yang di saring

1) Sifat fisis (POME)

Wujud (30°C)	: Cair kental
Titik Leleh	: 36°C
Densitas	: 0,85-0,88 g/ml
Kelarutan	: Tidak larut dalam air
Temperatur Limbah	: 40-45°C

2) Sifat fisis (Trigliserida)

Nama	: Trigliserida
Rumus Molekul	: $C_3H_5(COOR)_3$
Berat Molekul	: 847,28 g/mol
Fase	: Cair
Kenampakan	: Berwarna Kemerahan/kuning
Densitas	: 0,885 g/mL (pada 50°C)
Viskositas	: 26,4cP
Titik Leleh	: 33-39°C
Kemurnian	: 99,5% (0,5% FFA)
Kelarutan	: Larut dalam alkohol dan tidak larut dalam air

3) Sifat Kimia

1. Esterifikasi

Tujuan dari reaksi esterifikasi adalah untuk mengubah asam-asam lemak trigliserida menjadi ester. Ini dapat dicapai melalui reaksi kimia yang dikenal sebagai interifikasi atau penukaran ester, yang didasarkan pada prinsip transesterifikasi *Fiedel-Craft*.

2. Hidrolisa

Reaksi hidrolisis mengubah lemak dan minyak menjadi FFA dan gliserol. Reaksi ini dapat menyebabkan kerusakan pada keduanya. Hal initerjadi karena terdapat air di dalam sejumlah minyak dan lemak tersebut.



3. Reaksi POME (Trigliserida)
 - Safonifikasi* → hidrolisis dengan alkali → sabun (foam) → mengganggu jantung
 - Hidrogenasi* → lemak tak jenuh dihidrolisa menjadi lemak jenuh

b) Metanol

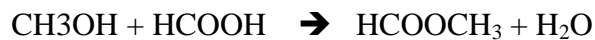
Sifat Fisis

Rumus Molekul	: CH ₃ OH
Berat Molekul	: 32,04 g/mol
Fase	: Cair
Kenampakan	: Tidak Berwarna
Densitas	: 0,885 g/mL C
Viskositas	: 0,8cP (20 ^o C, dinamis)
Titik didih	: 64,7 ^o C
Titik Beku	: -97,6 ^o C
Kelarutan	: dapat larut dalam air

1) Sifat Kimia

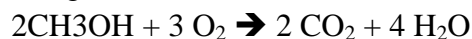
1. Esterifikasi metanol.

Metanol bereaksi dengan asam organik membentuk ester

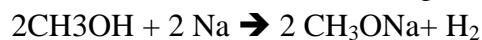


Metanol asam format metil format air

2. Sebagai contoh, metanol terbakar di udara dan menghasilkan karbon dioksida dan air.



3. Pada suhu kamar, metanol bereaksi dengan sodium dan membebaskan nitrogen.



b. Sifat-Sifat Fisis dan Kimia Bahan Pendukung

Untuk membentuk biodiesel diperlukan bahan pendukung. Bahan pendukung yang akan digunakan dalam proses pembuatan biodiesel dari POME yaitu:

a) Air

Fase	: Cair
Kenampakan	: Jernih
Titik beku	: 0 ^o C
Titik didih	: 100 ^o C

Rumus molekul : H_2O
Berat molekul : 18 g/gmol
Densitas : 1 kg/L
Viskositas : 1cP (pada 20°C)
Kelarutan : Larut dalam alkohol

b) Natrium Hidroksida

Sifat Fisis

Fase : Cair jenuh
Kenampakan : jernih/bening
Rumus molekul : NaOH
Berat molekul : 28,56 g/mol
Densitas : 2,13 kg/L
Titik didih : 1390°C (pada 760 mmHg)
Titik lebur : 318°C
Kelarutan : larut dalam alkohol dan air
Kemurnian : 50% (H_2O 50%)

Sifat Kimia

Natrium hidroksida bereaksi dengan asam protik menghasilkan air dan garam yang sesuai. Natrium hidroksida dapat digunakan untuk hidrolisis ester yang digerakkan oleh basa (seperti dalam saponifikasi), amida dan alkil halida. Menyentuh larutan natrium hidroksida dengan tangan kosong, meski tidak disarankan, menghasilkan rasa licin. Hal ini terjadi karena minyak pada kulit seperti sebum diubah menjadi sabun. Meskipun senyawa ini larut dalam propilenaglikol, namun tidak memungkinkan untuk pelarut ini menggantikan air dalam saponifikasi karena adanya reaksi primer propilena glikol dengan lemak sebelum reaksi antara natrium hidroksida dan lemak.

