BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan bahan bakar minyak (BBM) di Indonesia semakin meningkat dari tahun ke tahun. Laju konsumsi BBM tersebut diikuti dengan semakin menurunnya produksi minyak bumi dalam negeri. Usaha-usaha untuk mencari dan mengembangkan sumber bahan bakar alternatif terus dilakukan. Salah satunya adalah *methyl ester* sebagai alternatif bahan bakar untuk mesin diesel. *Methyl ester* merupakan bahan bakar yang terdiri dari campuran *mono-alkyl ester* dari rantai panjang asam lemak yang dipakai sebagai alternatif bagi bahan bakar mesin diesel dan terbuat dari sumber terbaharui seperti minyak sayur atau minyak hewan. Alasan Pembangunan industri kimia ialah untuk menunjang sektor ekspor Indonesia serta untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri juga. Maka untuk itu perlu adanya pendirian pabrik pabrik baru khususnya pabrik kimia. Salah satunya ialah pabrik *methyl ester* .

Methyl ester lemak merupakan senyawa ester alkil yang berasal dari minyak nabati dengan alkohol yang dihasilkan melalui proses esterifikasi/transesterifikasi dan mempunyai sifat fisika mendekati minyak solar diesel. Secara umum, *methyl ester* dibuat dari reaksi transesterifikasi, yakni reaksi alkohol dengan trigliserida membentuk *methyl este*r dan gliserol dengan bantuan katalis basa. Namun, reaksi tersebut sangat dipengaruhi oleh kadar asam lemak bebas yang terkandung dalam trigliserida. Reaksi esterifkasi merupakan merupakan suatu reaksi antara asam karboksilat dan alkohol membentuk ester dengan bantuan katalis asam. Dalam penelitian ini, bahan baku CPO Off *Grade* lapisan atas dengan kadar asam lemak bebas sebesar 5.838 %. Dan pengertian esterifikasi diacu sebagai reaksi antara asam lemak bebas dengan alkohol membentuk *methyl ester* dan air dengan bantuan katalis asam. Untuk mendapatkan *yield* yang baik, dalam laporan ini dilakukan

metode reaksi bertahap, yakni reaksi esterifikasi, kemudian diikuti dengan reaksi transesterifikasi (Arita dkk., 2008).

Saat ini Indonesia mulai mengembangkan *methyl ester* B20. B20 adalah program Pemerintah yang mewajibkan pencampuran 20% *methyl ester* dengan 80% bahan bakar minyak jenis Solar, yang menghasilkan produk Biosolar B20. Program ini mulai diberlakukan sejak Januari 2016 sesuai Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) Nomor 12 tahun 2015 tentang Perubahan Ketiga atas Peraturan Menteri ESDM nomor 32 tahun 2008 tentang Penyediaan, Pemanfaatan dan Tata Niaga Bahan Bakar Nabati *(Biofuel)* sebagai Bahan Bakar Lain. Indonesia adalah negara pertama yang berhasil mengimplementasikan B20 dengan bahan baku utama bersumber dari kelapa sawit. Negara yang telah berhasil mengimplementasikan B20 adalah Minnesota, Amerika Serikat mulai Mei 2018. Adapun Kolombia baru pada tahap B10 dari tahun 2011 dan Malaysia baru pada tahap B10 pada tahun 2019.

Pada industri pembuatan *methyl ester* dapat dilakukan dengan dua cara diantaranya :

1. Esterifikasi
2. Transesterifikasi

Ada beberapa keuntungan penggunaan *methyl ester*, yaitu penggunaannya pada mesin diesel dapat mengurangi hidrokarbon yang tak terbakar, karbon monoksida, dan partikulat kasar seperti karbon dan debu. *Methyl ester* dapat juga memperpanjang umur mesin karena lebih berpelumas dibanding petrodiesel dengan relatif tidak mempengaruhi konsumsi bahan bakar*, auto ignition*, daya keluaran dan torsi mesin. Pada lingkungan aquatik *methyl ester* mampu terdegradasi antara 85,5% sampai 88,5% sama seperti gula atau *dextrose*, sedangkan solar hanya mampu 26,24%.

Selain aman dibawa dan disimpan seperti petrodiesel, *methyl ester* dapat digunakan secara murni atau dicampur dengan petrodiesel dalam berbagai rasio. Semakin besar komposisi *methyl ester* pada campuran dengan petrodiesel, semakin berkurang pula emisi gas buang yang dihasilkan. Mengingat kebutuhan akan Bahan Bakar Minyak (BBM) Indenesia yang meningkat, maka perlu alternatif untuk

memenuhinya. Sehingga diharapkan kebutuhan akan BBM jenis diesel dapat terpenuhi.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun Rumusan Masalah dari pabrik pembuatan *methyl ester* dengan proses transesterifikasi minyak jarak pagar dan metanol sebagai berikut:

1. Apakah pabrik *methyl ester* dengan proses transesterifikasi layak didirikan?
2. Apakah pendirian pabrik *methyl ester* memenuhi kebutuhan di dalam negeri maupun luar negeri?

1.3 Tujuan Pra Rancangan Pabrik

Tujuan prarancangan pabrik pembuatan *Methyl ester* dari bahan baku Minyak Jarak Pagar (*Jantropha Curcas*) melalui proses Transesterifikasi untuk menerapkan disiplin ilmu Teknik kimia khususnya dibidang prarancangan proses dan operasi Teknik kimia sehingga akan memberikan kelayakan pabrik pembuatan *methyl ester*.

1.4 Manfaat Pra Rancangan Pabrik

Berdasarkan dari tujuan prarancangan pabrik *methyl ester* maka manfaat dari prarancangan pabrik yang diperoleh sebagai berikut:

1. Dapat meningkatkan devisa negara dari sektor non-migas bila hasil produksi *methyl ester* di ekspor.
2. Untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri akan kebutuhan *methyl ester* dan memberikan kesempatan bagi industri-industri lain yang membutuhkan *methyl ester*.
3. Dapat menciptakan lapangan kerja baru bagi masyarakat dan dapat menunjang pemerataan pembangunan serta dapat meningkatkan tarif hidup masyakarat.

