

TUGAS AKHIR

**PRARANCANGAN PABRIK BIODIESEL DARI *PALM OIL*
MILL EFFLUENT (POME) DAN METHANOL DENGAN
KAPASITAS 60.000 TON/TAHUN**

**Disusun Sebagai Salah Satu Persyaratan Untuk Menyelesaikan
Program Studi S1 Teknik Kimia**



Disusun Oleh :

**DEVIA LARASATI
24180323D**

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

HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI

PRARANCANGAN PABRIK BIODIESEL DARI *PALM OIL MILL EFFLUENT* (POME) DAN METHANOL DENGAN KAPASITAS 60.000 TON/TAHUN

Disusun oleh
DEVIA LARASATI
24180323D

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji, diujikan dan disahkan
pada tanggal 4 Juli 2023

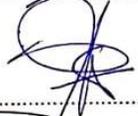
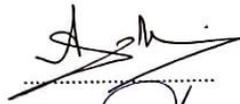
Susunan Tim Penguji

Penguji I
Dewi Astuti Herawati, ST.,M.Eng
NIS 01199601032053

Penguji II
Gregorius Prima Indra Budiyanto, ST.,M.Eng
NIS 01201407261183

Penguji III
Petrus Darmawan, ST.,MT.
NIS 01199905141068

Penguji IV
Dr. Supriyono, ST.,MT.
NIS 01199508011049



Dekan Fakultas Teknik



Dr. Drs. Suseno, M.Si.
NIS 01199408011044

Mengetahui,

Ketua Program Studi S1 Teknik Kimia



Gregorius Prima Indra Budiyanto, ST.,M.Eng
NIS 01201407261183

UCAPAN TERIMAKASIH

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini, penulis banyak mendapatkan bantuan, bimbingan serta petunjuk dari berbagai pihak. Oleh karena itu pada kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada yang terhormat:

1. Dr. Drs. Suseno, M.Si, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Setia Budi Surakarta yang telah memberikan izin kepada penulis untuk melakukan Prarancangan Pabrik.
2. Gregorius Prima Indra Budianto, ST., M.Eng, Ketua Program Studi S1 Teknik Kimia Universitas Setia Budi Surakarta atas petunjuk dan nasehatnya kepada penulis.
3. Dr. Supriyono, ST., MT, selaku dosen Pembimbing Akademik dan juga selaku dosen Pembimbing I yang telah memberikan bimbingan, arahan, dorongan kepada penulis sehingga penyusunan Tugas Akhir ini berjalan dengan baik, sehingga penulis dapat menyelesaikan studi Program Studi S1 Teknik Kimia di Universitas Setia Budi Surakarta.
4. Petrus Darmawan, ST., MT, selaku dosen Pembimbing II atas segala bimbingan dan saran kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
5. Dewi Astuti Herawati, ST., M.Eng & Gregorius Prima Indra Budianto, ST., M.Eng, selaku dosen penguji pada ujian Akhir Tugas Akhir yang telah memberikan masukan dan arahan demi kesempurnaan Tugas Akhir penulis.
6. Staf dosen yang telah memberikan ilmu dan pengetahuan kepada penulis selama mengikuti studi.
7. Ayahanda Amiruddin dan Ibunda Mulyati tercinta atas segala bantuan, bimbingan, dorongan serta doa restu yang diberikan kepada penulis selama penyusunan Tugas Akhir.
8. Abang & Adik tersayang atas support dan dorongan yang diberikan kepada penulis.
9. My Future Husband yang telah menjadi support system terbaik dalam melalui proses penyusunan Tugas Akhir.
10. Rekan-rekan Mahasiswa Jurusan S1 Teknik Kimia angkatan 2018, atas segala bantuan dan kerjasamanya.
11. Semua yang tidak bisa penulis sebutkan satu per satu. Pastinya tak henti-henti penulis sampaikan semoga amal baik semua pihak

mendapat balasan yang berlipat ganda dari sang pencipta yang pengasih dan penyayang Allah SWT. Amin.

Surakarta, Juli 2023

Penulis,

Devia Larasati

HALAMAN PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi yang berjudul **PRARANCANGAN PABRIK BIODIESEL DARI *PALM OIL MILL EFFLUENT* (POME) DAN METHANOL DENGAN KAPASITAS 60.000 TON/TAHUN** adalah benar merupakan hasil karya saya dengan arahan dari pembimbing tanpa ada upaya penjiplakan atau pemalsuan dan manipulasi data dari karya orang lain. Sepanjang pengetahuan saya sebagai penulis juga tidak terdapat karya yang telah diterbitkan sebelumnya di institusi lain dengan judul yang sama persis. Semua sumber data dan informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam daftar pustaka.

Surakarta, 14 Oktober 2023



Devia Larasati

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, karena berkat rahmat dan karunia-Nyalah penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “Prarancangan Pabrik Biodiesel dari *Palm Oil Mill Effluent* (POME) dan Methanol dengan kapasitas 60.000 ton/tahun”. Dalam Tugas Akhir ini dibahas mengenai modifikasi bahan baku pembuatan Biodiesel dengan bahan baku yang lebih ekonomis. Adapun maksud dan tujuan dari penulisan Tugas Akhir ini adalah untuk memenuhi salah satu syarat untuk mengikuti sidang Tugas Akhir, Jurusan S1 Teknik Kimia Universitas Setia Budi Surakarta.

Selama perancangan dan penulisan Tugas Akhir ini banyak sekali hambatan yang penulis alami, namun berkat bantuan, dorongan serta bimbingan dari berbagai pihak, akhirnya skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.

Penulis beranggapan bahwa Tugas Akhir ini merupakan karya terbaik yang dapat penulis persembahkan. Tetapi penulis menyadari bahwa tidak tertutup kemungkinan didalamnya terdapat kekurangan-kekurangan. Oleh karena itu kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan. Akhir kata, semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis khususnya dan bagi para pembaca pada umumnya.

Surakarta, Juli 2023

Penulis,

Devia Larasati

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
UCAPAN TERIMAKASIH	iii
HALAMAN PERNYATAAN.....	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
ABSTRACT	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Kapasitas Rancangan	3
1.2.1 Ketersediaan Bahan Baku	3
1.2.2 Kapasitas Pabrik yang Telah Beroperasi	4
1.2.3 Peluang Pasar	5
1.2.4 Penetapan Kapasitas Rancangan Pabrik Biodiesel.....	6
1.3 Pemilihan Lokasi Pabrik.....	7
1.3.1 Faktor Primer	7
1.3.2 Faktor Sekunder	8
1.3.3 Pemilihan lokasi pabrik.....	9
1.4 Pemilihan Proses.....	9
1.4.1 Macam macam Metode.....	9
1.4.2 Pemilihan metode.....	11
1.5 Tinjauan Pustaka.....	11
1.5.1 Sifat Fisis dan Kimia Bahan Baku	11
1.5.2 Sifat Fisis dan Kimia Bahan Pendukung.....	13
1.5.3 Sifat Fisis dan Kimia Produk	16
1.5.4 Sifat Fisis dan Kimia Produk samping.....	16
1.5.5 Proses Pembuatan yang dipilih	17
BAB II SPESIFIKASI BAHAN.....	23
2.1 Bahan Baku.....	23
2.1.1 Limbah Cair Kelapa Sawit/ <i>Palm Oil Mill Effluent</i> (POME)	23
2.1.2 Methanol	24
2.2 Bahan Pembantu	25
2.2.1 Air	25
2.2.2 H ₂ SO ₄	26
2.2.3 NaOH	26
2.2.4 HCl.....	27
2.2.5 CaO	27