c) Asam Sulfat

Sifat Fisis

Fase : Cair higroskopis
Kenampakan : tidak berwarna
Rumus molekul : H_2SO_4
Berat molekul : 98 g/mol
Densitas : 1,84 g/L



Titik didih	: 337 ^o C
Titik lebur	: 10 ^o C
Kelarutan	: larut dalam air
Kemurnian	: 98% (2% H ₂ O)

Sifat Kimia

Reaksi hidrasi asam sulfat sangatlah eksotermik. Untuk mengencerkan asam dengan air maka air terlebih dahulu barulah asam yang dimasukan. Air memiliki massa jenis yang lebih rendah daripada asam sulfat dan cenderung mengapung di atasnya, sehingga apabila air ditambahkan ke dalam asam sulfat pekat, ia akan dapat mendidih dan bereaksi dengan keras.

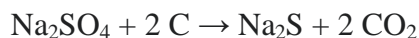
d) Na₂SO₄

Sifat Fisis

Fase	: Padatan / serbuk
Kenampakan	: berwarna putih
Rumus molekul	: Na ₂ SO ₄
Berat molekul	: 142,04g/mol
Densitas	: 2,664 g/m ³
Titik didih	: 1429 ^o C
Titik lebur	: 884 ^o C
Kelarutan	: sangat larut dalam air (4,76 g/100mL)
Kemurnian	: 99% (1% H ₂ O)

Sifat Kimia

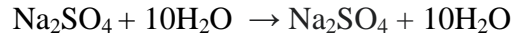
Natrium sulfat tidak memiliki sifat reaktif terhadap sebagian besar reduktor maupun oksidator. Natrium sulfat pada suhu tinggi melalui reaksi reduksi karbon termal atau reduksi sulfat termokimia, pemanasan dengan arang pada suhu tinggi) dapat menjadi natrium sulfida.



Natrium sulfat ketika direaksikan dengan asam sulfat maka akan menghasilkan garam asam natrium bisulfat. Reaksinya sebagai berikut:



Natrium sulfat dapat digunakan untuk menyerap air dengan proses reaksi sebagai berikut:



c. Sifat-Sifat Fisis Dan Kimia dari Produk Biodiesel Dan Produk Lain Yang Dihasilkan

a) Biodiesel (*Methyl Ester*)

Sifat Fisis

Fase	: Cair
Kenampakan	: Jernih Kekuningan
Rumus molekul	: R-COOCH ₃
Berat molekul	: 283,779 g/mol
Densitas	: 810 kg/m ³
Titik didih	: (182-338) ^o C
Titik lebur	: 4,5 ^o C
Kemurnian	: 98%

Sifat Kimia

Pada lingkungan aquatik biodiesel dapat terdegradasi 85,5-88,5% dibandingkan dengan solar yang hanya mampu 26,24 persen.

b) Gliserol

Sifat Fisis

Fase	: Cair
Kenampakan	: Jernih kekuningan
Rumus molekul	: C ₃ H ₈ O ₃
Berat molekul	: 92 g/mol
Densitas	: 1,26 g/L
Titik didih	: 290 ^o C
Titik lebur	: 17,9 ^o C
Kelarutan	: larut dalam air
Kemurnian	: 92,8% (7,2% H ₂ O)

Sifat Kimia

Tergantung pada kondisi fisiologis, gliserol dapat berubah menjadi *gluconeogenesis* atau *glycolysis*.

1.5.2 Proses Yang Dipilih Dalam Pembuatan Biodiesel

1. Kondisi Operasi

Proses pembuatan biodiesel diidentifikasi dari berbagai jurnal, dengan perbandingan kondisi operasi ditunjukkan pada Tabel 1.6.