1.5 Batasan Masalah

Di dalam penyusunan dan penyelesaian tugas prarancangan pabrik *methyl ester* ini, penyusun membatasi hanya pada *flowsheet* (*steady state*), , *dynamic mode*, neraca massa, neraca energi, spesifikasi peralatan, analisa ekonomi, unit

utilitas, Autodesk P&ID, Aspen *Hysys*, *Autodesk Plant* 3D dan tugaskhusus.

1.6 Pemilihan Bahan Baku

Pemilihan bahan baku dalam rancangan pabrik *methyl ester* (biodiesel) melalui proses transesterifikasi merupakan langkah krusial yang tidak hanya memengaruhi efisiensi proses produksi, kualitas produk akhir, tetapi juga kelayakan ekonomi dan keberlanjutan lingkungan pabrik secara keseluruhan. Proses transesterifikasi sendiri adalah reaksi kimia reversibel di mana trigliserida dari minyak nabati bereaksi dengan alkohol monohidroksi seperti metanol di hadapan katalis basa atau asam, menghasilkan *fatty acid methyl ester* (FAME) sebagai biodiesel utama dan gliserol sebagai produk sampingan yang bernilai ekonomi (Knothe et al., 2015).

Dalam konteks rancangan pabrik ini, pemilihan bahan baku difokuskan pada sumber lokal Indonesia yang melimpah, memiliki karakteristik kimia optimal seperti kandungan asam lemak bebas (FFA) rendah (<2%) untuk menghindari pembentukan sabun selama reaksi, serta komposisi asam lemak jenuh dan tak jenuh yang memenuhi spesifikasi standar biodiesel nasional SNI 7182:2015 maupun internasional ASTM D6751, termasuk viskositas, densitas, dan titik nyala yang sesuai untuk aplikasi mesin diesel (BSN, 2015). Kriteria pemilihan juga mencakup skalabilitas produksi, biaya akuisisi yang kompetitif, dampak lingkungan minimal, dan kemudahan pengolahan pra-proses untuk memaksimalkan *yield* reaksi hingga >95-98%.

1.6.1 Bahan Baku Minyak Jarak Pagar (*Jatropha curcas L.*)

Minyak jarak pagar dipilih sebagai bahan baku utama karena keunggulannya sebagai tanaman *non-edible* yang dapat dibudidayakan secara masif di lahan marginal Indonesia seluas jutaan hektar, dengan potensi produksi biji mencapai 5-10 juta ton per tahun dan kandungan minyak biji rata-rata 35-40% berat (rentang 30-58%) melalui ekstraksi mekanis (*screw press*) atau pelarutan heksana (Balitbangtan, 2018). Dengan sepesifikasi sebagai berikut:

Rumus molekul	: $C_{57}H_{104}O_6$
Fasa	: Cair
Warna	: Kuning keemasan

Bilangan Penyabunan	: 96,7 mg/gr
Densitas	: 0,9157 kg/m3
Viskositas (pada 40ºC, cSt)	: 34,17 cP
Titik didih, 1 atm, ºC	: 300ºC
Tekanan	: 1 atm
Kelarutan	: Tidak larut dalam air
Bilangan iod (gr/100 gr)	: 108,5
Titik Nyala	: 270 ˚C
Indeks Bias25ºC	: 1,4655 MSDS
Air	: 1 %
Asam Oleat (FFA) tak jenuh	: 47,929 % (La Puppung, 1986).

1.6.2 Metanol Bahan Reaktan

Metanol (CH_3OH) dipilih sebagai alkohol reaktan karena reaktivitasnya yang tinggi dengan trigliserida (rasio molar metanol:minyak = 6:1), volatilitas untuk pemisahan mudah, dan biaya rendah. Kualitas teknis (*purity* >99.5%) sesuai spesifikasi *Sigma-Aldrich* dan *Petronas Chemicals*.

Rumus molekul	: CH_3OH
Fasa	: Cair
Warna	: Tidak berwarna
Berat molekul, g/gmol	: 32.037 g/gmol
Densitas	: 791 g/cm^3
Viskositas	: 0,55 cp pada 20˚C
Titik didih, 1 atm, ºC	: 64.7ºC
Tekanan	: 1 atm
Tekanan uap (pada 20 ºC)	: 12.8 MSDS
Kelarutan	: Larut dalam air
Heating Value	: 22,9 MJ.kg-1
Titik Nyala	: 11˚C sampai 12˚C
Suhu (T)	: 30˚C

1.6.3 Natrium Hidroksida (NaOH) Katalis

Katalis basa homogen dipilih untuk transesterifikasi (konversi >98% dalam 60 menit pada 60°C). NaOH lebih disukai karena biaya rendah (Rp 15.000/kg) dan efisiensi tinggi pada minyak dengan FFA rendah.

Rumus molekul	: NaOH
Fasa	: Cair
Warna	: Tidak berwarna
Berat molekul, g/gmol	: 36,46 g/gmol
Densitas	: 1 – 1,2 g/cm3
Viskositas	: -
Titik didih, 1 atm, ^{o}C	: 1390 ^{o}C
Tekanan	: 1 atm
Tekanan uap (pada 20 ^{o}C)	: 1 mmHg pada 739 ^{o}C
Kelarutan	: Larut dalam air
Heating Value	: 4.184 J.g -1
Titik Nyala	: Non Flameable
Titik Beku	: -74˚C
Suhu (T)	: 30˚C

1.6.4 Bahan Pendukung

1. Asam Fosfat (H_3PO_4): Untuk netralisasi FFA (0.1-0.5 wt%), membentuk gum yang larut dalam air.
2. Asam Sulfat (H_2SO_4): Esterifikasi pra-transesterifikasi jika FFA >2% (0.5 wt%, 60°C, 1 jam).
3. Air Demineralisasi: Pencucian biodiesel (3 tahap, rasio air:biodiesel 1:1).
4. Silika Gel/*Activated Carbon*: Adsorben untuk pemutihan (0.5 wt%).
5. Antioksidan (TBHQ): 200 ppm untuk stabilitas oksidasi biodiesel.

1.7 Penentuan Kapasitas Pabrik dan Ekstrapolasi

Kapasitas produksi suatu pabrik akan mempengaruhi tingkat perhitungan teknik dan nilai keuntungan yang dihasilkan oleh pabrik. Pendirian pabrik dengan

kapasitas tertentu antara lain bertujuan untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri, membantu perkembangan industri lain yang menggunakan produk tersebut.