	2.2.6 Na ₂ SO ₄	27
	2.3 Produk Utama	27
	2.3.1 Biodiesel (Metil ester).....	27
	2.4 Produk Samping	29
	2.4.1 Gliserol.....	29
BAB	III DESKRIPSI PROSES.....	30
	3.1 Diagram Alir	30
	3.1.1 Diagram Alir Kualitatif.....	30
	3.1.2 Diagram Alir Kuantitatif.....	31
	3.2 Uraian Proses	32
	3.2.1 Tahap Penyiapan Bahan Baku	32
	3.2.2 Tahap Reaksi.....	32
BAB IV	NERACA MASSA DAN NERACA PANAS	34
	4.1 Neraca Massa.....	34
	4.1.1 Filter (H-111)	34
	4.1.2 Decanter (H-311)	35
	4.1.3 Mixer (M-211)	35
	4.1.4 Reaktor Esterifikasi (R-510)	36
	4.1.5 Netralizer (M-721)	36
	4.1.6 Decanter Centrifuge (H-822)	37
	4.1.7 Wash Tank (A-921)	37
	4.1.8 Tangki Penampung (F-1026)	38
	4.1.9 Menara Destilasi (D-1021).....	38
	4.1.10 Reaktor Transesterifikasi (R-1220).....	39
	4.1.11 Netralizer (M-1402)	40
	4.1.12 Decanter (H-1502)	40
	4.1.13 Wash Tank (A-1603)	41
	4.1.14 Tangki Penampung (F-1809)	41
	4.1.15 Menara Destilasi (D-1802).....	42
	4.1.16 Draying (B-1701).....	42
	4.2 Neraca Panas.....	43
	4.2.1 Neraca Panas pada Filter (H-111).....	43
	4.2.2 Neraca Panas pada Decanter (H-311)	43
	4.2.3 Neraca Panas pada Mixer (M-211)	43
	4.2.4 Neraca Panas pada Heater (E-411)	43
	4.2.5 Neraca Panas pada Reaktor Esterifikasi (R-510)	43
	4.2.6 Neraca Panas pada Cooler (E-621)	44
	4.2.7 Neraca Panas pada Netralizer (M-721).....	44
	4.2.8 Neraca Panas pada Decanter (H-822)	44
	4.2.9 Neraca Panas pada Wash Tank (A-921)	44
	4.2.10 Neraca Panas pada Menara Destilasi (D-1021)	44
	4.2.11 Neraca Panas pada Heater (E-1122)	44

	4.2.12 Neraca Panas pada Reaktor Transesterifikasi (R-1220)	44
	4.2.13 Neraca Panas pada Cooler (E-1302)	45
	4.2.14 Neraca Panas pada Netralizer (M-1402)	45
	4.2.15 Neraca Panas pada Decanter (H-1502)	45
	4.2.16 Neraca Panas pada Wash Tank (A-1603)	45
	4.2.17 Neraca Panas pada Menara Destilasi (D-1802)	45
	4.2.18 Neraca Panas pada Draying (B-1701).....	45
BAB V	SPESIFIKASI ALAT PROSES	46
5.1	Spesifikasi Peralatan Proses.....	46
5.1.1	Tangki POME (F-111)	46
5.1.2	Tangki CH ₃ OH (F-212).....	46
5.1.3	Tangki H ₂ SO ₄ (F-213)	46
5.1.4	Tangki NaOH (F-724).....	47
5.1.5	Tangki HCl (FF-725)	47
5.1.6	Tangki Na ₂ SO ₄ (F-1708)	47
5.1.7	Tangki Biodiesel (F-0010)	48
5.1.8	Filter (H-111)	48
5.1.9	Mixer (M-211)	48
5.1.10	Reaktor Esterifikasi (R-510)	48
5.1.11	Reaktor Transesterifikasi (R-1220).....	49
5.1.12	Netralizer (M-721)	49
5.1.13	Netralizer (M-1402)	49
5.1.14	Tangki Pencuci/ Wash Tank (A-921)	50
5.1.15	Tangki Pencuci/Wash Tank (A-1603)	50
5.1.16	Decanter sentrifuge (H-311)	50
5.1.17	Decanter sentrifuge (H-822)	50
5.1.18	Decanter sentrifuge (H-1502)	51
5.1.19	Menara Destilasi (D-1021).....	51
5.1.20	Menara Destilasi (D-1802).....	51
5.1.21	Heater (E-411).....	51
5.1.22	Heater (E-1122).....	52
5.1.23	Cooler (E621).....	52
5.1.24	Cooler (E-1302)	52
5.1.25	Drying (B-1701).....	53
5.1.26	Tangki Penampung (F-1026)	53
5.1.27	Tangki Penampung (F-1809)	53
5.1.28	Spesifikasi alat Pompa	53
BAB VI	UTILITAS	61
6.1	Pelayanan Teknik (Utilitas)	61
6.1.1	Unit Penyediaan air dan Pengolahan Air (<i>Water Treatment System</i>).....	61
6.1.2	Unit Pembangkit Listrik	78

6.1.3	Unit Penyediaan Bahan Bakar	80
6.1.4	Unit Pengadaan Udara Tekan	80
6.1.5	Unit Pengolahan Limbah	80
BAB VII ORGANISASI DAN TATA LETAK PABRIK		82
7.1	Lokasi Pabrik	82
7.1.1	Faktor Primer Penentuan Lokasi Pabrik	82
7.1.2	Faktor Sekunder Penentuan Lokasi Pabrik	84
7.2	Tata Letak Pabrik (Plant Layout).....	85
7.3	Tata Letak Alat Proses	88
7.4	Struktur Organisasi	90
7.4.1	Tugas dan Wewenang	93
7.4.2	Status Karyawan	98
7.4.3	Jabatan dan keahlian	99
7.4.4	Pembagian Jam Kerja.....	100
7.4.5	Ketenagakerjaan.....	101
7.4.6	Sistem Gaji Karyawan	102
BAB VIII EVALUASI EKONOMI.....		105
8.1	<i>Total Capital Investment</i>	109
8.2	<i>Manufacturing Cost</i>	109
8.3	<i>Working Capital</i>	110
8.4	<i>General Expenses</i>	110
8.5	Analisis Kelayakan Ekonomi.....	110
8.5.1	<i>Return On Investment (ROI)</i>	110
8.5.2	<i>Pay Out Time (POT)</i>	111
8.5.3	<i>Break Event Point (BEP)</i>	111
8.5.4	<i>Shut Down Point (SDP)</i>	112
BAB IX KESIMPULAN DAN SARAN.....		114
9.1	Kesimpulan	114
9.2	Saran	114
DAFTAR PUSTAKA.....		115

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1.1. Data jumlah produksi ton tandan buah segar/jam	3
Tabel 1.2. Data pabrik yang telah beroperasi dan rencana produksi pada tahun 2027	4
Tabel 1.3. Data produksi, ekspor dan konsumsi di Indonesia pada tahun 2015-2019	5
Tabel 1.4. Karakteristik dari Palm Oil Mill Effluent (POME).....	13
Tabel 1.5. Perbandingan kondisi operasi.....	17
Tabel 1.6. Parameter kinetika.(Tesser).....	20
Tabel 1.7. Data konstanta Arrhenius dan energi aktivasi reaksi maju.....	20
Tabel 1.8. Harga ΔH^0_f dan ΔG	21
Tabel 2.1. Kandungan POME (Sarwanto et al., 2020).....	23
Tabel 2.2. Baku mutu air limbah	23
Tabel 2.3. Sifat fisika dan kimia dari Palm Oil Mill Effluent (POME)	24
Tabel 2.4. Sifat fisika dan kimia dari Methanol	25
Tabel 2.5. Sifat fisika dan kimia dari Air	25
Tabel 2.6. Sifat fisika dan kimia dari H_2SO_4	26
Tabel 2.7. Sifat fisika dan kimia dari NaOH	26
Tabel 2.8. Sifat fisika dan kimia dari HCl	27
Tabel 2.9. Sifat fisika dan kimia dari CaO	27
Tabel 2.10. Sifat fisika dan kimia dari Na_2SO_4	27
Tabel 2.11. Standar mutu dan kualitas Biodiesel dalam buku SNI (Nasional, 2015).....	28

Tabel 1.12.	Sifat fisika dan kimia dari Biodiesel	29
Tabel 2.13.	Sifat fisika dan kimia Gliserol.....	29
Tabel 8.1.	Data Cost Index Chemical Plant	106
Tabel 8.2.	Total <i>Capital Investment</i>	109
Tabel 8.3.	<i>Manufacturing Cost</i>	109
Tabel 8.4.	<i>Working Capital</i>	110
Tabel 8.5.	<i>General Expenses</i>	110

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1.1. Grafik Produksi Biodiesel di Indonesia tahun 2015-2019	5
Gambar 1.2. Grafik Ekspor Biodiesel di Indonesia tahun 2015-2019	6
Gambar 1.3. Grafik Konsumsi Biodiesel di Indonesia tahun 2015-2019	6
Gambar 1.4. Lokasi Desa Bengkunt Kunyayan, Kabupaten Tanggamus, Lampung	9
Gambar 1.5. Transesterifikasi	10
Gambar 1.6. Esterifikasi	11
Gambar 1.7. Reaksi Esterifikasi	18
Gambar 1.8. Reaksi Transesterifikasi	18
Gambar 1.9. Gambar Transesterifikasi	19
Gambar 3.1. Diagram alir kualitatif	30
Gambar 3.2. Diagram alir kuantitatif	31
Gambar 6.1. Pengolahan Air Sumur	68
Gambar 7.1. Tata Letak Pabrik	87
Gambar 7.2. Tata Letak Alat	90
Gambar 7.3. Struktur Organisasi	92
Gambar 8.1. Cost Index Chemical Plant	106
Gambar 8.2. Grafik SDP dan BEP	113