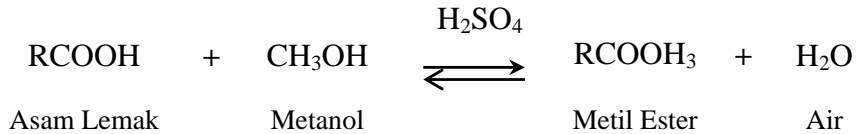
Tabel 1. 6 Kondisi Operasi

Kondisi	1	2	3	4
Jenis proses	Transesterifikasi	Esterifikasi	Esterifikasi dan Ultrasonik	Esterifikasi dan Transesterifikasi
Suhu	30°C	60°C		60°C
Waktu	24 jam	1 jam	6 jam (esterifikasi) 40 menit (Ultrasonik)	2 jam (Esterifikasi) 2 jam (Transesterifikasi)
Kecepatan pengadukan	500 rpm	600 rpm		
katalis	TLL	HCS	Bf ₃ (esterifikasi) H ₂ SO ₄ (Ultrasonik)	H ₂ SO ₄ (esterifikasi) NaOH (Transesterifikasi)
Rasio POME dan Metanol	1:4	1:15		1:3 (Esterifikasi) 1:5 (Transesterifikasi)
FFA POME	68,53%	34,85%	26,8%	19,62%
Konversi	81,87%	47,72%	44,15% (Esterifikasi) 62,7% (Ultrasonik)	93,46%
Sumber	(Budiyanto et al., 2012)	(Furqan, 2017)	(Rachmadona et al., 2017)	(Haryono et al., 2019)
Kondisi	5	6	7	8
Jenis proses	Pirolisis	mikroemulsi	Katalis Biologis	Ultrasonik
Suhu	450°C	400°C	70°C	40-70°C
Waktu	30 menit	24 Jam	2 jam	1 jam
Kecepatan pengadukan			600 rpm	684 rpm
katalis	Al ₂ O ₃	<i>Fly ash</i>	CaO	Na ₂ O
Rasio	-	-	-	-
POME dan Metanol				
FFA POME	-	-	-	-
Konversi	-	-	87,41%	89,53%
Sumber	(Aini et al., 2022)	(Utomo, 2018)	(F. D. Putri & Helwani, 2015)	(Maisarah & Hidayati, 2019)

Mengingat beberapa pemeriksaan terhadap siklus dan keadaan kerja yang berbeda, kondisi 4 dipilih, Karena suhu dan tekanan yang lebih rendah, esterifikasi dan transesterifikasi lebih aman dan lebih banyak uang kembalian yang digunakan. Karena kadar FFA dalam POME 19,62%, reaksi esterifikasi harus dilakukan terlebih dahulu.

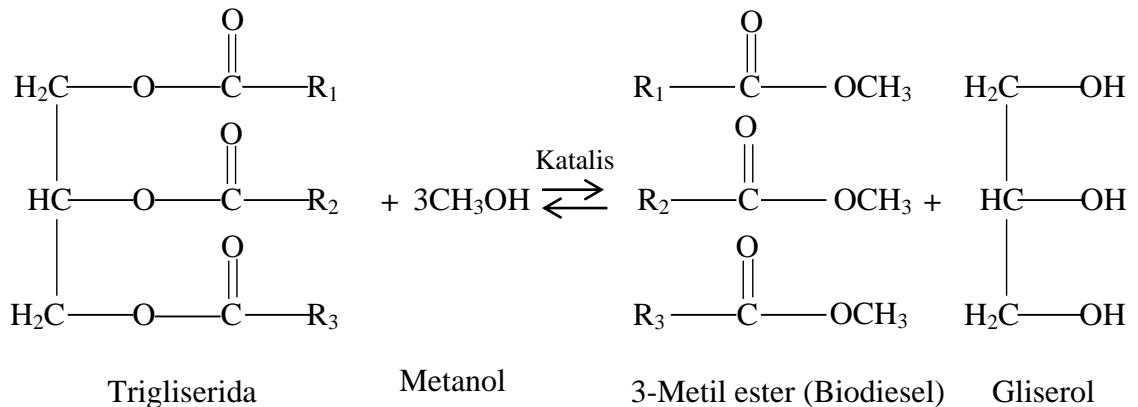
2. Dasar Reaksi

Palm Oil Mill Effluent (POME) yang keluar dari Pada pembuatan biodiesel terdapat dua (2) proses reaksi yaitu: Esterifikasi dan transesterifikasi: Esterifikasi terjadi ketika asam lemak bebas diubah menjadi ester dengan mereaksikan katalis dan alkohol, yang merupakan asam kuat. Proses esterifikasi menyebabkan reaksi berikut:



Gambar 1. 5 Reaksi Esterifikasi

Hal-hal yang mempengaruhi respon esterifikasi adalah waktu respon, pencampuran, proporsi dorongan atau reaktan dan suhu. Sementara itu, dalam siklus transesterifikasi, minyak nabati direpson dengan cairan dan dorongan basa untuk menghasilkan metil ester dan gliserol.