1.7.1 Produksi Biodisel di Indonesia

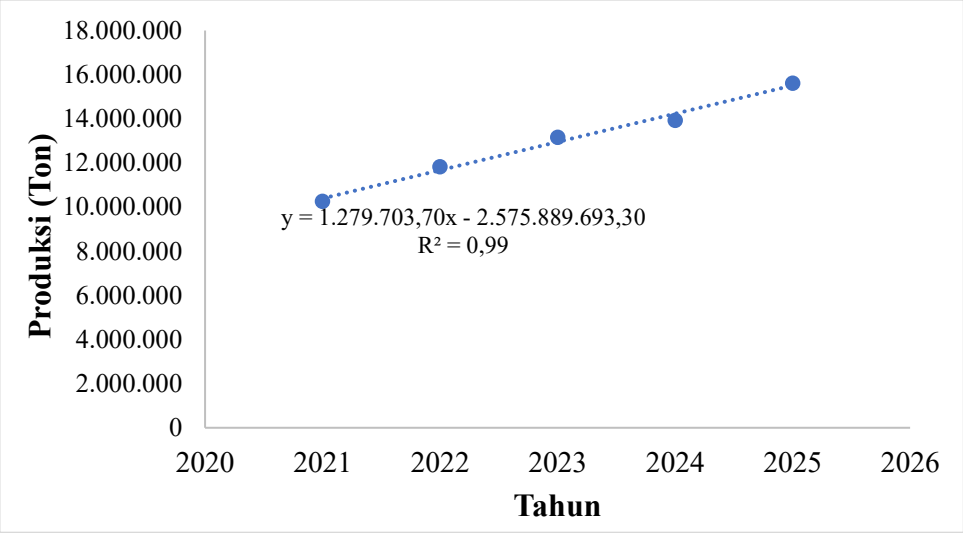
Berdasarkan data yang didapat dari Asosiasi Produsen Biofuel Indonesia (APROBI), berikut ini adalah data produksi biodiesel dari tahun 2021-2025 dapat dilihat pada Tabel 1.1.

Tabel 1.1 Data Produksi Biodisel di Indonesia

Tahun	Jumlah (Ton/Tahun)
2021	10.258.000
2022	11.816.000
2023	13.151.422
2024	13.929.037
2025	15.600.000

(**Sumber**: Aprobi, 2026).

Berdasarkan Tabel 1.1 maka dapat dibuat suatu persamaan linier agar dapat memperkirakan kebutuhan biodiesel pada tahun 2030 seperti pada Gambar 1.1.



Gambar 1.1 Grafik Produksi Biodisel di Indonesia

Berdasarkan Gambar 1.1 perkembangan produksi biodiesel terus mengalami kenaikan dari tahun 2021 sebesar 6.168.000 ton hingga tahun 2025 sebesar

15.600.000 ton. Dari grafik dengan metode regresi linear, maka didapat persamaan y = 1.279.069,82x - 2.574.655.329,25

Keterangan : x = Tahun

y = Kebutuhan Produksi Biodisel

Pabrik biodiesel ini direncanakan beroperasi pada tahun 2030, sehingga untuk mencari kebutuhan volume produksi biodiesel pada tahun 2030, maka:

x = 2030

y = 1.279.069,82x - 2.574.655.329,25

y = 1.279.069,82 (2030) - 2.574.655.329,25

y = 21.908.817,70 ton

Sehingga diperkirakan kebutuhan produksi biodiesel pada tahun 2030 adalah sebesar 21.908.817,70 ton/tahun.

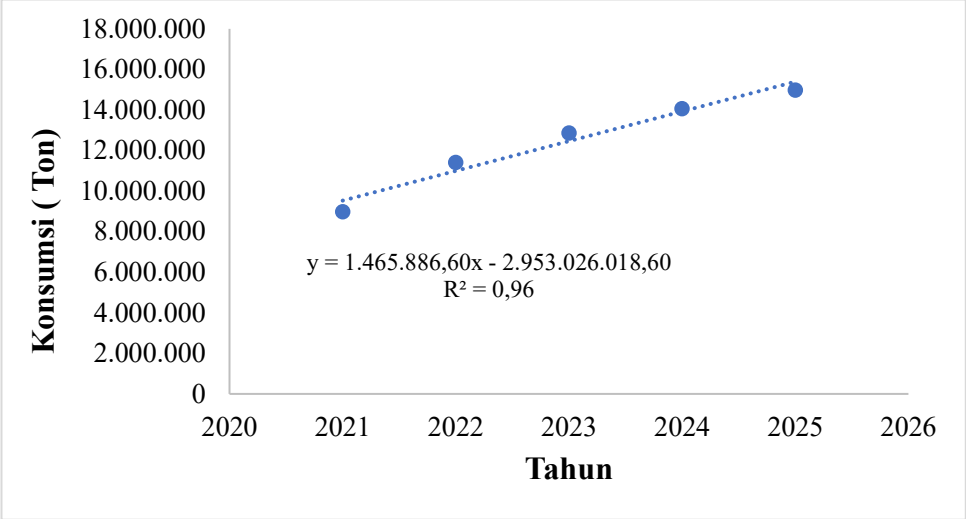
1.7.2 Konsumsi Biodisel di Indonesia

Berdasarkan data yang didapat dari Asosiasi Produsen Biofuel Indonesia (APROBI), berikut ini adalah data konsumsi biodiesel dari tahun 2021-2025 dapat dilihat pada Tabel 1.2

Tabel 1.2 Data Konsumsi Biodiesel di Indonesia

Tahun	Jumlah (Ton/Tahun)
2021	8.980.000
2022	11.815.000
2023	13.150.000
2024	14.071.866
2025	14.981.000

Konsumsi biodiesel di Indonesia menurut data APROBI pada tahun 2021-2025 dapat dilihat pada Gambar 1.2



Gambar 1.2 Grafik Konsumsi Biodiesel di Indonesia

Berdasarkan Gambar 1.2 perkembangan konsumsi biodiesel terus mengalami kenaikan dari tahun 2021 sebesar 8.980.000 ton hingga tahun 2025 sebesar 14.981.000 ton. Dari grafik dengan metode regresi linear, maka didapat persamaan y = 1.465.886,60x - 2.953.026.018,60

Keterangan : x = Tahun

y = Kebutuhan produksi biodisel

Pabrik biodiesel ini direncakan beroperasi pada tahun 2030, sehingga untuk mencari kebutuhan volume konsumsi biodiesel pada tahun 2030, maka:

x = 2030

y = 1.465.886,60x - 2.953.026.018,60

y = 1.465.886,60 (2030) - 2.953.026.018,60

y = 22.723.779,4 ton

Sehingga diperkirakan Kebutuhan Produksi biodiesel pada tahun 2030 adalah sebesar 22.723.779,4 ton/tahun.