ABSTRACT

Biodiesel sendiri merupakan bahan bakar dari minyak tumbuhan dan minyak hewan yang telah diubah menjadi bentuk metil ester yang memiliki sifat ramah lingkungan sehingga dapat membantu ketersediaan minyak diesel. Biodiesel umumnya diproduksi melalui proses transesterifikasi minyak nabati atau lemak hewani dengan alkohol rantai pendek (umumnya metanol) dengan bantuan katalis. Inovasi pembuatan Biodiesel ini terus di gencarkan dengan menginovasi dari bahan baku utama dengan berbagai macam pertimbangan salah satunya adalah nilai keekonomisannya. Seperti pada Prarancangan Pabrik Biodiesel kali ini dengan memanfaatkan Palm Oil Mill Effluent (POME) yang diinovasi menjadi bahan baku utama pembuatan biodiesel, Selain POME pada Prarancangan Pabrik Biodiesel ini juga menggunakan Methanol sebagai bahan baku utama. Proses yang dilalui pada Prarancangan Pabrik Biodiesel ini yaitu Esterifikasi dan Transesterifikasi. Hasil dari Prarancangan pabrik ini dalam segi ekonomi didapat nilai Pay Out Time (POT) setelah pajak sebesar 3 tahun, hasil POT ini memiliki waktu cepat untuk mengembalikan modal dan Break Even Point (BEP) sebesar 41,73% dan Shut Down Point (SDP) sebesar 30,71%. Hasil ini dapat dikatakan bahwa produksi Biodiesel dari Palm Oil Mill Effluent (POME) layak untuk dikaji lebih lanjut dari segi proses maupun ekonominya.

Kata Kunci : Biodiesel, *Palm Oil Mill Effluent* (POME), BEP, SDP

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan sumber daya energi sepanjang tahun terus meningkat hampir di semua sektor kehidupan. Sumber daya energi yang selama ini dimanfaatkan berasal dari bahan bakar berupa minyak bumi, gas alam, dan batubara (bahan bakar fosil) yang memiliki sifat tak terbarukan (*unrenewable*) serta memiliki jumlah yang selalu selalu berkurang. Sedangkan untuk sumber data energi yang berasal dari bahan bakar yang memiliki sifat terbarukan (*renewable*) merupakan solusi untuk permasalahan tersebut. hal ini disebabkan karena bahan bakar ini dapat diregenerasi terus menerus karena berasal dari tumbuhan dan hewan (Cristina, 2021).

Isu mengenai energi dan lingkungan hidup menjadi isu global selama beberapa waktu terakhir. kedua hal tersebut kini menempati prioritas dan posisi pertama dalam kaitannya dengan permasalahan krusial yang dihadapi oleh banyak Negara di dunia, termasuk diantaranya adalah di Indonesia. Saat ini kebutuhan bahan bakar kian meningkat seiring semakin meningkatnya populasi dan berkembangnya teknologi, akan tetapi cadangan sumber daya minyak bumi yang berasal dari fosil semakin menipis karena sifatnya yang tidak dapat diperbaharui, sehingga wacana untuk mengembangkan sumber energi terbarukan semakin banyak digulirkan. menurut data *Automotive Diesel Oil*, konsumsi bahan bakar Indonesia telah melebihi produksi sejak tahun 1995, dan diperkirakan cadangan minyak Indonesia akan habis dalam waktu 10 – 15 tahun mendatang (Muhammad dan Bintoro, 2020).

Kebutuhan energi dunia sebagian besar dipasok melalui sumber minyak bumi, gas alam, dan batu bara, melihat kebutuhan energi yang semakin meningkat namun belum sebanding dengan ketersediaan sumber energi sendiri yang semakin berkurang, beberapa negara mulai mengembangkan energi nuklir, angin, hidrogen, dan yang saat ini yang sangat dikembangkan adalah biodiesel. produksi biodiesel ini sendiri sedang dikembangkan karena pembuatannya murah, mudah dan terbarukan (Rezeika, Ulfin dan Ni'mah, 2018). kekhawatiran mengenai sumber daya energi dan lingkungan telah meningkatkan minat dalam studi sumber energi alternatif. untuk memenuhi peningkatan kebutuhan energi, kini telah ada minat dalam bahan bakar alternatif seperti biodiesel sebagai pengganti minyak diesel yang cocok untuk mesin

pembakaran internal. biodiesel menjadi alternatif yang sangat menjanjikan untuk minyak diesel karena bersifat *renewable* dan memiliki sifat yang sama (Siholo Nathalia, 2018).

Diantara berbagai produk minyak bumi, bahan bakar diesel yang termasuk paling banyak digunakan, yakni sekitar 43,4% dari total pemakaian jenis BBM, salah satu alternatif sumber daya energi adalah *fatty acid metil ester* (biodiesel) sebagai produk yang digunakan untuk menggantikan petroleum diesel yang bersumber dari minyak nabati. bahan dasar yang biasa digunakan untuk pembuatan biodiesel diantaranya minyak kelapa sawit, minyak kedelai, minyak biji bunga matahari minyak biji jarak, dan lain sebagainya (Muhammad dan Bintoro, 2020).

Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral dalam Kebijakan Energi Nasional pemerintah menargetkan bahwa untuk pemakaian bahan bakar nabati (BNN) pada tahun 2025 sebesar sekitar 5%, bahan bakar nabati yang menempati posisi utama untuk dikembangkan adalah biodiesel. biodiesel itu sendiri merupakan bahan bakar dari minyak tumbuhan dan minyak hewan yang telah diubah menjadi bentuk metil ester yang memiliki sifat ramah lingkungan sehingga dapat membantu ketersediaan minyak diesel. Biodiesel umumnya diproduksi melalui proses transesterifikasi minyak nabati atau lemak hewani dengan alkohol rantai pendek (umumnya metanol) dengan bantuan katalis (Andrianto dan Andaka, 2018). biodiesel juga memiliki sifat pelumasan terhadap piston pada mesin karena biodiesel termasuk kelompok minyak yang tidak mengering (*non-drying oil*) dan dapat mengurangi emisi karbon dioksida dan efek rumah kaca. selain itu biodiesel juga memiliki bersifat ramah lingkungan karena menghasilkan emisi gas buang yang jauh lebih baik dibandingkan diesel/solar yaitu bebas sulfur, bilangan asap (*smoke number*) rendah, terbakar sempurna (*clean burning*), dan tidak menghasilkan racun (*non toxic*) (Muhammad dan Bintoro, 2020).

Dengan didirikannya pabrik Biodiesel di Indonesia diharapkan mampu untuk mengantisipasi kebutuhan biodiesel, disamping itu diharapkan juga mampu memberikan keuntungan sebagai berikut:

1. Mengurangi polusi udara karena dapat mengeliminasi gas buang dan efek rumah kaca (Lestari, 2017).
2. Membuka lapangan kerja

3. Dapat mengurangi ketergantungan impor minyak mentah
4. Mengurangi pemakaian bahan bakar diesel subsidi (Muhammad dan Bintoro, 2020).

Dengan melihat kapasitas produksi biodiesel yang terus meningkat, perlu adanya kemajuan bahan baku biodiesel selain minyak sawit, hal ini dilakukan karena melihat produksi beberapa produk dengan bahan baku minyak sawit yang selalu melonjak, dan sering terjadi rebutan bahan baku, dengan begini produksi biodiesel tidak akan terganggu dari segi bahan baku yang digunakan, juga jika dilihat dari sisi ekonomi penggunaan bahan baku berupa limbah cair minyak sawit atau *Palm Oil Mill Effluent* (POME) lebih ekonomis dibanding dengan penggunaan minyak sawit atau *Crude Palm Oil* (CPO).

1.2 Kapasitas Rancangan

Dalam penentuan kapasitas rancangan pabrik biodiesel diperlukan beberapa pertimbangan yaitu kebutuhan produk, ketersediaan bahan baku, dan kapasitas pabrik minimal yang telah beroperasi.