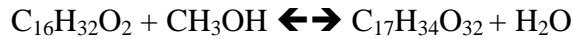


Gambar 1. 6 Reaksi Transesterifikasi

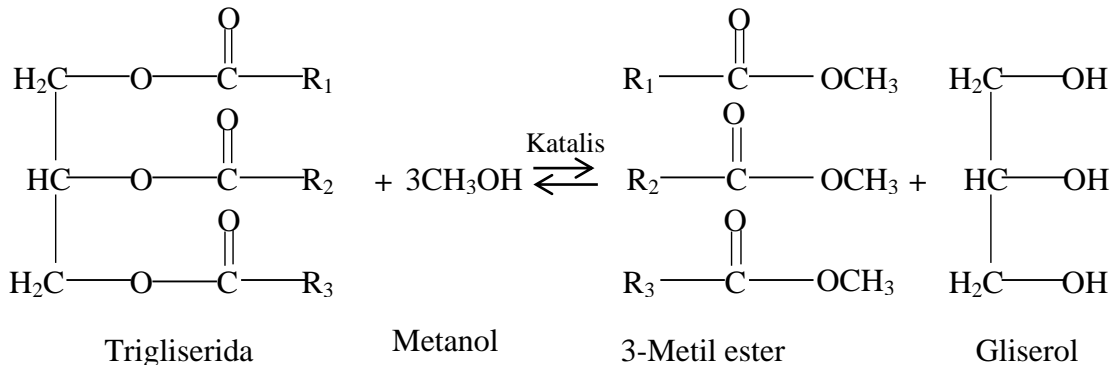
Rasio molar antara trigliserida dan metanol, jenis katalis yang digunakan, dan suhu adalah komponen utama yang memengaruhi proses ini.

3. Tinjauan Kinetik

Pada pembentukan biodiesel menggunakan POME diasumsikan bahan asam lemak bebas adalah asam palmitat atau $\text{C}_{16}\text{H}_{32}\text{O}_2$ maka reaksi esterifikasi yang terbentuk adalah sebagai berikut:

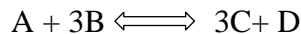


Setelah dilakukan proses esterifikasi dilanjutkan proses transesterifikasi yang bertujuan untuk mengkonversi trigliserida dari POME menjadi *Methyl Ester* (Biodiesel) dan *Gliserol*. Reaksi transesterifikasi adalah sebagai berikut:



Gambar 1. 7 Reaksi Esterifikasi

Persamaan reaksi minyak diatas dapat disederhanakan menjadi:



Reaksi Esterifikasi dan transesterifikasi merupakan dua hal yang berbeda. Perbedaan tersebut terletak pada bahan baku yang digunakan. Namun, produk akhir dari reaksi esterifikasi dan transesterifikasi adalah ester alkil asam lemak yang sama. Pada esterifikasi, asam lemak bebas bereaksi dengan alkohol membentuk asam lemak alkil ester dan air, sedangkan pada transesterifikasi trigliserida bereaksi dengan alkohol membentuk asam lemak alkil ester dan gliserol. Kedua jenis reaksi ini merupakan reaksi reversibel (Supriyono & Mahayana, 2013).

Sedangkan untuk kecepatan reaksinya adalah reaksi homogen pseudo orde dua dan dapat dituliskan sebagai berikut:

$$r = k_c x_A x_M \left(1 - \frac{1}{k_e} \frac{x_E x_W}{x_A x_M} \right) C_{cat} \dots \dots \dots (1)$$

Kemudian menurut Tesser pada (Supriyono dan Mahayana, 2013) disimpulkan bahwa hanya air dan

methanol saja yang teradsorbsi oleh resin polimerik, dan setelah itu menghasilkan persamaan berikut dengan memasukan parameter absorpsi methanol KM, dan air KW, selanjutnya persamaan berubah menjadi:

$$r = \frac{k_C x_A x_M}{1 + K_M x_M + K_W x_W} \left(1 - \frac{1}{k_e} \frac{x_E x_W}{x_A x_M} \right) C_{cat}$$

.....(2)

Sedangkan parameter kinetika dari persamaan (1) dan (2) dapat dilihat pada tabel berikut ini.