Penentuan kapasitas dapat ditentukan dengan pertimbangan data perkiraan konsumsi biodiesel di Indonesia pada tahun 2030 sebesar 22.723.779,4 ton dan perkiraan produksi biodiesel di Indonesia pada tahun 2030 sebesar 22.723.779,4 ton. Maka untuk itu penentuan kapasitas perancangan pabrik biodiesel pada tahun 2030 adalah sebagai berikut:

Kapasitas Perancangan = Konsumsi - Produksi

= 22.723.779,4 ton – 21.908.817,70 ton

= 814.961,7 Ton

Maka dalam hal ini perancangan pabrik biodiesel dari minyak jarak pagar dan metanol menggunakan proses transesterifikasi adalah 15% dari total kebutuhan biodiesel dalam negeri yaitu sebesar 80.000 ton/tahun. Pada Tabel 1.3 dan 1.4 ditunjukkan pabrik biodiesel yang telah berdiri di dunia dan di Indonesia.

Tabel 1.3 Data Pabrik Penghasil Biodiesel di Dunia

Produsen	Lokasi	Kapasitas (Ton/Tahun)
Brazil Ecodiesel	CE, Brazil	723.900
Owensbro Grain Biodiesel	USA	170.000
Granol	Brazil	616.600
Biocapital	Brazil	274.100
Future Fuel Chemical	USA	223.000
General Biodiesel	USA	38.000

(**Sumber**: Biodiesel Magazine dan ANP, 2009).

Tabel 1.4 Data Pabrik Biodisel di Indonesia

Pabrik	Produksi/tahun
PT. Wilmar Bio Energi Indonesia	1.980.000
PT. Pelita Agung Agriindustri	500.000
PT Bayas Biofuels	758.621
PT Musim Mas (Batam)	788.966
PT Multi Nabati Sulawesi	418.759
PT Energi Unggul Persada	834.483
PT Kutai Refinery Nusantara	1.006.057
PT Sukajadi Sawit Mekar	354.023
PT Batara Elok Semesta Terpadu	686.804
PT Sari Dumai Sejati	606.896
PT Sintong Abadi	30.800

PT Musim Mas (Medan)	404.598
PT Permata Hijau Palm Oleo	367.148
PT Sari Dumai Oleo	364.138
PT Intibenua Perkasatama	389.426
PT Ciliandra Perkasa	252.874
PT Pelita Agung Agrindustri	702.989
PT Jhonlin Agro Raya	500.690
PT SMART Tbk	387.655
PT Bali Hijau Biodiesel	317
PT Eco Prima Energi	509.793
PT Eterindo Nusa Graha	500.690
PT Energi Baharu Lestari	202.299
PT Anugerahint Gemarusa	141.610
PT Darmex Biofuel	252.874
PT Sumisih	101.150
PT Sinar Mas Bio Energy	400.752
PT Multimas Nabati Asahan	500.690
PT Alpha Global Synergy	10.560
PT Tunas Baru Lampung	354.023
PT LDC Indonesia	424.828
PT Wilmar Bioenergi Indonesia	1.411.034

(**Sumber**: APROBI, 2025)

1.8 Pemilihan Proses dan Analisa Ekonomi Awal

Adapun macam-macam proses pembuatan metil adalah sebagai berikut :

1. Esterifikasi
2. Transesterifikasi

1.8.1 Esterifikasi

Proses esterifikasi mengubah asam lemak bebas yang ada dalam trigliserida menjadi *methyl ester*. Akan tetapi, hasilnya adalah campuran *methyl ester* dan trigliserida (Arita, 2008).

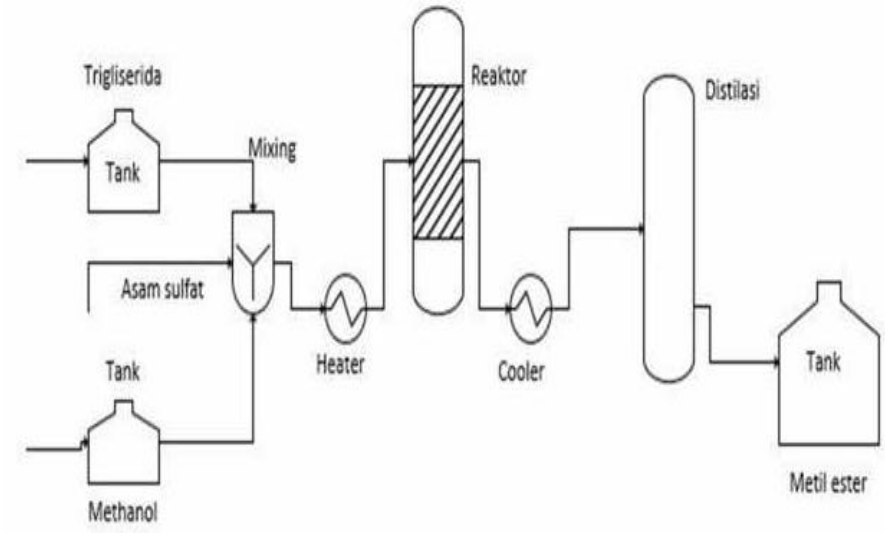
Reaksi esterifikasi berkatalis asam berjalan lebih lambat, namun metode ini lebih sesuai untuk minyak atau lemak yang memiliki kandungan asam lemak bebas relatif tinggi. Karena, dari bentuk reaksi di atas, FFA yang terkandung di dalam trigliserida akan bereaksi dengan *methanol* membentuk methyl ester dan air. Jadi, semakin berkurang FFA, metanol akan berekasi dengan trigliserida membentuk *methyl ester* (Arita, 2008).

