

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam beberapa tahun terakhir kebutuhan energi dunia terus mengalami peningkatan seiring dengan pertumbuhan populasi global dan pesatnya perkembangan sektor industri serta transportasi. Ketergantungan Indonesia terhadap bahan bakar fosil masih menjadi persoalan serius yang berdampak langsung pada ketahanan energi nasional. Tingginya konsumsi bahan bakar minyak yang tidak diimbangi dengan kapasitas produksi domestik menyebabkan negara harus mengalokasikan devisa dalam jumlah besar untuk memenuhi kebutuhan impor solar. Kondisi ini mendorong pemerintah untuk mencari solusi energi alternatif yang berkelanjutan, salah satunya melalui pengembangan biodiesel berbasis minyak kelapa sawit. Permintaan bahan bakar minyak yang terus meningkat dan penurunan produksi minyak mentah di dalam negeri menjadi salah satu alasan utama mengapa Indonesia mulai serius mengembangkan bahan bakar nabati sebagai substitusi energi fosil (*Institute for Essential Services Reform, 2023*).

Biodiesel merupakan bahan bakar nabati yang diperoleh melalui reaksi transesterifikasi atau esterifikasi dari minyak nabati maupun lemak hewani dengan alkohol rantai pendek seperti metanol, menggunakan bantuan katalis. Biodiesel memiliki sifat fisikokimia yang sangat mirip dengan solar berbasis minyak bumi sehingga dapat digunakan langsung pada mesin diesel tanpa memerlukan modifikasi. Dibandingkan bahan bakar fosil, biodiesel menawarkan sejumlah keunggulan, antara lain bersifat terbarukan (*renewable*), dapat terurai secara biologis (*biodegradable*), tidak beracun (*non-toxic*), dan bebas sulfur. Sifat-sifat tersebut menjadikan biodiesel sebagai alternatif bahan bakar yang ramah lingkungan dan berprospek cerah untuk dikembangkan secara komersial (Da Conceicao dkk., 2016).

Sebagai negara penghasil minyak sawit terbesar di dunia, Indonesia memiliki keunggulan komparatif yang sangat strategis dalam pengembangan industri biodiesel. Indonesia telah menjadi negara produsen sawit terbesar di dunia

dengan total produksi lebih dari 56 juta ton dan ekspor mencapai 26,33 juta ton, serta mencatatkan nilai ekspor kelapa sawit dan turunannya pada tahun 2023 sebesar US\$ 28,45 miliar atau 11,6 persen terhadap total ekspor nonmigas. Ketersediaan bahan baku yang melimpah ini memberikan fondasi yang kuat bagi pengembangan industri biodiesel nasional secara masif dan berkelanjutan (GAPKI, 2024).

Pemerintah Indonesia telah menjalankan kebijakan mandatori biodiesel secara konsisten dan progresif sejak tahun 2008. Kebijakan mandatori biodiesel semula hanya diwajibkan pada sektor PSO (Public Service Obligation), namun sejak tahun 2018 diperluas ke sektor non-PSO, dengan peningkatan blending rate dari B20 menjadi B30 pada tahun 2020 dan kemudian ditingkatkan menjadi B35 sejak tahun 2023. Tingginya kebutuhan biodiesel untuk mendukung program mandatori yang terus meningkat ini membuka peluang investasi yang besar bagi pendirian pabrik biodiesel baru. Target penyaluran biodiesel pada program mandatori B35 ditetapkan sebesar 13,15 juta kiloliter dan sekitar 15 juta kiloliter untuk mandatori B40, di mana volume minyak sawit yang diserap oleh industri biodiesel diperkirakan mencapai 14,8 juta ton CPO pada mandatori B35 dan 16,9 juta ton CPO pada mandatori B40. Besarnya volume kebutuhan ini mengindikasikan bahwa kapasitas produksi biodiesel nasional masih perlu terus ditingkatkan agar target program mandatori dapat terpenuhi secara optimal (PASPI, 2023).

Indonesia memiliki ketersediaan bahan baku yang sangat melimpah untuk produksi biodiesel. Salah satu produk samping dari proses pemurnian minyak sawit adalah *Palm Fatty Acid Distillate* (PFAD). PFAD mengandung asam lemak bebas *Free Fatty Acid* (FFA) dengan kadar tinggi, sehingga kurang optimal digunakan sebagai bahan pangan, namun sangat potensial sebagai bahan baku biodiesel. Secara karakteristik, PFAD merupakan zat padat semi-padat pada suhu ruang dan mencair menjadi cairan berwarna kecokelatan saat dipanaskan. Pemanfaatan PFAD sebagai bahan baku biodiesel memberikan keuntungan ekonomis karena harganya relatif lebih rendah dibandingkan *Crude Palm Oil* (CPO), serta mampu meningkatkan nilai tambah limbah industri sawit (Nurapriliansyah, 2022).