1.2.1 Ketersediaan Bahan Baku

Bahan baku pembuatan biodiesel pada perancangan pabrik ini adalah limbah cair kelapa sawit atau *Palm Oil Mill Effluent* (POME), ketersediaan bahan baku ini sangat berpengaruh dari banyaknya jumlah penggunaan minyak sawit di Indonesia, prarancangan pabrik biodiesel ini direncanakan akan berdekatan dengan sumber wilayah bahan baku, hal ini dilakukan guna mengurangi biaya transportasi, dan kapasitas jumlah produksi pada berbagai daerah tidak sama, berikut merupakan data kapasitas pabrik pengolahan minyak sawit yang ditunjukkan pada tabel berikut: (Maulina Ulfa, 2020) :

Tabel 1.1. Data jumlah produksi ton tandan buah segar/jam

Pulau	Kapasitas (Ton tandan buah segar/jam)
Kalimantan	22.905
Sumatera	13.989
Sulawesi	890
Jawa	484
Maluku	50
Jumlah	38.319

Menurut (Direktorat Bioenergi, Dirjen EB, 2020) pengolahan kelapa sawit mentah di Indonesia yang berasal dari 1 ton buah segar

menghasilkan limbah cair minyak sawit atau *Palm Oil Mill Effluent* (POME) sebanyak 583 Kg. jika dilihat dari data produksi pada tahun 2019, limbah cair minyak sawit atau *Palm Oil Mill Effluent* (POME) yang dihasilkan dari proses produksi biodiesel dengan bahan baku *Crude Palm Oil* (CPO) sebanyak 22.339.977 kg/jam. dengan demikian untuk menentukan kapasitas perancangan pabrik dapat menggunakan pertimbangan ketersediaan bahan baku limbah cair minyak sawit atau *Palm Oil Mill Effluent* (POME) dengan menggunakan asumsi pabrik yang beroperasi selama 1 tahun 330 hari, dan beroperasi selama 24 jam, maka untuk menentukan kapasitas pabrik dengan menggunakan pertimbangan asumsi tersebut diperoleh 160.847.8344 Ton/tahun.

1.2.2 Kapasitas Pabrik yang Telah Beroperasi

Kapasitas pabrik yang telah beroperasi sangat berpengaruh pada kapasitas penentu pabrik yang akan dirancang pada tahun 2027 mendatang. menurut data kementerian ESDM beberapa daerah dengan kapasitas produksi biodiesel yang sudah beroperasi di beberapa pulau di Indonesia dari tahun 2017 hingga 2021 tersedia dalam tabel berikut (Oktaviani *et al.*, 2021):

Tabel 1.2. Data pabrik yang telah beroperasi dan rencana produksi pada tahun 2027

No	Nama Perusahaan	Kapasitas Produksi (Ton/Tahun)	Kapasitas 2027 (Ton/Tahun)
1.	PT. Batara Elok Semesta Terpadu	88.286,667	142186,56
2.	PT. Bayas Biofuels	264.860,0002	426559,68
3.	PT. Cemerlang Energi Perkasa	211.888,0002	341247,74
4.	PT. Ciliandra Perkasa	88.286,667	142186,56
5.	PT. Dabi Biofuels	127.132,800	204748,65
6.	PT. DarmexBiofuels	88.286,667	142186,56
7.	PT. Energi Unggul Persada	233.076,447	375371,95
8.	PT. Intibenua Perkasa Tama	135.961,467	218967,30
9.	PT. Kutai Refinery Nusantara	128.898,534	207592,38
10.	PT. LDC Indonesia	148.321,600	238873,42
11.	PT. Multi Nabati Sulawesi	146.202,720	235460,94
12.	PT. Musim Mas	141.258,667	227498,50
13.	PT. Multimas Nabati Asahan	194.230,667	312810,43
14.	PT. Pelita Agung Agrindustri	70.629,333	113749,25
15.	PT. Permata Hijau Palm Oleo	28.192,240	45403,88
16.	PT. Sinarmas Bio Energy	139.916,003	225336,12
17.	PT. Smart TBK	135.343,460	217972,00

No	Nama Perusahaan	Kapasitas Produksi (Ton/Tahun)	Kapasitas 2027 (Ton/Tahun)
18.	PT. Sukajadi Sawit Mekar	123.601,333	199061,18
19.	PT. Tunas Baru Lampung TBK	123.601,333	199061,18
20.	PT. Wilmar Bioenergi Indonesia	492.639,600	793401,00
21.	PT. Wilmar Nabati Indonesia	511.709,520	824113,30
TOTAL		3.662.323,73	5.833.788,58

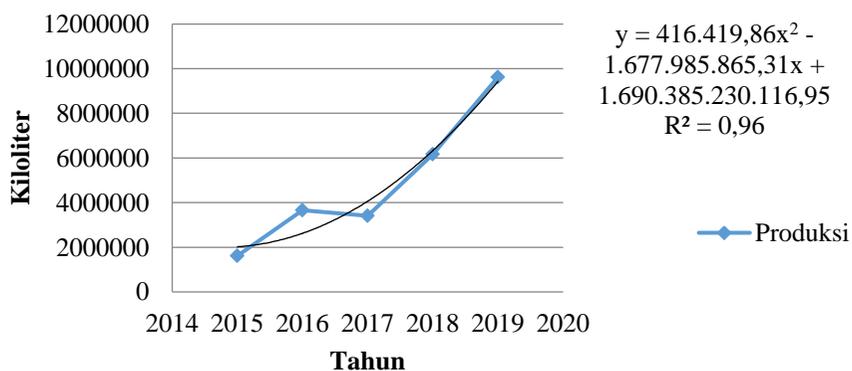
1.2.3 Peluang Pasar

Pada dasar prarancangan pabrik harus selalu melihat pada peluang pasar dari produk yang akan dibuat, semakin besar kapasitas yang dibuat maka semakin besar pula keuntungan yang akan di dapat oleh perusahaan itu sendiri, untuk menentukan besar atau kecilnya kapasitas dapat diperoleh dengan melihat data ketersediaan bahan baku, produksi biodiesel, dan ekspor biodiesel yang berada di Indonesia:

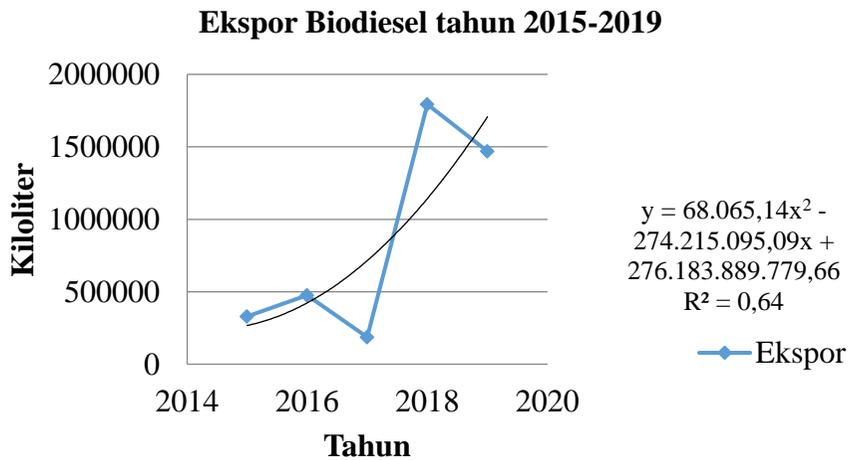
Tabel 1.3. Data produksi, ekspor dan konsumsi di Indonesia pada tahun 2015-2019

Tahun	Produksi	Ekspor	Konsumsi
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

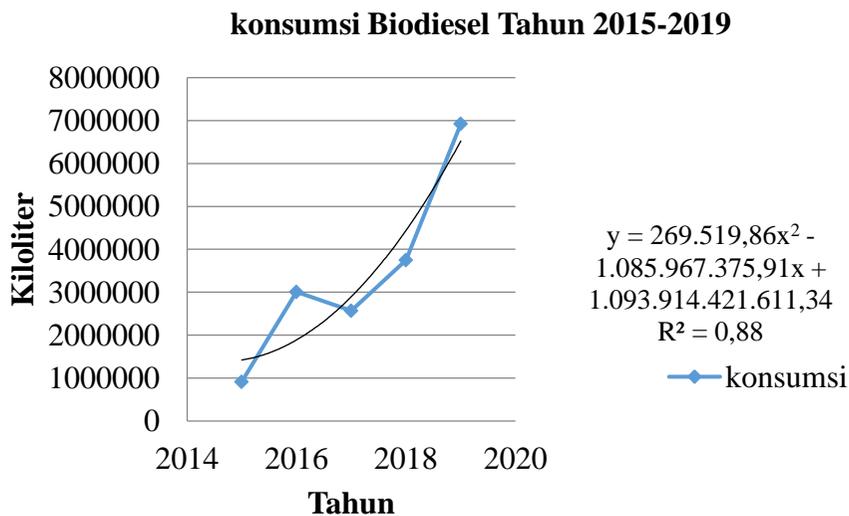
Produksi biodiesel tahun 2015-2019



Gambar 1.1. Grafik Produksi Biodiesel di Indonesia tahun 2015-2019



Gambar 1.2. Grafik Ekspor Biodiesel di Indonesia tahun 2015-2019



Gambar 1.3. Grafik Konsumsi Biodiesel di Indonesia tahun 2015-2019

1.2.4 Penetapan Kapasitas Rancangan Pabrik Biodiesel

Dari data perhitungan dengan menggunakan regresi polynomial orde 2 dan dari hasil produksi 64.236.720 KL/Tahun, Ekspor 23.432.826 KL/Tahun dan jumlah data. konsumsi sebesar 42.615.500 KL/Tahun. untuk bisa menentukan kapasitas dengan data pabrik yang sudah ada dengan menghitung jumlah pertumbuhan setiap tahunnya sebesar 10%, maka di tahun 2027 diprediksi maksimal produksi

824.000 KL, dan minimal produksi sebesar 45.000 KL. melihat besarnya peluang pasar pada 2027 yaitu sebesar 248.577 KL, oleh karena itu kapasitas yang diambil dalam perancangan pabrik biodiesel dengan bahan baku limbah cair minyak sawit atau *Palm Oil Mill Effluent* (POME) pada tahun 2027 adalah sebesar 60.000 Ton/Tahun.