Reaksi yang terjadi :

RCOOH + CH3OH ↔ RCOOH3 + H2O

Asam lemak Metanol *Methyl ester* Air

Laju esterifikaasi *methyl ester* tergantung pada halangan sterik dalam alkohol dan asam karboksilat. Kekuatan asam dari *methyl ester* hanya mempunyai pengaruh yang kecil dalam laju pembentukan ester.



Gambar 1.3 Block Diagram Proses Esterifikasi

Esterifikasi biasa dilakukan untuk membuat biodiesel dari minyak berkadar asam lemak bebas tinggi (berangka-asam ≥ 5 mg-KOH/g). Pada tahap ini, asam lemak bebas akan dikonversikan menjadi *methyl ester* .

Perhitungan ekonomi awal

$C_3H_5(COOR)_5 + 3CH_3OH \rightarrow NaOH \rightarrow 3CH_3COOR + H_2O$

Tabel 1.5 Perhitungan Ekonomi Awal Esterifikasi

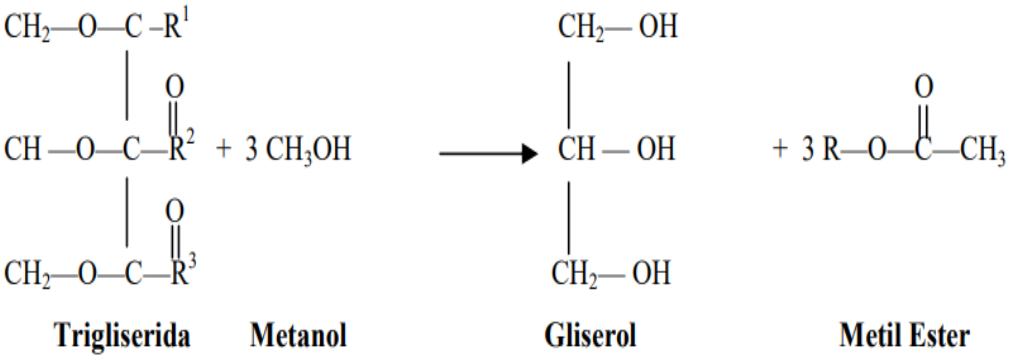
	Bahan Baku		**Katalis**	**Produk**	
	Minyak Jarak	Metanol	Asam Sulfat	Biodiesel	Air
Berat Molekul	885,45 gr/mol	32,04 gr/mol	98,08 gr/mol	284,91 gr/mol	18,01528 gr/mol
Harga Per Kg	Rp. 16.000	Rp. 10.000	Rp. 2.000	Rp.14.000,00	Rp. 0
Kebutuhan	1 mol × 885,45gr/mol =885,45gr =0,8854 kg	3 mol × 32,04gr/mol = 96,12 gr = 0,0961 kg	1 mol × 98,08gr/mol = 98,08 gr = 0,0980 kg	3 mol × 284,91gr/mol = 854,7 gr = 0,8547 kg	1 mol × 18,01 gr/mol = 18,0152 gr = 0,0180 kg
Harga Total	0,8854 kg ×Rp.16.000 =Rp.14.166,4	0,0961 kg ×Rp.10.000 = Rp. 961	0,0980 kg × Rp. 2.000 = Rp. 196	0,8547 kg ×Rp.14.000 =Rp.11.965	Rp. 0,0180
	Harga Produk – (Harga Bahan Baku + Harga Katalis) = Rp. 11.965 – (Rp. 15.127,4 + Rp. 196) = -Rp. -3.358,4				

1.8.2 Transesterifikasi

Transesterifikasi, yang sering dikenal sebagai alkoholisis, merupakan proses mengubah trigliserida (yang berasal dari minyak nabati) menjadi alkil ester, dengan melibatkan reaksi bersama alkohol, dan menghasilkan gliserol sebagai produk sampingan.

Diketahui bahwa suhu transesterifikasi (T) 60^0C merupakan hasil yang terbaik dengan yield 89,47% dengan kondisi operasi lainnya yang optimum adalah 2% untuk konsentrasi katalis dan 20% untuk %berat metanol (Bethan & Supriyo, 2021).

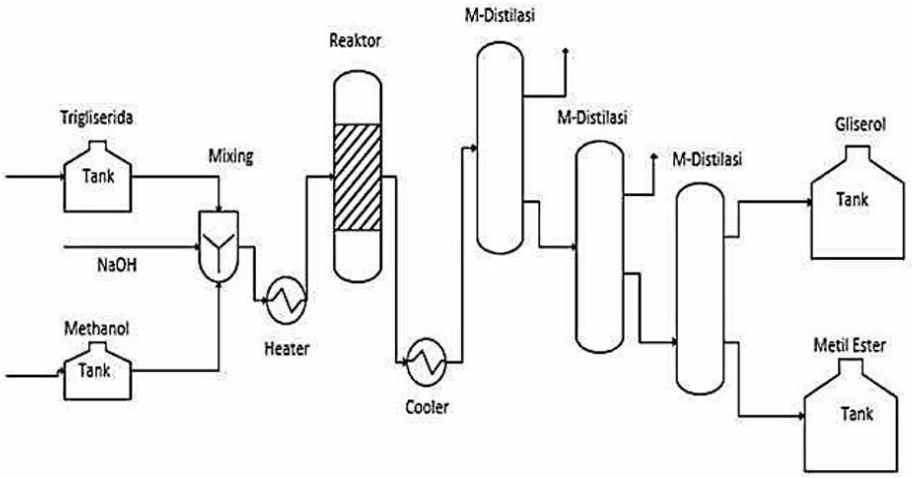
Reaksi yang terjadi :



Gambar 1.4 Reaksi Proses Transesterifikasi

Tanpa adanya katalis, konversi yang dihasilkan maksimum namun reaksi berjalan dengan lambat. Proses transesterifikasi menggunakan katalis basa merupakan cara paling popular, karena mampu menghasilkan *methyl ester* dengan konversi dan *yield* yang tinggi dalam waktu yang relatif pendek (30-60 menit).