PFAD memiliki komposisi utama berupa asam lemak berupa asam lemak bebas 81,7%, gliserida 14,4%, skualen 0,8%, vitamin E 0,5%, sterol 0,4%, dan senyawa lainnya 2,2%. Komposisi asam lemak dominan dalam PFAD terdiri dari asam palmitat sekitar 41,25% dan asam oleat sekitar 41,58% sebagai asam lemak tak jenuh utama, bersama dengan asam stearat 7,29% dan asam linoleat 8,95%(Chang dkk., 2016).

Ditinjau dari sisi ketersediaan bahan baku, PFAD diproduksi dalam jumlah yang sangat besar dan terus meningkat seiring pertumbuhan industri CPO Indonesia. Estimasi produksi PFAD global pada tahun 2023 mencapai lebih dari 2,5 juta metrik ton, dengan Indonesia sebagai penghasil terbesar yakni sekitar 900.000 metrik ton, diikuti Malaysia sebanyak 600.000 metrik ton. Secara proporsional, PFAD dihasilkan sekitar 4% dari total produksi CPO yang diproses. Dengan produksi CPO Indonesia yang mencapai 50 juta ton per tahun, maka potensi produksi PFAD domestik diperkirakan mencapai sekitar 2 juta ton per tahun, angka yang sangat besar untuk dimanfaatkan sebagai bahan baku biodiesel. Meskipun demikian, ekspor PFAD Indonesia masih relatif tinggi akibat kurangnya insentif bagi kilang lokal untuk mengolah PFAD menjadi produk bernilai tambah tinggi. Permintaan PFAD dari pasar luar negeri, khususnya Eropa yang mengimpor lebih dari 400.000 metrik ton per tahun untuk tujuan pencampuran bahan bakar nabati, terus mendorong arus ekspor Kondisi ini menunjukkan bahwa diperlukan kebijakan dan investasi industri yang tepat untuk mendorong pengolahan PFAD di dalam negeri, salah satunya melalui pendirian pabrik biodiesel berbahan baku PFAD berskala besar (*Market Reports World*, 2026).

Berdasarkan uraian di atas, perancangan pra-rancangan pabrik biodiesel dari PFAD dengan kapasitas 350.000 ton/tahun dinilai sangat relevan dan memiliki kelayakan teknis maupun ekonomi yang menjanjikan. Kapasitas tersebut dirancang untuk memenuhi sebagian permintaan biodiesel dalam negeri sekaligus memanfaatkan melimpahnya pasokan PFAD dari industri pengolahan kelapa sawit nasional. Pabrik yang direncanakan ini diharapkan dapat menjadi pionir dalam pengembangan industri biodiesel berbasis PFAD berskala komersial di Indonesia,

mendukung program mandatori biodiesel pemerintah, serta berkontribusi pada pencapaian target energi terbarukan nasional.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, permasalahan utama yang menjadi fokus dalam pra-rancangan pabrik ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang proses produksi biodiesel dari PFAD dengan kapasitas 350.000 ton/tahun yang efisien secara teknis dan layak secara ekonomi?
2. Bagaimana menentukan kondisi operasi optimal (suhu, tekanan, rasio molar, dan jenis katalis) untuk menghasilkan biodiesel dengan kemurnian sesuai standar SNI maupun ASTM D6751?
3. Bagaimana desain peralatan proses, neraca massa, neraca energi, serta tata letak pabrik yang paling sesuai untuk kapasitas produksi yang ditetapkan?
4. Bagaimana kelayakan ekonomi pabrik biodiesel dari PFAD dengan kapasitas 350.000 ton/tahun?

1.3 Tujuan Prarancangan

Tujuan dari prarancangan pabrik biodiesel dari PFAD dengan kapasitas 350.000 ton/tahun sebagai berikut:

1. Merancang proses produksi biodiesel dari bahan baku PFAD yang secara teknis efisien dan secara ekonomi layak untuk diimplementasikan pada skala industri komersial.
2. Menentukan kondisi operasi optimal reaksi esterifikasi PFAD dengan metanol menggunakan katalis asam untuk menghasilkan *Fatty Acid Methyl Ester* (FAME) dengan konversi dan kemurnian tinggi.
3. Melakukan perancangan peralatan proses utama dan pembantu, termasuk reaktor, kolom pemisahan, tangki penyimpanan, serta utilitas pabrik.
4. Melakukan analisis kelayakan ekonomi pabrik, mencakup estimasi biaya investasi, biaya produksi, analisis titik impas (*Break Even Point*).

1.4 Manfaat Prarancangan Pabrik

Adapun manfaat prarancangan pabrik ini sebagai berikut :

1. Memacu pertumbuhan industri yang menggunakan biodiesel PFAD sebagai bahan bakar ramah lingkungan.
2. Terciptanya tenaga kerja di Indonesia.
3. Menghemat devisa karena biodiesel diperoleh dari industri lokal.
4. Dapat memenuhi kebutuhan biodiesel dalam negeri dan menurunkan ketergantungan impor solar.

1.5 Batasan Masalah

Prarancangan pabrik biodiesel ini, dibatasi dengan bahan baku utama yaitu PFAD menggunakan proses esterifikasi menggunakan katalis H_2SO_4 dengan metanol dan proses transesterifikasi menggunakan katalis NaOH dengan metanol. Adapun pembuatan *flowsheet* prarancangan pabrik ini dibatasi menggunakan *software Aspen HYSYS*.