1.3 Pemilihan Lokasi Pabrik

1.3.1 Faktor Primer

Faktor primer merupakan faktor yang secara langsung dapat mempengaruhi tujuan utama dari suatu pabrik, salah satu yang sangat terpengaruh adalah proses produksi dan distribusi, adapun faktor primer yang mempengaruhi pemilihan lokasi antara lain:

1. Ketersediaan bahan baku

Kebutuhan bahan baku merupakan kebutuhan paling dasar yang berkaitan langsung dengan proses produksi. Penyediaan bahan baku yang mudah didapat karena bahan baku dari pembuatan biodiesel dari limbah kelapa sawit yang mudah didapat di kawasan Indonesia salah satunya pada pulau Sumatera dan Kalimantan.

2. Pemasaran

Dengan melihat konsumsi biodiesel yang terus meningkat di berbagai daerah di Indonesia, pemasaran diharapkan mudah, dan teknologi yang semakin canggih dapat mampu lebih memudahkan dalam memasarkan prodak, salah satu contohnya adalah dapat secara online.

3. Ketersediaan tenaga kerja

Tenaga kerja merupakan modal utama dari pendirian suatu pabrik. Sebagian besar tenaga kerja yang dibutuhkan adalah tenaga kerja yang berpendidikan kejuruan atau menengah dan sebagian sarjana, juga menjadi faktor terpenting dari pendirian sebuah pabrik, dengan harapan didirikannya pabrik ini mampu menyerap tenaga kerja yang berkualitas. dengan faktor lain yang diusahakan adalah lokasi pabrik yang berjarak cukup dekat dengan Ibukota Provinsi maupun Negara, dengan harapan dapat diperkirakan tenaga kerja yang tersedia cukup banyak.

4. Utilitas

Pada pabrik ada beberapa utilitas yang dibutuhkan, salah satunya kebutuhan penggunaan air, bahan bakar, dan listrik pada suatu pabrik cukup besar, masalah ini dapat dilihat dari segi lokasi yang memadai misalnya, kebutuhan air didapatkan dari air sungai.

5. Transportasi

Lokasi pabrik yang berdekatan dengan pelabuhan dan jalan utama sehingga mempermudah dalam pengiriman bahan baku serta penyaluran produk.

1.3.2 Faktor Sekunder

Faktor sekunder merupakan faktor yang tidak secara langsung berperan dalam proses industri, akan tetapi sangat berpengaruh dalam kelancaran proses produksi dari pabrik itu sendiri. faktor - faktor sekunder dalam pemilihan lokasi pabrik antara lain:

1. Perluasan Area

Pemilihan lokasi pabrik yang berada di kawasan yang cukup jauh dari kepadatan penduduk, sehingga jika memungkinkan adanya perluasan area pabrik dengan begitu tidak mengganggu pemukiman penduduk.

2. Perijinan

Lokasi pabrik sebisa mungkin dipilih pada daerah khusus untuk kawasan industri, sehingga dapat memudahkan dalam perijinan pendirian pabrik. Untuk tata letak pabrik harus diperhatikan antara lain:

a. Segi keamanan

b. Pengoprasian, pengangkutan, pengontrolan, pemindahan maupun perbaikan semua peralatan proses dapat dilakukan dengan mudah dan aman.

c. Transportasi yang baik dan efisien.

d. Pemanfaatan area tanah dengan seefisien mungkin.

3. Prasarana dan Fasilitas Sosial

Prasarana seperti jalan dan transportasi lainnya harus tersedia, demikian juga fasilitas sosial seperti halnya sarana pendidikan, ibadah hiburan, bank dan perumahan sehingga dapat meningkatkan kesejahteraan dan taraf hidup.

1.3.3 Pemilihan lokasi pabrik

Direncanakan akan didirikan di daerah perindustrian di Lampung, dengan pertimbangan lokasi yang strategis untuk pengambilan bahan baku, karena melihat dari segi ketersediaan bahan baku di wilayah Sumatera yang memiliki banyak industri minyak kelapa sawit. dan juga jika dilihat dari segi transportasi juga lebih mudah. Berikut gambaran lokasi pendirian yang akan dipilih yaitu:



Gambar 1.4. Lokasi Desa Bengkunt Kunyayan, Kabupaten Tanggamus, Lampung

lokasi ini menjadi pilihan karena beberapa faktor, salah satunya adalah untuk bahan baku yang akan diambil dari industri yang ada di Sumatera dan di pulau Jawa, dan di Lampung juga terdapat industri kelapa sawit yang cukup besar. kawasan ini dekat dengan jangkauan transportasi, darat dan bisa juga transportasi air yaitu pelabuhan bakauheni di Lampung.

1.4 Pemilihan Proses

1.4.1 Macam macam Metode

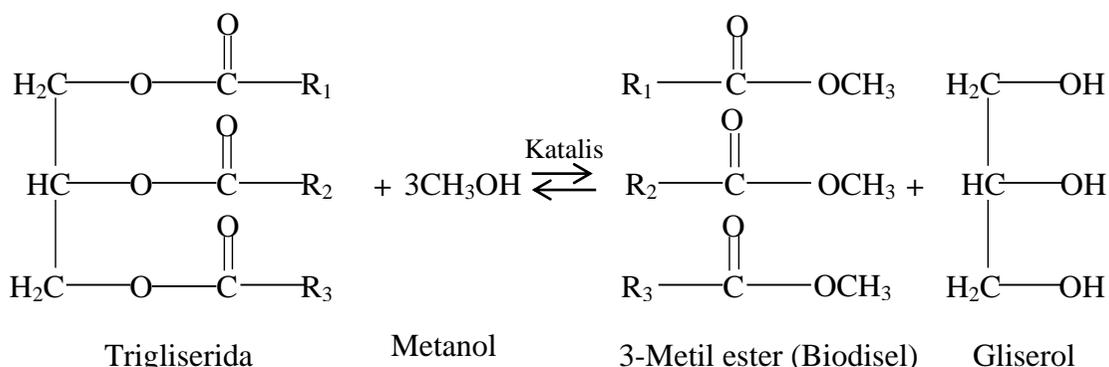
Biodiesel dapat diperoleh dengan beberapa cara atau metode, sebagai berikut:

1. Transesterifikasi

Transesterifikasi (disebut alkoholisis) merupakan pertukaran antara metanol dengan ester untuk membentuk ester lain pada suatu proses yang serupa dengan hidrolisis, kecuali pada penggunaan methanol yang digunakan untuk menggantikan air (Muhammad dan Bintoro, 2020). metode Transesterifikasi ini berhasil jika ditandai dengan pemisahan suatu produk dengan mudah dan efektif setelah waktu reaksi. karena reaksi transesterifikasi ini merupakan reaksi kesetimbangan, kadar

alkohol harus lebih banyak dari pada kadar minyak, ini disebabkan sebagai pendukung reaksi sehingga dapat menghasilkan konversi yang sempurna dari minyak ke alkil ester (Siholo Nathalia, 2018).

Menurut Sarandon, Siregar dan Rahardja, 2019, reaksi Transesterifikasi yaitu reaksi mengubah trigliserida yang dihasilkan kembali direaksikan menggunakan metanol dengan bantuan katalis. metanol yang digunakan pada penelitian ini sebanyak 6:1 untuk mentanol dan berat sampel yang digunakan. menurut penelitian (Sarandon, Siregar dan Rahardja, 2019) menyatakan bahwa semakin meningkatnya molar metanol dengan minyak dari 6:1 hingga 12:1 tidak menghasilkan konversi metil ester yang signifikan. Bahan baku perlu melalui proses esterifikasi yang berfungsi untuk menurunkan kadar FFA hingga di bawah 5 %.