Untuk reaksi transesterifikasi berkatalis basa, trigliserida dan metanol yang digunakan sebisa mungkin anhidrat atau mendekati, karena air menyebabkan terjadinya reaksi saponifikasi yang menghasilkan sabun. Sabun yang terbentuk dapat menurunkan perolehan ester dan menyulitkan pemisahan *methyl ester* dan gliserol.



Gambar 1.5 Block Diagram Proses Transesterifikasi

Proses metanolisis bertujuan untuk mendapatkan rendemen *methyl ester* yang setinggi-tingginya. Suhu metanolisis ditentukan sebesar 60°C, karena suhu tersebut mendekati titik didih metanol yaitu berkisar 60-70°C, karena reaksi metanolisis akan berlangsung lebih cepat apabila dilakukan mendekati titik didih metanol. Proses metanolisis trigliserida dengan katalis basa akan menghasilkan produk akhir yaitu *methyl ester* asam lemak dan gliserol serta produk antara monogliserida dan digliserida. Pada proses alkoholisis, rendemen yang dihasilkan tidak akan pernah mencapai 100% (Makalalag, 2018).

Perhitungan ekonomi awal

$C_3H_5(COOR)_5 + 3CH_3OH \rightarrow NaOH \rightarrow 3CH_3COOR + C_3H_5(OH)_3$

Tabel 1.6 Perhitungan Ekonomi Awal Transesterifikasi

	Bahan Baku		**Katalis**	**Produk**	
	Minyak Jarak	Metanol	NaOH	Biodiesel	Gliserol
Berat Molekul	885,45 gr/mol	32,04 gr/mol	40 gr/mol	284,91 gr/mol	92,09 gr/mol
Harga Per Kg	Rp. 16.000	Rp.10.000	Rp.23.000	Rp.14.000,00	Rp.254.000
Kebutuhan	1mol×885,45 gr/mol = 885,45 gr =0,8854 kg	3 mol × 32,04gr/mol = 96,12 gr = 0,0961 kg	1mol × 40 gr/mol = 40 gr = 0,04 kg	3 mol × 284,91gr/mol = 854,7 gr = 0,8547 kg	1mol× 92,09gr/mol = 92,09 gr =0,09209kg
Harga Total	0,8854 kg × Rp. 16.000 =Rp.14.166,4	0,0961 kg × Rp.10.000 =Rp.961	0,04 kg × Rp.23.000 = Rp. 920	0,8547 kg × Rp. 14.000 = Rp. 11.965	0,09209 kg × Rp.254.000 =Rp.23.390,8
	Harga Produk – (Harga Bahan Baku + Harga Katalis) = Rp. 35.355,86 – (Rp. 15.127,4 + Rp. 920) = Rp. 19.308,46				

1.8.3 Perbandingan Proses

Dari kedua proses pembuatan *methyl ester* dari minyak nabati diatas, yang lebih sering digunakan adalah proses esterifikasi atau transesterifikasi. Karena hasil *methyl ester* dari proses ini sudah memiliki karakteristik yang sama dengan minyak diesel. Untuk mengetahui proses yang lebih menguntungkan, maka perlu digunakan variabel pembanding. Proses yang memiliki variabel pembanding yang lebih baik dan menguntungkan adalah proses yang akan dipillih. Berikut perbandingan reaksi dapat dilihat pada Tabel 1.7.

Tabel 1.7 Perbandingan Proses Esterifikasi dan Transesterifikasi

Variabel Pembanding	**Proses Pembuatan *Methyl Ester***		**Proses yang Lebih Menguntungkan**	
	Esterifikasi	**Transesterifikasi**	**Esterifikasi**	**Transesterifikasi**
Katalis	Asam kuat	Basa kuat	×	√
Kemurnian	Rendah	Tinggi	×	√
Produk samping	Air	Air dan gliserol	×	√
Waktu reaksi	Lama (2 jam lebih)	Relatif pendek (30 - 60 menit)	×	√
Suhu dan tekanan	60°C, 1 atm	60°C, 1 atm	√	√
Konversi dan yield	Rendah	Tinggi	×	√

Dari Tabel 1.7 di atas dapat diketahui bahwa poses yang lebih baik dan menguntungkan untuk dipergunakan dalam pembuatan *methyl ester* adalah proses transesterifikasi. Sehingga, proses pembuatan *methyl ester* dalam prarancangan pabrik *methyl ester* ini dipilih proses transesterifikasi, yaitu mereaksikan trigliserida (minyak jarak) dengan metanol agar menghasilkan produk utama *methyl ester* dan produk samping gliserol, reaksi ini dibantu dengan dengan katalis NaOH. Proses ini dipilih karena lebih praktis dan dapat menghasilkan produk samping gliserol, yang dapat memiliki nilai ekonomi tinggi, serta penggunaan katalis basa yang tidak bersifat terlalu korosif pada peralatan.

1.9 Sifat Reaksi Kimia

1.9.1 Tinjauan Termodinamika

Tinjauan termodinamika yaitu suatu tinjauan untuk mengetahui sifat reaksi, apakah sebuah reaksi tersebut eksotermis atau endotermis, dan untuk mengetahui apakah reaksi tersebut reversible atau irreversible. Tinjauan termodinamika dapat diketahui dengan melihat harga entalpi selama reaksi. Reaksi sebagai berikut:

$$C_{16}H_{32}O_2 + CH_3OH \rightarrow C_{17}H_{34}O_2 + H_2O$$

$$C_{18}H_{34}O_2 + CH_3OH \rightarrow C_{19}H_{36}O_2 + H_2O$$

$$C_{18}H_{32}O_2 + CH_3OH \rightarrow C_{19}H_{34}O_2 + H_2O$$

$$C_{19}H_{32}O_2 + CH_3OH \rightarrow C_{19}H_{32}O_2 + H_2O$$

Perhitungan ΔH^0_f

Perhitungan estimasi $\Delta H_{f\,(298)}$ (kJ/mol.K) dengan menggunakan Metode Joback Tabel D4. Kontribusi Gugus untuk Metode Joback (J/mol.K)