1.6 Ketersediaan Bahan Baku

Pemilihan bahan baku merupakan salah satu tahap dalam prarancangan pabrik kimia, karena ketersediaan, kualitas, dan harga bahan baku secara langsung menentukan keekonomian, keberlanjutan, serta operasi pabrik dalam jangka panjang. Dalam konteks prarancangan pabrik biodiesel berkapasitas 350.000 ton/tahun, pemilihan bahan baku mencakup tiga komponen utama, yaitu: (1) bahan baku utama sumber asam lemak dan trigliserida (PFAD), (2) reaktan alkohol berupa metanol, dan (3) katalis yang mendukung jalannya reaksi esterifikasi maupun transesterifikasi.

Dalam memproduksi biodiesel yang kompetitif diperlukan bahan baku yang harganya murah dan pemakaiannya tidak bersaing dengan kebutuhan pokok manusia (Niawanti dkk., 2020). Pertimbangan inilah yang menjadi landasan utama mengapa PFAD dipilih sebagai bahan baku utama pabrik biodiesel pada kapasitas besar seperti 350.000 ton/tahun, mengingat PFAD merupakan produk samping

proses pemurnian minyak kelapa sawit yang ketersediaannya melimpah di Indonesia namun selama ini belum dioptimalkan pemanfaatannya secara maksimal.

1.6.1 *Palm Fatty Acid Distillate (PFAD)*

PFAD merupakan produk samping bernilai rendah yang dihasilkan dari proses deodorisasi pada tahapan *refinery* CPO menjadi minyak goreng sawit. Dalam proses pemurnian CPO, terdapat beberapa tahap utama yaitu *degumming*, *bleaching*, dan *deodorizing*. Pada tahap *deodorizing* inilah PFAD dihasilkan sebagai fraksi yang terpisah bersama uap panas pada tekanan vakum tinggi. Dalam setiap ton CPO yang dimurnikan, dihasilkan sekitar 4-6% PFAD sebagai produk sampingan.

Di Indonesia, jumlah PFAD yang dihasilkan diprediksi sekitar 1 juta ton setiap tahun, menjadikannya sumber bahan baku yang sangat melimpah dan berbiaya rendah untuk industri biodiesel skala besar. Lebih lanjut, produksi global tahunan PFAD diperkirakan mencapai sekitar 2,5 juta ton, dengan Malaysia (29%) dan Indonesia (58%) sebagai kontributor utama. Posisi Indonesia sebagai produsen PFAD terbesar di dunia menjadikan bahan baku ini sangat strategis untuk dimanfaatkan dalam negeri, terutama sebagai pabrik biodiesel skala industri (Okta Purnama dkk., 2021). Data sifat fisika-kimia PFAD dapat dilihat pada Tabel 1.1.

Tabel 1.1 Sifat Fisika dan Kimia dalam PFAD

No	Parameter	Nilai
1.	Kadar Asam Lemak Bebas (FFA)	84,625%
2.	Bilangan Iodin	52,625 g
3.	Trigleserida	10-15%
4.	Bilang Asam	160,325 mg KOH/g
5.	Titik Leleh	46,5 °C
6.	Densitas (60°C)	0,860 - 0,880 g/cm ³
7.	Warna	Kuning kecokelatan

Sumber: (Okta Purnama dkk., 2021).

Dibandingkan bahan baku biodiesel lainnya seperti CPO dan *Refined Bleached Deodorized Palm Oil* (RBDPO), PFAD unggul dalam beberapa aspek krusial. Pemakaian CPO sebagai bahan baku biodiesel alternatif sangat bersaing

karena CPO digunakan juga untuk pangan (Niawanti dkk., 2020). Dengan demikian, pemanfaatan PFAD tidak menimbulkan konflik kepentingan dengan kebutuhan pangan nasional (*food vs fuel*), yang sejalan dengan kebijakan ketahanan pangan pemerintah Indonesia. Perbandingan lengkap berbagai bahan baku biodiesel disajikan pada Tabel 1.2.

Tabel 1.2 Perbandingan Bahan Baku Utama Biodiesel

Aspek Perbandingan	PFAD	CPO	RBDPO
Kadar FFA (%)	80-90%	3-5%	<0,1
Harga Relatif	Sangat Murah	Sedang	Mahal
Ketersediaan di Indonesia	>1 juta ton/tahun	Sangat Besar	Terbatas
Kompetisi dengan Pangan	Tidak Ada	Ada	Ada
Nilai Tambah Produk	Sangat Tinggi	Sedang	Rendah
Tahap Proses	Ester- Transesterifikasi	Transesterifikasi	Transesterifikasi

Sumber: (Okta Purnama dkk., 2021).