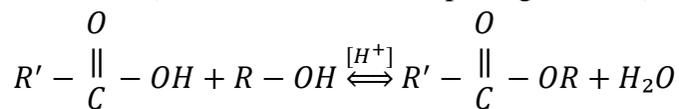


Gambar 1.5. Transesterifikasi

2. Esterifikasi

Esterifikasi adalah proses untuk mengkonversi asam lemak bebas menjadi ester (Andrianto dan Andaka, 2018). reaksi esterifikasi biasa dilakukan pada suhu 60°C dengan waktu selama 2 jam dan dilakukan proses pengadukan secara terus menerus untuk mempercepat reaksi dan agar seluruh katalis dapat bereaksi dengan reaktan. hasil esterifikasi ini selanjutnya akan dianalisis kandungan asam lemak bebasnya dengan menggunakan metode titrasi menggunakan KOH atau NaOH dan indikator phenolphthalein, proses ini akan ditandai dengan

terjadinya perubahan warna larutan dari kuning menjadi warna merah muda (Suleman, Abas dan Paputungan, 2019).



Gambar 1.6. Esterifikasi

3. Pirolisis

Pirolisis adalah reaksi dekomposisi termal yang selama proses berlangsung tanpa menggunakan adanya oksigen, biasanya pirolisis pada minyak nabati menggunakan katalis berupa garam logam. pirolisis ini dapat menghasilkan biodiesel dengan *Cetane number* yang tinggi, namun jika melihat mengenai standar bahan baku mutu biodiesel yang terus diperketat, menurut (Muhammad dan Bintoro, 2020) viskositas biodiesel yang dihasilkan dengan metode pirolisis ini dilaporkan sangat tinggi dan juga memiliki karakteristik titik tuang yang rendah.

4. *Direct use and blending*

Metode didasarkan pada penggunaan minyak nabati ataupun lemak hewan menjadi bahan bakar atau mencampurkannya dengan bahan bakar diesel. keuntungan dari metode ini yaitu mudah didapat, dan sederhana. akan tetapi, kekurangan metode ini adalah viskositas yang tinggi, dan memiliki tingkat volatil yang rendah (Rezeika, Ulfin dan Ni'mah, 2018).

1.4.2 Pemilihan metode

Metode yang dipilih dalam proses pembuatan dengan bahan baku limbah cair kelapa sawit/*Palm Oil Mill Effluent* (POME) adalah metode esterifikasi dan metode transesterifikasi. Pemilihan metode dan proses ini melihat dari segi bahan baku serta bahan pendukung yang digunakan.

1.5 Tinjauan Pustaka

1.5.1 Sifat Fisis dan Kimia Bahan Baku

1.5.1.1 Limbah cair kelapa sawit/*Palm Oil Mill Effluent* (POME)

Limbah cair kelapa sawit/*Palm Oil Mill Effluent* (POME) merupakan hasil samping dari produksi minyak sawit mentah atau *Crude Palm Oil* (CPO). Pada saat ini limbah dari pabrik kelapa sawit atau *Palm Oil Mill Effluent* (POME) ini hanya diolah dengan cara

menurunkan nilai COD dan BOD dari limbah tersebut kemudian dibuang ke lingkungan. Namun limbah cair ini lambat laun akan sangat merusak lingkungan, oleh karena itu sangat amat diperlukan metode dengan pengolahan yang lebih lanjut yang berfungsi agar tidak mencemari lingkungan (Susila Arita *et al.*, 2020). Pembuangan limbah cair minyak sawit atau *Palm Oil Mill Effluent* (POME) ini merupakan permasalahan serius yang dihadapi industri Pengolahan Kelapa Sawit (PKS). Berikut merupakan sifat fisika dan kimia dari *Palm Oil Mill Effluent* (POME):

a) Sifat fisika *Palm Oil Mill Effluent* (POME)

Fase	: bubuk
Temperatur	: 45°C
Titik Leleh	: 36°C
Densitas	: 0,85-0,88 g/mL
Kelarutan POME:	tidak larut dalam air

(Sarwanto *et al.*, 2020)

b) Sifat fisika Trigliserida

Rumus molekul	: $C_3H_5(COOR)_3$
Berat molekul	: 847,28 g/mol
Fase	: cair
Wujud	: berwarna kuning/merah
Kemurnian	: 99,5% (0,5% FFA)
Kelarutan	: larut dalam alkohol
Densitas	: 0,885 g/ml
Titik leleh	: 33-39°C

c) Sifat kimia

Reaksi esterifikasi yang dilakukan bertujuan untuk agar asam lemak dari trigliserida menjadi bentuk ester, kemudian reaksi esterifikasi ini jugak dapat melalui reaksi kimia yang disebut dengan penukaran ester.

Dengan melihat kandungan pome yaitu salah satunya berupa Trigliserida, POME dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan biodiesel yang lebih ramah terhadap lingkungan karena dapat mengurangi dari limbah CPO itu sendiri. Karakteristik dari limbah cair kelapa sawit atau *Palm Oil Mill Effluent* (POME) tersaji dalam tabel berikut (Santoso *et al.*, 2017):

Tabel 1.4. karakteristik dari *Palm Oil Mill Effluent* (POME)

Parameter	POME (Range)	POME (Mean)	Discharge standart (1-1-1984 and thereafter)
Temperatur(°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	15.000-10.000	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 temperature dan pH

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

^c nilai sampel yang di saring

1.5.1.2 Methanol

Pada rancangan pabrik biodiesel dengan menggunakan *Palm Oil Mill Effluent*(POME) ini menggunakan bahan lain juga yaitu methanol

a) Sifat Fisika Methanol

Rumus Molekul : CH₃OH

Fase : Cair

Kemurnian : 99% (1% H₂O)

Titik Didih : 64,7°C

Titik Lebur : -97°C

Berat Molekul : 32,04 g/gmol

Densitas : 0,8062 g/mL (pada 20°C)

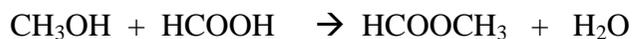
Viskositas : 0,55 cP

Kelarutan : Larut sempurna dalam air

(Nurhayati, 2021)

b) Sifat Kimia

Pada proses esterifikasi methanol akan bereaksi dengan asam organik, untuk kemudian membentuk ester.



Methanol Asam Formiat Metil Formiat air

1.5.2 Sifat Fisis dan Kimia Bahan Pendukung

Untuk berjalannya suatu proses produksi harus dan wajib menggunakan bahan pendukung, pada proses rancangan pabrik biodiesel ini bahan pendukung yang digunakan sebagai berikut:

1.5.2.1 Air

a) Sifat Fisika

Fase	: Cair
Kenampakan	: Jernih
Titik beku	: 0°C
Titik didih	: 100°C
Densitas	: 1 kg/L
Viskositas	: 1 cP (pada 20°C)
Rumus molekul	: H ₂ O
Berat molekul	: 18 g/gmol
Kelarutan	: Larut dalam alkohol

(Nurhayati, 2021)

1.5.2.2 Asam Sulfat (H₂SO₄)

a) Sifat Fisika Asam Sulfat

Rumus Molekul	: H ₂ SO ₄
Fase	: Cairan berminyak
Kenampakan	: tidak berwarna
Viskositas	: 26,7 cP (20°C)
Densitas	: 1,84 g/cm ³
Titik didih	: 337°C (610K)
Titik lebur	: 10°C (283K)
Kelarutan	: larut dalam air

(Nurhayati, 2021)

b) Sifat Kimia

H₂SO₄ merupakan Reaksi hidrasi asam sulfat sangatlah eksotermik. Air memiliki massa jenis yang lebih rendah dibandingkan asam sulfat dan cenderung mengapung di atasnya, sehingga jika air ditambahkan ke dalam asam sulfat pekat, ia akan dapat mendidih dan bereaksi dengan keras (Wiradiesta, 2015).

1.5.2.3 Natrium Hidroksida (NaOH)

a) Sifat Fisika Natrium Hidroksida

Rumus Molekul	: NaOH
Fase	: Cair
Kenampakan	: putih
Berat Molekul	: 28,56 g/gmol
Densitas	: 2,13 g/cm ³

Titik didih	: 1390°C (pada 760 mmHg)
Titik lebur	: 318°C
Kelarutan	: larut dalam air dan alkohol

(Nurhayati, 2021)

b). Sifat kimia Natrium Hidroksida

Sifat kimia dari NaOH yaitu sangat mudah menyerap gas CO₂, senyawa ini sangat mudah larut dalam air. NaOH merupakan larutan basa kuat, bersifat sangat korosif terhadap jaringan organik, tidak berbau. NaOH dapat digunakan untuk menetralkan H₂SO₄.