Tabel 1.8 Harga Masing-Masing Gugus

Gugus	Harga (kJ/mol.K)
-CH=	37,97
>CH-	29,89
-CH2-	-20,64
-CH3	-76,45
-OH	-208,04
-COO-	-337,92
-COOH	-426,72

Sumber: Reid,1987

Rumus: $\Delta H^0_{f(298,15)}\,0=68,29+\sum ni \,.\, \Delta i$

a. Asam Palmitat ($C_{16}H_{32}O_2$)

$\Delta H^0_{f(298,15)}$ = 68,29+[14(-CH_2-)+1(-CH_3-)+1(-COOH)]

= 68,29+[14(-20,64)+1(-76,45)+1(-426,72)

= -723,8400 kJ/mol.K

b. Metil Palmitat ($C_{17}H_{34}O_2$)

$\Delta H^0_{f(298,15)}$ = 68,29+[14(-CH_2-)+2(-CH_3)+1(-COO-)]

= 68,29+[14(-20,64)+2(-76,45)+1(-337,92)]

= -711,4900 kJ/mol.K

Tabel 1.9 Harga Entalpi Masing-Masing Komponen Pada Suhu 298,15K

Komponen	**Harga ΔHf (kj/kmol)**
Asam Palmitat	-723.84
Asam Oleat	-647.9
Asam Linoleat	-682.56
Asam linolenic	-765.12
Methyl Palmitat	-711.49
Methyl Oleat	-635.55
Methyl Linoleat	-670.21
Methyl Linolenic	-752.770
H_2SO_4	-814
NaOH	-426.601

Tabel 1.10 Harga Entalpi Masing-Masing Komponen Pada Suhu 298,15K

Metanol	-201.166
H_2O	-285.84

Harga ΔHf bernilai negatif yang berarti reaksi eksotermis (reaksi membutuhkan dingin). Dari data termodinamika yang tersedia pada Tabel 1.8 juga menandakan bahwa reaksi berjalan secara irreversible yang berarti reaksi berjalan dalam satu arah. Reaksi asam lemak menjadi metil ester tidak dapat dikembalikan menjadi asam lemak asli karena reaksi esterifikasi yang terjadi adalah reaksi irreversible. Hal ini dikarenakan adanya perubahan kimia yang terjadi pada molekul-molekul yang terlibat dalam reaksi, membuatnya tidak dapat dipulihkan menjadi bentuk aslinya. Proses esterifikasi mengubah asam lemak bebas menjadi alkil ester, yang kemudian dapat digunakan sebagai biodiesel. Karena reaksi ini irreversible, maka biodiesel yang telah dibuat tidak dapat dikembalikan menjadi asam lemak asli.

1.9.2 Tinjauan Kinetika

Selanjutnya, dicari nilai kinetika reaksi (k) dengan persamaan *Arrhenius*.

$k = Ae^{-Ea/RT}$

$\ln k = \ln Ae^{-Ea/RT}$

$\ln k = \ln A - \frac{Ea}{RT}$

$\ln k = \ln A - (\frac{Ea}{R})(\frac{1}{T}) \gg y = a + bx$

Keterangan :

A : Faktor *Arrhenius*

Ea : Energi Aktivasi

T : Temperature (K)

$K = Ae - \frac{Ea}{RT}$

$= 22.8 \times 105\ e^{-\frac{47.726 \times 103}{8.314 \times 333}}$

$= 22.8 \times 105\ e^{-17.201}$

$= 22.8 \times 10^5 \times 3.03 \times 10^{-8}$

$= 0.0778$

K adalah konstanta laju reaksi (0.0778 min-1 = 1.296 x $10^{-3}s^{-1}$)

A adalah faktor frekuensi (22.8 x 10^5)

Ea adalah energi aktivasi (47.726 kJ/mol)

R adalah konstanta gas (8.314 J/mol.K)

T adalah suhu kelvin (333 K)

1.10 Uraian Proses

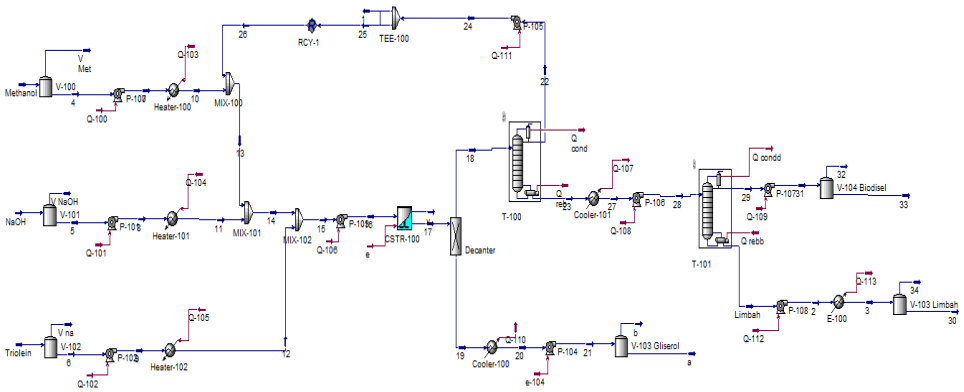
Reaksi pembentukan *methyl ester* dari minyak jarak dan *methanol* dengan menggunakan katalis natrium hidroksida menggunakan proses transesterifikasi.

Reaksi yang terjadi sebagai berikut:

$$C_{57}H_{104}O_6 + 3CH_3OH \rightarrow NaoH \rightarrow 3C_{19}H_{36}O_2 + C_3H_8O_3$$

Trigliserida Metanol ⇄ *Methyl ester* Gliserol

Pada dasarnya transesterifikasi adalah tahap mengkonversi minyak nabati (*trigliserida*) menjadi *methyl ester* atau biodiesel, yang terjadi melalui reaksi alkohol dan akan menghasilkan produk samping yaitu gliserol. Reaksi transesterifikasi merupakan reaksi bolak – balik (*reversible*). Pembuatan biodiesel dengan proses transeterifikasi yaitu menggunakan katalis basa (NaOH) dengan minyak jarak (*Jatropha curcas*) dan methanol (CH_3OH) sebagai bahan baku utama. Proses berlangsung secara kontinyu pada temperatur 60ºC pada tekanan 1 atm.