Dalam produksi biodiesel diperlukan analisa ketersediaan bahan baku yang tepat. Dari beberapa data perusahaan produsen CPO yang juga akan menghasilkan PFAD sebagai produk samping dari penyulingan CPO, maka, dipilihlah produsen dengan mempertimbangkan jumlah dan luas lahan serta produksi yang paling besar. Selain itu, hal ini menjadi bahan pertimbangan dalam menentukan lokasi pendirian pabrik selanjutnya. Berikut merupakan data perusahaan produsen CPO dan hasil samping berupa PFAD yang akan dihasilkan di Indonesia yang dapat dilihat pada Tabel 1.3.

Tabel 1.3 Data Perusahaan Produsen CPO dan PFAD

No	Nama Perusahaan	Produksi CPO (Ton/Tahun)	Produksi PFAD (Ton/Tahun)	Lokasi
1	PT Agro Astar Lestari Tbk Area Borneo 3	213.698	8.547,9	Kalimantan Timur

2	PTPN V	600.000	26.000	Provinsi Riau
3	PTPN 13	1.300.000	59.000	Kalimantan Barat
4	PT Smart Tbk Padang Halaban Mill	88.123,30	3.524,932	Sumatera Utara
5.	PT Tapian Nadenggan Langga Payung Mill	29.273,66	1.170,9	Sumatera Utara
6.	PT Smart Tbk Tanah Laut Mill	19.303,10	772,1	Kalimantan Selatan
7.	PT Tapian Nadenggan Hanau Mill	81.125,58	3.245,02	Kalimantan Tengah
8.	PT Tapian Nadenggan Batu Ampar Mill	24.152,57	966,1	Kalimantan Selatan
9.	PT Sawit Sumbermas Sarana	572.000	28.880	Kalimantan Tengah
10.	PT Sampoerna Agro Tbk	385.000	19.400	Sumatera Selatan
11.	PT Tapian Nagenggan Jal Luay Mill	67.500	2.700	Kalimantan Timur

Persebaran area perkebunan kelapa sawit berada di 26 provinsi di Indonesia dengan area terbesarnya adalah pada Provinsi Riau dengan luas sebesar 2,89 juta ha pada 2021 atau 19,16% dari total luas areal perkebunan kelapa sawit di negeri ini. Adapun, produksi kelapa sawit di Riau mencapai 10,27 juta ton pada 2021 dan merupakan jumlah terbesar di Indonesia dan menyumbang 20,66% pada produksi kelapa sawit nasional (GAPKI, 2019). Selain itu, menurut GAPKI di tahun 2021, ekspor olahan CPO dilakukan sebesar 25,7 juta ton dan CPO sebesar 2,73 juta ton. Dari data tersebut dapat diketahui bahwa untuk saat ini jumlah kelapa sawit cukup banyak sehingga jumlah bahan baku PFAD yang berasal dari penyulingan kelapa sawit juga akan memadai.

1.6.2 Metanol (CH_3OH)

Metanol atau metil alkohol memiliki rumus kimia CH_3OH adalah salah satu senyawa kimia yang berbentuk cairan yang jernih, tidak berwarna, larut dalam air, dan dapat terurai secara alami. Metanol dapat digunakan sebagai bahan baku kimia, bahan bakar, dan bahan bakar aditif. Metanol yang paling banyak digunakan dalam produksi biodiesel melalui reaksi esterifikasi maupun transesterifikasi. metanol banyak digunakan karena harganya yang lebih terjangkau dan lebih mudah untuk direcovery.

1.6.3 Katalis Asam Sulfat (H_2SO_4)

Asam sulfat (H_2SO_4) merupakan katalis asam homogen yang paling umum digunakan pada tahap esterifikasi dalam produksi biodiesel dari bahan baku berkadar FFA tinggi seperti PFAD. Katalis asam homogen seperti asam sulfat (H_2SO_4) bekerja lebih baik dibandingkan katalis basa homogen pada bahan baku berkadar asam lemak bebas tinggi seperti minyak goreng bekas, lemak hewani, dan sebagian besar minyak nabati mentah. Penggunaan H_2SO_4 dalam proses esterifikasi PFAD telah terdokumentasi dengan baik dalam literatur ilmiah. Penelitian yang dipublikasikan di *Scientific Reports* mengkonfirmasi bahwa kandungan FFA PFAD mencapai $91,78 \pm 0,62\%$, dan asam sulfat digunakan sebagai katalis dalam proses esterifikasi dengan kondisi optimum yang meliputi variasi waktu reaksi 2 hingga 4 jam, suhu 55 hingga 75°C , dan jumlah katalis 3 hingga 9% berat. Berikut merupakan data perusahaan produsen Asam Sulfat (H_2SO_4) di Indonesia yang dapat dilihat pada Tabel 1.4.

Tabel 1.4 Data Perusahaan Produsen Asam Sulfat (H_2SO_4)

No	Nama Perusahaan	Kapasita Produksi	Lokasi
1.	PT Petrokimia Gresik	1.800.000 ton/tahun	Gresik, Jawa Timur
2.	PT Petro Jordan Abadi	600.000 ton/tahun	Gresik, Jawa Timur
3.	PT Smelting (Mitsubishi Materials)	975.000 ton/tahun	Gresik, Jawa Timur

Sumber: (BSN (2016), PT Petrokimia Gresik (2026), Radar Gresik (2023).