Tabel 1. 7 Parameter kinetika

Parameter	ln (faktor preeksponensial)	Energi aktivasi (kcal/mol)
k_c	12.93 ± 2.87	14.00 ± 0.99
k_e	4.17 ± 0.04	2.68 ± 0.05

Menurut Penelitian yang dilakukan oleh (Q. U. Putri *et al.*, 2022) Energi minimal yang diperlukan untuk memulai suatu reaksi disebut energi aktivasi. Energi aktivasi ditentukan dengan memvariasikan temperatur reaksi esterifikasi. Energi aktivasi ditentukan dengan menggunakan persamaan bentuk ln dari persamaan Arrhenius. Hasil penentuan energi aktivasi reaksi esterifikasi asam lemak bebas dari sludge CPO adalah sebesar 17,9366 kJ/mol.

4. Tinjauan Termodinamika

Sifat reaksi (endotermis atau eksotermis) dan arah reaksi (reversibel atau irrefersibel) biodiesel ditentukan melalui tinjauan termodinamika. Maka diperlukan adanya peninjauan terhadap $\Delta H^{\circ}f$ dan energi gibbs (ΔG) pada tekanan 1 atm dan suhu Harga $\Delta H^{\circ}f$ dan ΔG masing-masing komponen pada 298,15 K dapat dilihat pada Tabel (Yaws, 1999)

Tabel 1.6 Harga $\Delta H^{\circ}f$ dan ΔG

Komponen	$\Delta H^{\circ}f$ KJ/mol	ΔG KJ/mol
CH ₃ OH	-201,17	-162,51
C ₃ H ₈ O ₃	-582,8	-445,49
POME	-671,78	-189,69
Metil Ester	-626	-117



Jika $\Delta H^{\circ}f$ negatif maka reaksi eksotermis

Jika $\Delta H^{\circ}f$ positif maka reaksi endotermis

Reaksi:

$$\begin{aligned}
 \Delta H_f^{\circ} &= \sum \Delta H_f^{\circ} \text{ produk} - \sum \Delta H_f^{\circ} \text{ Reaktan} \\
 &= \{((n \times \Delta H_f^{\circ} \text{ FAME}) + (n \times \Delta H_f^{\circ} \text{ H}_2\text{O})) - \{(n \times \Delta H_f^{\circ} \text{ FFA}) \\
 &\quad + (n \times \Delta H_f^{\circ} \text{ CH}_3\text{OH})\} \\
 &= \{(8,31578 \times -658,801) + (8,31578 \times -241,8)\} - \{(831578 \times - \\
 &\quad 691,597) \\
 &\quad + (53,38615 \times -201,17)\} \text{ KJ/mol} \\
 &= 9404,107 \text{ KJ/jam} \\
 \Delta H_R^{\circ} &= \Delta H_R^{\circ} + Q \text{ produk} - Q \text{ Reaktan} \\
 &= (9404,107 + (915136,120 - (836300,2639 + 79885,76752)) \\
 &= 8354,196 \text{ KJ/jam}
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan didapatkan nilai $\Delta H^{\circ}f = 9404,107 \text{ KJ/mol}$ dan $\Delta H^{\circ}R = 8354,196 \text{ KJ/jam}$ disimpulkan bahwa reaksi ini termasuk endotermis karena nilainya positif.

$$\begin{aligned}
 \Delta H_f^{\circ} &= \sum \Delta H_f^{\circ} \text{ produk} - \sum \Delta H_f^{\circ} \text{ Reaktan} \\
 &= \{((n \times \Delta H_f^{\circ} \text{ FAME}) + (n \times \Delta H_f^{\circ} \text{ H}_2\text{O})) - \{(n \times \Delta H_f^{\circ} \text{ FFA}) \\
 &\quad + (n \times \Delta H_f^{\circ} \text{ CH}_3\text{OH})\} \\
 &= \{(13,681 \times -658,801) + (4,560 \times -566,319)\} \\
 &= -\{(4,560 \times -2048,63) + (48,798 \times -201,17)\} \text{ KJ/mol} \\
 &= 8216,308551 \text{ KJ/jam} \\
 \Delta H_R^{\circ} &= \Delta H_R^{\circ} + Q \text{ produk} - Q \text{ Reaktan} \\
 &= (8211,902741 + (759933,470 - (103859,043 + 672073,686)) \\
 &= -7725,488 \text{ KJ/jam}
 \end{aligned}$$

Pada reaksi transesterifikasi merupakan reaksi eksotermis karena nilai $\Delta H^{\circ}R = -7725,488 \text{ KJ/jam}$ negatif.