Gambar 1.6 Diagram Alir Proses

1.10.1 Tahap Persiapan Bahan Baku

Natrium hidroksida cair (NaOH) dari tangki penyimpanan bahan baku dan metanol (CH_3OH) dari tangki penyimpanan yang disimpan pada suhu 30°C dan tekanan 1 atm dialirkan dengan pompa menuju *mixer.* Setelah campuran metanol (CH_3OH) dan natrium hidroksida (NaOH) homogen dipanaskan terlebih dahulu menggunakan *heater* hingga suhu 60°C lalu dialirkan menuju reaktor. CPO yang disimpan pada temperatur 30°C dan tekanan didalam tangki penyimpanan dipompa juga menuju reaktor yang sebelumnya juga telah dipanaskan dengan *heater* sampai suhu 60°C.

1.10.2 Tahap Pembentukan

Campuran minyak jarak dengan metanol dan NaOH direaksikan pada suhu 60°C dan tekanan 1 atm didalam reaktor alir tangki berpengaduk (CSTR) dengan kondisi *isothermal* serta sifat reaksi eksotermis *reversible* dimana suhu reaksi arus

dipertahankan untuk menghindari terjadinya reaksi samping. Produk dari reaksi adalah biodiesel (*methyl ester*) keluar dari reaktor pada suhu 60°C, tekanan 1 atm. Adapun reaksi yang terjadi didalam reaktor adalah :

$C_{57}H_{104}O_6 + 3CH_3OH \rightarrow NaoH \rightarrow 3C_{19}H_{36}O_2 + C_3H_8O_3$ ..... (2.1)

Trigliserida Metanol ⇄ *Methyl ester* Gliserol

1.10.3 Tahap Pemurnian

Produk dari reaksi adalah biodiesel (*methyl ester*) keluar dari reaktor pada suhu 60°C, tekanan 1 atm. Produk yang keluar dari reaktor dialirkan menuju *dekanter* dengan menggunakan pompa. Dekanter berfungsi untuk memisahkan metanol, trigliserida, *methyl ester* (biodiesel) dan gliserol sebagai produk samping. Penggunaan decanter dikarenakan perbedaan densitas dan kelarutan dari campuran minyak.

Perbedaan densitas dan kelarutan dari kedua campuran menyebabkan terjadinya dua lapisan di dalam *decanter.* Lapisan bawah (*heavy stream*) merupakan campuran yang memiliki densitas lebih berat berupa gliserol dan campuran sedikit methanol kemudian disimpan di tangki penyimpanan. Terpisah melalui bagian bawah *dekanter* sebagai fase berat atau *heavy stream* lalu di pompa masuk ke kolom distilasi. *Light stream* atau fase ringan dari *decanter* keluar melalui bagian atas *decanter* berupa *methyl ester* , *methanol*, trigliserida dan NaOH dialirkan menuju destilasi pertama untuk dipisahkan antara biodiesel dan *methanol* dengan trigleserida dan NaOH. Keluaran bawah dari ditilasi pertama berupa trigleserida dan NaOH yang di alirkan menuju distilasi kedua agar dapat dilakukan *recycle* ke bahan baku utama sedangkan keluaran atas distilasi pertama berupa methyl ester dan methanol di alirkan menuju distilasi ketiga agar didapat *methyl ester* yang murni dan dialirkan menuju tanki penyimpanan.

1.11 Pemilihan Lokasi Pabrik

Lokasi yang dipilih untuk pendirian pabrik *methyl ester* ini adalah Gedangan, Sidoarjo, Prov. Jawa Timur. Beberapa hal yang mendorong dipilihnya lokasi tersebut adalah sebagai berikut:



Gambar 1.7 Lokasi Pabrik

1.11.1 Faktor Utama

Faktor utama meliputi faktor yang sangat berpengaruh dalam pemilihan lokasi atau tempat pemilihan pabrik. Adapun faktor-faktor yang perlu diperhatikan adalah:

1. Bahan baku

Lokasi berdirinya pabrik berdekatan dengan lahan perkebunan pohon jarak pagar. Ini memudahkan pengadaan butana sebagai bahan baku utama pembuatan *methyl ester*. Pada berikut ini adalah Tabel produksi jarrah pagar per provinsi di Indonesia.

2. Transportasi

Di daerah tersebut terdapat pelabuhan yang dapat digunakan sebagai tempat pengiriman barang hasil produksi.

3. Daerah pemasaran

Dengan pesatnya pembangunan industri di tempat tersebut maka pasar untuk penjualan produk cukup baik ditambah dekatnya lokasi pabrik ke perkotaan memudahkan dalam pendistribusian produk.

4. Fasilitas utilitas

Wilayah ini cukup dekat dengan sungai maupun laut dan mempunyai sumber air yang cukup baik. Juga adanya sumber bahan bakar dan energi yang mencukupi bagi unit utilitas pabrik.

5. Karakteristik lokasi

Daerah itu aman dari banjir dan juga mempunyai struktur tanah yang cukup kuat bagi pondasi pabrik.

6. Kebijakan pemerintah

Pemberlakuan otonomi daerah memberi iklim yang cukup kondusif bagi investor untuk menanamkan modalnya bagi peningkatan pemasukan bagi daerah tersebut.

1.11.2 Faktor Pendukung

Adapun faktor pendukung yang perlu diperhatikan dalam pembangunan pabrik ini adalah sebagai berikut:

1. Perizinan dan Kebijaksanaan Pemerintah

Pendirian pabrik di lokasi kawasan industri strategis memudahkan proses perizinan pandirian pabrik

2. Perluasan Pabrik

Pemilihan lokasi pabrik yang berada di kawasan industri strategis memungkinkan adanya perluasan area pabrik yang tidak mengganggu pemukiman penduduk sekitar.

3. Kondisi iklim

Kondisi alam (iklim) dari suatu area yang akan dibangun pabrik haruslah mendukung, dalam arti kondisinya tidak terlalu mengganggu jalannya operasi pabrik.

4. Pembuangan Limbah

Penanganan masalah limbah akan diproses terlebih dahulu sebelum dibuang ke lingkungan.

5. Korosifitas

Lokasi kawasan bontang tidak berada tepat tepat di tepi laut sehingga korosifitas yang utamanya disebabkan oleh air laut tidak begitu berpengaruh.