1.5.2.4 Asam Klorida (HCl)

a). Sifat Fisika Asam Klorida (HCl)

Rumus Molekul	: HCl
Fase	: Cair
Kenampakan	: warna transparan kuning pusat
Berat Molekul	: 36,46 g/gmol
Densitas	: 3,856 g/cm ³
Titik didih	: 10 °C (383 K)
Titik lebur	: -27,32 °C (247 K)
Kelarutan	: larut dalam air

b). Sifat kimia Asam Klorida (HCl)

HCl adalah asam kuat, dan merupakan komponen utama dalam asam lambung. HCl adalah senyawa yang juga digunakan secara luas dalam industri. Dengan sifatnya yang korosif, kamu harus menggunakan asam klorida dengan berhati-hati dan memperhatikan keselamatan.

1.5.2.5 Kalsium Oksida (CaO)

a) Sifat fisika CaO

Rumus Molekul	: CaO
Fase	: serbuk
Kenampakan	: Putih
Berat Molekul	: 56,07 g/gmol
Densitas	: 3,34 g/cm ³
Titik didih	: 2850 °C
Titik lebur	: 2613 °C
Kelarutan	: larut dalam gliserol

b). Sifat kimia CaO

CaO dapat digunakan sebagai katalis dalam proses transesterifikasi pembuatan Biodiesel.

1.5.2.6 Natrium Sulfat (Na₂SO₄)

a) Sifat fisika Natrium Sulfat

Rumus Molekul	: Na ₂ SO ₄
Fase	: padatan Kristal putih
Kenampakan	: Putih
Berat Molekul	: 142,04 g/gmol
Densitas	: 2,664 g/cm ³
Titik didih	: 1429 °C
Titik lebur	: 884 °C

b) Sifat kimia Natrium Sulfat

Salah satu fungsi dari Natrium Sulfat ini adalah dapat mengikat sisa H₂O yang masih tersisa didalam Biodiesel.

1.5.3 Sifat Fisis dan Kimia Produk

1.5.3.1 Metil Ester (Biodiesel)

a) Sifat Fisika Biodiesel

Rumus molekul	: CH ₃ COOR
Fase	: Cair
Kenampakan	: Kuning
Berat molekul	: 284 kg/kmol
Densitas	: 0,8881 kg/L/20 ⁰ C
Titik didih	: 354,3 °C (pada 1 atm)
Kelarutan	: Tidak larut dalam air
Impuritis	: 0,46% C ₃ H ₅ (COOR) ₃

(Nurhayati, 2021)

c) Sifat Kimia

pada lingkungan aquatic biodiesel dapat terdegradasi 85,5-88,5% dibandingkan dengan solar hanya sekitar 26,24%.

1.5.4 Sifat Fisis dan Kimia Produk samping

1.5.4.1 Gliserol

a) Sifat Fisika Gliserol

Rumus molekul	: C ₃ H ₈ O ₃
Fase	: Cair
Kenampakan	: Kental
Berat molekul	: 92 kg/kgmol

Densitas : 1,26 kg/L
 Titik didih : 147,9°C
 Kelarutan : Larut sempurna dalam air
 (Nurhayati, 2021)

b) Sifat Kimia

Gliserol dapat mengalami *glycolysis* atau *gluconeogenesis*

1.5.5 Proses Pembuatan yang dipilih

1.5.5.1 Kondisi Operasi

Proses pembuatan biodiesel yang menggunakan bahan baku limbah cair kelapa sawit/ *Palm Oil Mill Effluent* (POME) digunakan adalah esterifikasi dan transesterifikasi, dengan pertimbangan pemilihan proses Berdasarkan beberapa jurnal, perbandingan kondisi operasi dapat dilihat pada Tabel (Nadya Pasha dan Azwaruddin, 2020):

Tabel 1.5 Perbandingan kondisi operasi

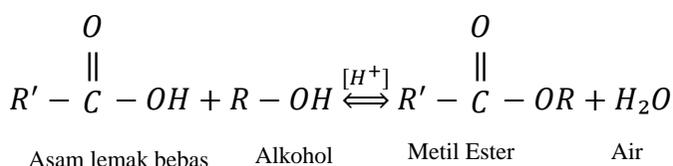
Kondisi	1	2	3	4
Jenis proses	Transesterifikasi	Esterifikasi	Esterifikasi dan Ultrasonik	Esterifikasi dan Transesterifikasi
Suhu	30°C	60°C	-	60°C
Waktu	24 jam	1 jam	6 jam (Esterifikasi) 40 menit (Ultrasonik)	2 jam (Esterifikasi) 2 jam (Transesterifikasi)
Katalis	TLL	HCS	BF ₃ (Esterifikasi) H ₂ SO ₄ (Ultrasonik)	H ₂ SO ₄ (Esterifikasi) NaOH (Transesterifikasi)
Rasio POME dan Methanol	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, 2012)	(Furqan,2017)	(Rachmadona,2017)	(Haryanto, 2019)
Jenis proses	Pirolisis	Mikroemulsi	Katalis Biologis	Ultrasonik
Suhu	450°C	30°C	70°C	40-70°C
Waktu	30 menit		2 jam	1 jam
Katalis	Al ₂ O ₃	Tween 80, Oleique plurol, labrasol	CaO	Na ₂ O
Konversi			87,41%	89,53%
Sumber	(Rofiki, 2018)	(Rofiki, 2018)	(FD putri, 2015)	(QH Maisrah, 2019)

Berdasarkan beberapa perbandingan dari macam-macam proses dan kondisi operasi tersebut, maka pada Prarancangan Pabrik Biodiesel

dengan menggunakan bahan baku *Palm Oil Mill Effluent*(POME) dengan kapasitas 60.000 Ton/Tahun maka dipilih kondisi 4 karena pada kondisi ini memiliki suhu yang lebih rendah dan tekanan rendah sehingga lebih aman. selain itu konversi yang digunakan juga lebih tinggi, melalui reaksi esterifikasi terlebih dahulu karena kadar FFA dalam POME 19,62%, maka dari itu perlu diturunkan melalui reaksi esterifikasi.

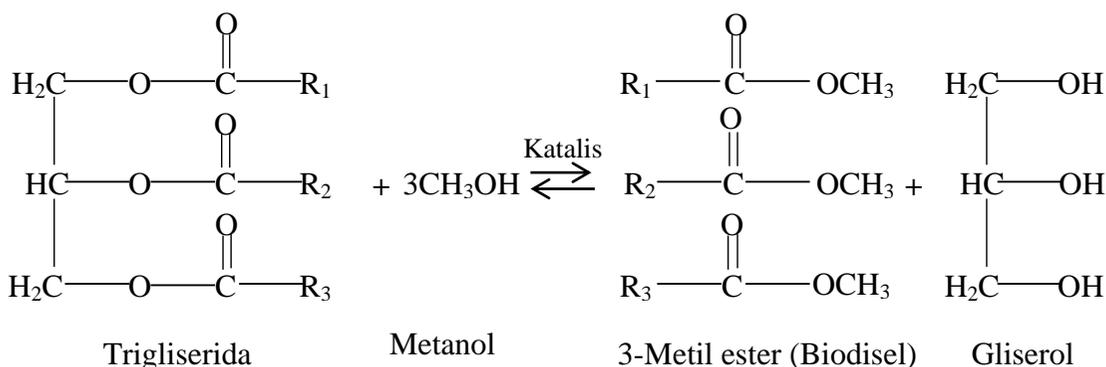
1.5.5.2 Dasar Reaksi

Esterifikasi dengan katalis asam (umumnya menggunakan asam sulfat H_2SO_4), tetapi untuk minyak nabati dengan kandungan asam lemak bebas tinggi dilanjutkan dengan proses transesterifikasi dengan methanol.



Gambar 1.7. Reaksi Esterifikasi

Hal yang mempengaruhi reaksi esterifikasi yaitu waktu reaksi pengadukan, katalisator/perbandingan reaktan, dan suhu. sedangkan pada proses transesterifikasi minyak nabati direaksikan dengan alkohol dan katalis basa menghasilkan metil ester dan gliserol.



Gambar 1.8. Reaksi Transesterifikasi

Transesterifikasi dengan katalis basa untuk bahan baku minyak nabati dengan kandungan asam lemak bebas rendah, faktor utama yang mempengaruhi proses ini adalah rasio molar antara trigliserida dan methanol.