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.

Dalam prarancangan pabrik biodisel ini, bahan baku utama yang digunakan adalah PFAD. Ketersediaan bahan baku PFAD untuk prarancangan pabrik biodiesel sangat memadai di Indonesia, sebagai negara penghasil CPO terbesar dunia yang menghasilkan PFAD sebagai *by-product* utama. PFAD merupakan produk sampingan dari proses pemurnian minyak sawit yang tersedia dalam jumlah besar di negara penghasil minyak sawit seperti Indonesia. PFAD terdiri dari fraksi asam lemak bebas yang tinggi dan secara tradisional digunakan untuk industri oleokimia, pakan ternak, dan deterjen; namun, potensi PFAD sebagai bahan baku alternatif untuk produksi biodiesel semakin menarik perhatian peneliti karena ketersediaan dan biaya yang relatif rendah dibandingkan minyak makan atau minyak nabati murni lainnya (Dewi Noviati, 2021).

1.7.1 Kapasitas Produksi Pabrik Biodisel di Indonesia

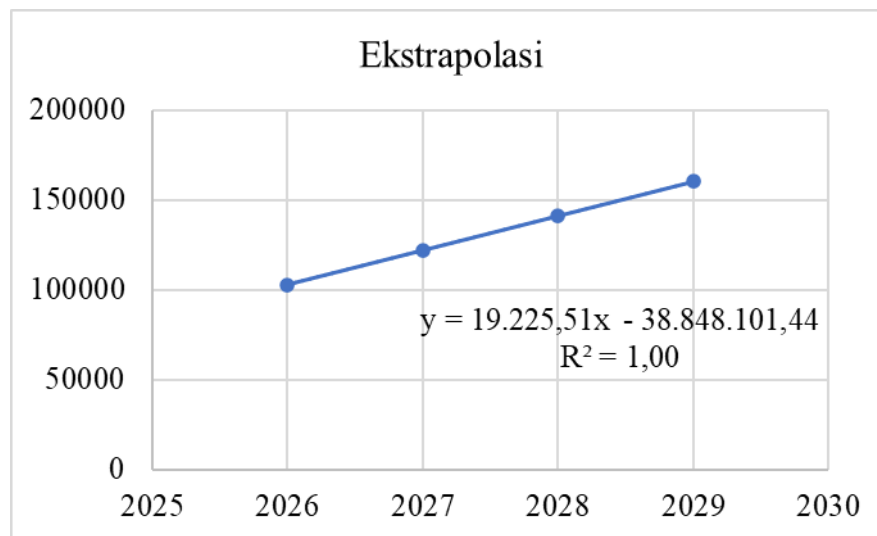
Kebutuhan biodiesel nasional pada tahun 2021-2025 dapat dilihat pada Tabel 1.5.

Tabel 1.5 Data Kapasitas Kebutuhan Biodisel di Indonesia

Kebutuhan Impor (tahun)	Kapasitas (Ton/ Tahun)
2021	1.305
2022	1.975
2023	2.495
2025	110.837

Sumber: Badan Pusat Statistik, 2026

Berdasarkan Tabel 1.5 maka dapat dibuat suatu persamaan linier agar dapat memperkirakan kebutuhan Biodisel pada tahun 2029 seperti pada Gambar 1.1



Gambar 1.1 Grafik Kebutuhan Import per tahun Biodiesel di Indonesia

Pada Gambar 1.1 disimpulkan bahwa grafik kebutuhan konsumen akan biodiesel terus meningkat tiap tahunnya. Hal ini tentu menyebabkan kebutuhan akan biodiesel pada masa yang akan datang juga akan terus meningkat sejalan dengan laju pertumbuhan industri yang menggunakan biodiesel sebagai bahan bakunya. Untuk menghitung kebutuhan akan biodiesel pada tahun berikutnya maka dapat menggunakan metode ekstrapolasi. Kebutuhan akan Biodiesel dapat diketahui dengan persamaan:

$$y = a(x) + b \dots\dots\dots (1.1)$$

$$y = 19.225,51x - 38.848.101,44$$

$$y = 19.225,51 (2029) - 38.848.101,44$$

$$y = 160.458$$

Dari hasil perhitungan dapat diperkirakan kebutuhan biodiesel di Indonesia pada tahun 2029 adalah sebesar 160.458 ton/tahun, sehingga hasil ekstrapolasi dapat dilihat pada tabel 1.6.

Tabel 1.6 Data Ekstrapolasi Kebutuhan Biodiesel di Indonesia

Tahun	Kapasitas (Ton/ Tahun)
2026	102.782
2027	122.007
2028	141.233
2029	160.458

Berdasarkan data hasil ekstrapolasi prediksi kebutuhan Biodiesel diproyeksikan naik stabil di 15-17% per tahun, mencapai 160.458 ton/tahun pada tahun 2029. Maka kapasitas pabrik biodiesel direncanakan akan beroperasi dengan memenuhi kebutuhan biodiesel di Indonesia. Dimana kapasitas pabrik yang akan direncanakan beroperasi adalah 350.000 ton/tahun. Pemilihan kapasitas tersebut dipilih karena sudah cukup untuk menutupi kebutuhan impor 160.458 ton/tahun di 2029, dimana sisa 189.542 ton/tahun akan diekspor ke negara-negara yang membutuhkan.

1.7.2 Kebutuhan Biodiesel di Dunia

Seiring dengan meningkatnya kesadaran akan pentingnya penggunaan energi terbarukan dan berkelanjutan, kawasan Asia mengalami lonjakan permintaan terhadap biodiesel dalam beberapa tahun terakhir. Sebagai kawasan dengan pertumbuhan ekonomi yang pesat dan populasi terbesar di dunia, Asia menghadapi tantangan besar dalam memenuhi kebutuhan energi, mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil, dan berkontribusi pada upaya global untuk mengatasi perubahan iklim.

Tabel 1.7 Negara dengan Kebutuhan Biodiesel di Dunia

No	Negara
1.	Jepang
2.	Singapura
3.	Slovenia
4.	Vietnam
5.	Norwegia

1. Kebutuhan Impor Biodiesel di Negara Jepang

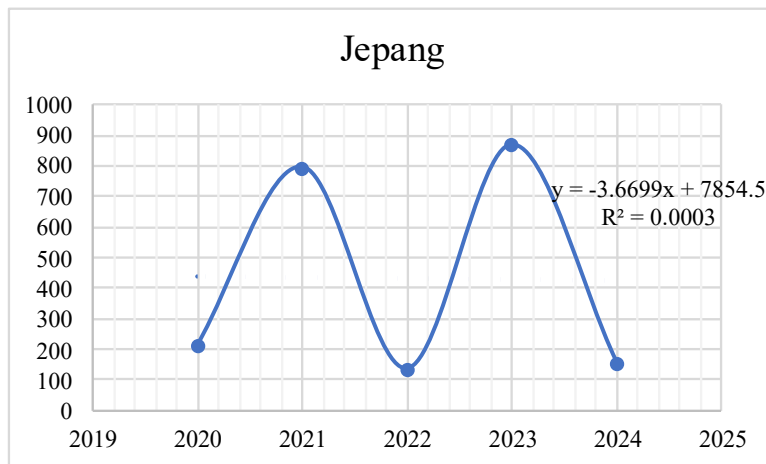
Analisis terhadap data impor biodiesel di negara Jepang dilakukan untuk meninjau seberapa besar peluang pasar yang bisa dimanfaatkan. Hal ini penting dalam menentukan kapasitas produksi pabrik yang akan dirancang, sehingga produk dari Indonesia pada pra-rancangan ini nantinya memiliki nilai ekspor yang tinggi. Data kebutuhan impor Jepang selama periode 2020 hingga 2024 dapat dilihat pada Tabel 1.8.

Tabel 1.8 Data Impor Biodiesel di Jepang

Tahun	Kapasitas (Ton)
2020	213
2021	795
2022	135
2023	858
2024	158

(Sumber : UN Comtrade, 2026)

Berdasarkan data impor biodiesel di Jepang yang disajikan pada tabel sebelumnya, terlihat adanya variasi volume impor dari tahun ke tahun. Untuk mempermudah analisis terhadap perkembangan dan kecenderungan impor Jepang, data tersebut selanjutnya disajikan dalam bentuk grafik sebagaimana ditunjukkan pada gambar berikut, sehingga pola perubahan impor biodiesel dapat diamati secara lebih jelas.

**Gambar 1.2** Grafik Kebutuhan Impor Biodiesel Jepang

Dalam menerapkan metode pertumbuhan tahunan, langkah awal yang dilakukan adalah mencari nilai laju pertumbuhan rata-rata tahunan (r). Dari hasil perhitungan didapat nilai rata-rata pertumbuhannya yaitu $r = 0.0003$. Berdasarkan persamaan geometrik, nilai impor Biodiesel pada tahun 2029 dapat ditentukan sebagai berikut :

$$P_t = P_0 (1 + r)^n \dots\dots\dots (1.2)$$

Dimana:

P_t = kapasitas akhir,

P_0 = kapasitas awal,

r = pertumbuhan rata rata,

n = proyeksi tahun ke- n .

Dari hasil perhitungan didapat nilai impor Biodiesel dari 2025-2029 yaitu pada Tabel 1.9.

Tabel 1.9 Data hasil perhitungan Kebutuhan Biodiesel di Jepang

Tahun	Kapasitas (Ton)
2025	422,9525
2026	419,2826
2027	415,6127
2028	411,428
2029	408,2729

Dapat dilihat pada Tabel 1.8, impor biodiesel di Jepang terus meningkat tiap tahunnya. Menggunakan metode pertumbuhan geometrik, kebutuhan impor pada tahun 2029 diperkirakan mencapai 408,2729 ton. Peluang ekspor kemudian dihitung berdasarkan selisih antara proyeksi tahun 2029 dengan data impor tahun terakhir untuk melihat potensi pasar yang tersedia.