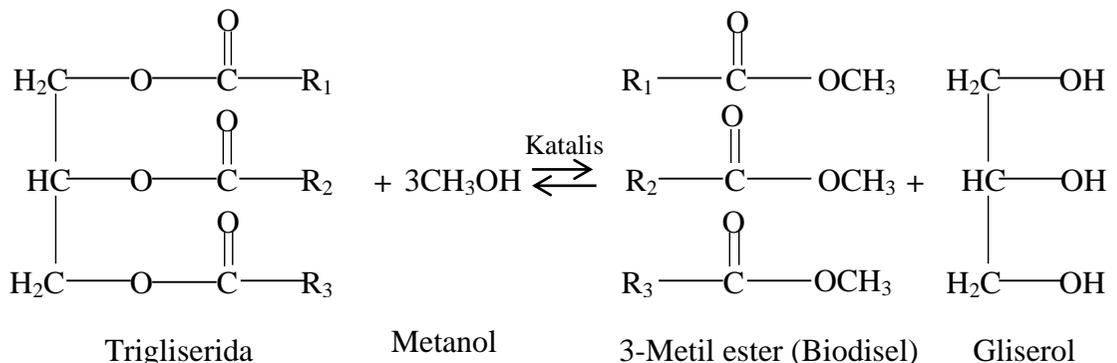
Pada proses reaksi esterifikasi asam lemak bebas akan bereaksi dengan alkohol dan kemudian membentuk *Fatty Acid Alkyl Ester* dan air, sedangkan pada proses transesterifikasi trigliserida akan bereaksi dengan alkohol dan kemudian membentuk *Fatty Acid Alkyl Ester* dan Gliserol. Kedua jenis reaksi ini merupakan reaksi dapat balik (*reversible*) (Supriyono dan Mahayana, 2013).

1.5.5.3 Tinjauan Kinetik

Pada pembentukan biodiesel menggunakan POME diasumsikan bahan asam lemak bebas adalah asam oleat atau $C_{18}H_{34}O_2$ maka reaksi esterifikasi yang terbentuk adalah sebagai berikut:

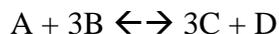


Setelah dilakukannya proses esterifikasi selanjutnya dilakukan dengan proses transesterifikasi yang bertujuan untuk dilakukan konversi trigliserida (Trioleat) dari POME menjadi *Methyl Ester* atau Biodiesel dan Gliserol. Rantai panjang reaksi transesterifikasi adalah sebagai berikut:



Gambar 1.9. Gambar Transesterifikasi

Persamaan diatas dapat disederhanakan menjadi :



Reaksi esterifikasi dan transesterifikasi merupakan dua hal yang sangat berbeda. Perbedaan keduanya terletak pada bahan baku yang digunakan pada proses reaksi. Namun, produk akhir yang dihasilkan pada dua reaksi ini adalah etil alkil asam lemak yang sama. Pada proses reaksi esterifikasi, asam lemak bebas bereaksi dengan alcohol membentuk air dan asam lemak alkil ester, sedangkan pada transesterifikasi trigliserida bereaksi dengan alcohol membentuk asam

lemak alkil ester dan gliserol. Kedua jenis reaksi ini merupakan reaksi reversible (Supriyono dan Mahayana, 2013).

Sedangkan untuk kecepatan reaksinya yang merupakan 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 dapat teradsorpsi oleh resin polimerik, dan setelah itu menghasilkan persamaan berikut dengan memasukan parameter absorpsi methanol KM, dan air KW, selanjutnya persamaan berubah menjadi:

$$r = \frac{k_c x_A x_M}{1 + K_M x_M + K_W x_W} \left(1 - \frac{1}{k_e} \frac{x_E x_W}{x_A x_M} \right) C_{cat} \dots \dots \dots (2)$$

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

Tabel 1.6. Parameter kinetika.(Tesser)

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

Pada penelitian (Putri, Augustin dan Hasanudin, 2022) energy aktivasi merupakan energi minimum yang diperlukan untuk tujuan reaksi dapat berjalan dengan baik. energi aktivasi ini ditentukan dengan cara memvariasikan temperatur reaksi dari proses esterifikasi. energi aktivasi ini ditentukan dengan menggunakan persamaan bentuk ln dari persamaan Arrhenius. Hasil penentuan dari energi aktivasi reaksi esterifikasi asam lemak bebas dari sludge adalah sebesar 17,9366 kJ/mol.

Tabel 1.7. Data konstanta Arrhenius dan energi aktivasi reaksi maju.

T(K)	Rata-Rata K_1	$1/T(10^2)$	Ln K_1	Slope	Intersep	A	E_{a1} (KJ/mol)
333	0,0284	3,0030	-3,5613	-	2,9135	2,7183	17,9366
343	0,0339	2,9155	-3,3843	2,1574			
353	0,0410	2,8329	-3,1941	-			

Berdasarkan nilai energi aktivasi yang diperoleh menunjukkan bahwa molekul reaktan harus memiliki energi minimum pada angka 17,9366 KJ/mol atau 17936,6 J/mol agar dapat membentuk ester.

1.5.5.4 Tinjauan Termodinamika

Tinjauan secara termodinamika ditunjukkan untuk mengetahui sifat reaksi dan arah pembentukan biodiesel. Reaksi kesetimbangan ini digunakan untuk menentukan sifat reaksi, endotermis atau eksotermis, dan menentukan arah reaksi atau (*reversible/irefersibel*). Maka diperlukan adanya peninjauan secara khusus terhadap ΔH° f dan energy gibbs (ΔG) pada tekanan 1 atm dan pada suhu ΔH° f dan ΔG masing - masing komponen yaitu 298,15 K, ini dapat dilihat pada tabel (Yaws, 1999).

Tabel 1.8. Harga ΔH° f dan ΔG

Komponen	ΔH° 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 ΔH° f negatif maka reaksi eksotermis
- Jika ΔH° f positif maka reaksi endotermis

Asam Oleat (C₁₈H₃₄O₂)

POME ΔH° F KJ/mol

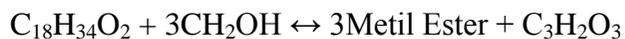
C₁₈H₃₄O₂ -671,78

CH₃OH -201,194

Metil ester -626, 311

C₂H₈O₃ -582,922

Reaksi



(Trigliserida)

Maka ΔH° F reaksi

$$\Delta H^{\circ}F \text{ reaksi} = \sum \Delta H^{\circ}F \text{ produk} - \sum \Delta H^{\circ}F \text{ reaktan}$$

$$= [\Delta H^{\circ}F C_3H_2O_3 + (3 \times \Delta H^{\circ}F(\text{metil ester})) - [\Delta H^{\circ}F C_{18}H_{34}O_2 + (3 \times \Delta H^{\circ}F CH_3OH)]$$

$$= [-582, 922 (3 \times -626,311)] - [-671,78 + (3 \times -201,194)]$$

$$= -3725, 217$$

ΔH° F reaksi negatif maka reaksi ini merupakan reaksi eksotermis.

Kesetimbangan (k)

$$\begin{aligned}
 \Delta G^{\circ}F \text{ total} &= \sum \Delta G^{\circ}F \text{ produk} - \sum \Delta G^{\circ}F \text{ reaktan} \\
 &= [\Delta G^{\circ}F \text{ C}_3\text{H}_8\text{O}_3 + (3 \times \Delta G^{\circ}F \text{ (metil ester)})] - [\Delta G^{\circ}F \\
 &\quad \text{C}_{18}\text{H}_{34}\text{O}_2 + (3 \times \Delta G^{\circ}F \text{ CH}_2\text{OH})] \\
 &= [-448,7931 + (3 \times -118,2250)] - [-189,69 + (3 \times - \\
 &\quad 162,6575)] \\
 &= -583,5444
 \end{aligned}$$

Konstanta kesetimbangan (k)

$$\Delta G^{\circ}F \text{ total} = -RT \cdot \ln k$$

Dengan :

$$R = -8,314 \text{ KJ/mol}^{\circ}k$$

$$\begin{aligned}
 K_{298,13} &= \exp \frac{-\Delta G}{RT} \\
 &= \exp \frac{-583,5444}{-8,314 \times 298,15} \\
 &= 1,2654
 \end{aligned}$$

Nilai k 60°C (333,15 k)

$$d(\ln k) = \frac{-\Delta H^{\circ}F}{RT^2} dT$$

$$\begin{aligned}
 \ln \frac{k_{\text{Toperasi}}}{k_{298,15}} &= \frac{-\Delta H^{\circ}F_{298,15}}{R} \left(\frac{1}{T_{\text{operasi}}} - \frac{1}{T_{298,15}} \right) \\
 &= \frac{-3725,217}{-8,314} \left(\frac{1}{333,15} - \frac{1}{298,15} \right)
 \end{aligned}$$

$$\ln \frac{k_{\text{Toperasi}}}{1,2654} = -0,1731$$

$$k_{\text{Toperasi}} = 1,1889$$

k = 1,1889 reaksi merupakan reaksi reversible atau bolak balik

Dari perhitungan didapatkan nilai $\Delta H^{\circ} f$ sebesar -3725, 217 KJ/mol dan dapat disimpulkan bahwa reaksi ini termasuk reaksi eksotermis.