Peluang ekspor = Kebutuhan Impor tahun 2029 - Kebutuhan data terakhir (2024)

Peluang ekspor = 408,2729 - 158

Peluang ekspor = 250,2729 Ton

Maka dapat diketahui bahwa pra-rancangan pabrik ini memiliki peluang mengekspor Biodiesel pada tahun 2029 mencapai 250,2729 Ton ke negara Jepang.

2. Kebutuhan Impor Biodiesel di Negara Singapura

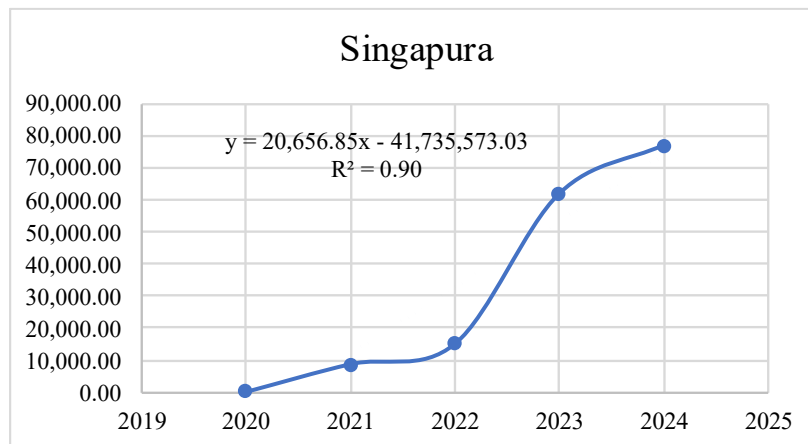
Analisis terhadap data impor biodiesel di negara Singapura dilakukan untuk meninjau seberapa besar peluang pasar yang bisa dimanfaatkan. Hal ini penting dalam menentukan kapasitas produksi pabrik yang akan dirancang, sehingga produk dari Indonesia pada pra-rancangan ini nantinya memiliki nilai ekspor yang tinggi. Data kebutuhan impor Jepang selama periode 2020 hingga 2024 dapat dilihat pada Tabel 1.10.

Tabel 1.10 Data Impor Biodiesel di Singapura

Tahun	Kapasitas (Ton)
2020	176,79
2021	8.788,67
2022	15.096,75
2023	61.847,76
2024	76.931,47

(Sumber : UN Comtrade, 2026)

Berdasarkan data impor biodiesel di Singapura yang disajikan pada tabel sebelumnya, terlihat adanya variasi volume impor dari tahun ke tahun. Untuk mempermudah analisis terhadap perkembangan dan kecenderungan impor Singapura, data tersebut selanjutnya disajikan dalam bentuk grafik sebagaimana ditunjukkan pada gambar berikut, sehingga pola perubahan impor biodiesel dapat diamati secara lebih jelas.

**Gambar 1.3** Grafik Kebutuhan Impor Biodiesel Singapura

Dalam menerapkan metode pertumbuhan tahunan, langkah awal yang dilakukan adalah mencari nilai laju pertumbuhan rata-rata tahunan (r). Dari hasil perhitungan didapat nilai rata-rata pertumbuhannya yaitu $r = 0.90$. Berdasarkan persamaan geometrik, nilai impor Biodiesel pada tahun 2029 dapat ditentukan sebagai berikut :

$$P_t = P_0 (1 + r)^n \dots\dots\dots (1.2)$$

Dimana:

P_t = kapasitas akhir,

P_0 = kapasitas awal,

r = pertumbuhan rata rata,

n = proyeksi tahun ke- n .

Dari hasil perhitungan didapat nilai impor Biodiesel dari 2025-2029 yaitu pada Tabel 1.11.

Tabel 1.11 Data hasil perhitungan Kebutuhan Biodisel di Singapura

Tahun	Kapasitas (Ton)
2025	94.548,22
2026	115.205,07
2027	135.861,92
2028	156.518,77
2029	177.175,62

Dapat dilihat pada Tabel 1.10, impor biodiesel di Singapura terus meningkat tiap tahunnya. Menggunakan metode pertumbuhan geometrik, kebutuhan impor pada tahun 2029 diperkirakan mencapai 177.175,62 ton. Peluang ekspor kemudian dihitung berdasarkan selisih antara proyeksi tahun 2029 dengan data impor tahun terakhir untuk melihat potensi pasar yang tersedia.

Peluang ekspor = Kebutuhan Impor tahun 2029 - Kebutuhan data terakhir (2024)

Peluang ekspor = 177.175,62 - 76.931,47

Peluang ekspor = 100.244,15 Ton

Maka dapat diketahui bahwa pra-rancangan pabrik ini memiliki peluang mengeksport Biodiesel pada tahun 2029 mencapai 100.244,15 Ton ke negara Singapura.

3. Kebutuhan Impor Biodiesel di Negara Slovenia

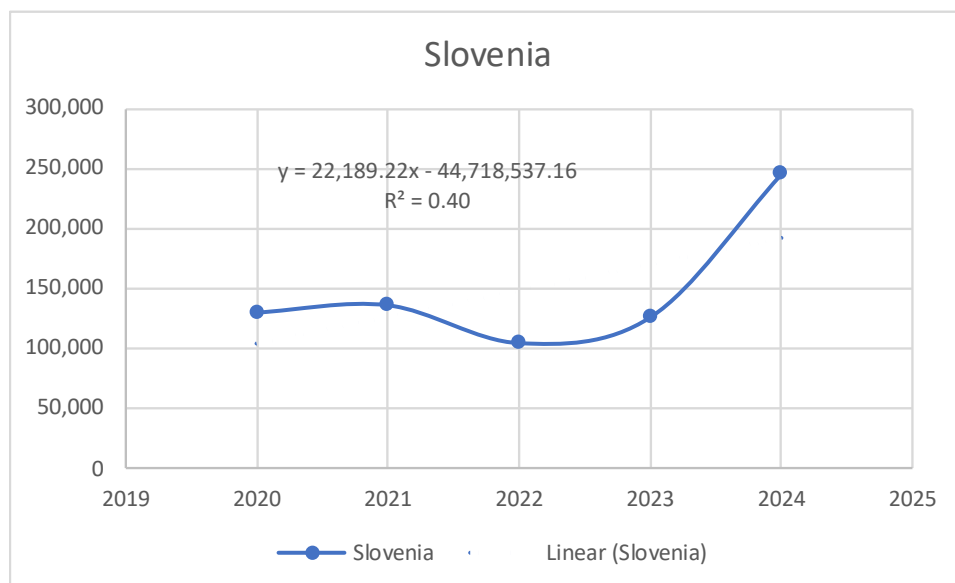
Analisis terhadap data impor biodiesel di negara Slovenia dilakukan untuk meninjau seberapa besar peluang pasar yang bisa dimanfaatkan. Hal ini penting dalam menentukan kapasitas produksi pabrik yang akan dirancang, sehingga produk dari Indonesia pada pra-rancangan ini nantinya memiliki nilai ekspor yang tinggi. Data kebutuhan impor Slovenia selama periode 2020 hingga 2024 dapat dilihat pada Tabel 1.12.

Tabel 1.12 Data Impor Biodiesel di Slovenia

Tahun	Kapasitas (Ton)
2020	129.569
2021	135.681
2022	103.956
2023	125.585
2024	245.564

(Sumber : UN Comtrade, 2026)

Berdasarkan data impor biodiesel di Slovenia yang disajikan pada tabel sebelumnya, terlihat adanya variasi volume impor dari tahun ke tahun. Untuk mempermudah analisis terhadap perkembangan dan kecenderungan impor Slovenia, data tersebut selanjutnya disajikan dalam bentuk grafik sebagaimana ditunjukkan pada gambar berikut, sehingga pola perubahan impor biodiesel dapat diamati secara lebih jelas.

**Gambar 1.4** Grafik Kebutuhan Impor Biodiesel Slovenia

Dalam menerapkan metode pertumbuhan tahunan, langkah awal yang dilakukan adalah mencari nilai laju pertumbuhan rata-rata tahunan (r). Dari hasil perhitungan didapat nilai rata-rata pertumbuhannya yaitu $r = 0.0013$. Berdasarkan persamaan geometrik, nilai impor Biodiesel pada tahun 2029 dapat ditentukan sebagai berikut :

$$P_t = P_0 (1 + r)^n \dots\dots\dots (1.2)$$

Dimana:

P_t = kapasitas akhir,

P_0 = kapasitas awal,

r = pertumbuhan rata rata,

n = proyeksi tahun ke- n .

Dari hasil perhitungan didapat nilai impor Biodiesel dari 2025-2029 yaitu pada Tabel 1.13.

Tabel 1.13 Data hasil perhitungan Kebutuhan Biodiesel di Slovenia

Tahun	Kapasitas (Ton)
2025	214.633,34
2026	236.822,56
2027	259.011,78
2028	281.201
2029	303.390,22

Dapat dilihat pada Tabel 1.13, impor biodiesel di Slovenia terus meningkat tiap tahunnya. Menggunakan metode pertumbuhan geometrik, kebutuhan impor pada tahun 2029 diperkirakan mencapai 303.390,22 ton. Peluang ekspor kemudian dihitung berdasarkan selisih antara proyeksi tahun 2029 dengan data impor tahun terakhir untuk melihat potensi pasar yang tersedia.

Peluang ekspor = Kebutuhan Impor tahun 2029 - Kebutuhan data terakhir (2024)

Peluang ekspor = 303.390,22 - 245.564

Peluang ekspor = 57.827 Ton

Maka dapat diketahui bahwa pra-rancangan pabrik ini memiliki peluang mengekspor Biodiesel pada tahun 2029 mencapai 57,827 Ton ke negara Slovenia.

4. Kebutuhan Impor Biodiesel di Negara Vietnam

Analisis terhadap data impor biodiesel di negara Vietnam dilakukan untuk meninjau seberapa besar peluang pasar yang bisa dimanfaatkan. Hal ini penting dalam menentukan kapasitas produksi pabrik yang akan dirancang, sehingga produk dari Indonesia pada pra-rancangan ini nantinya memiliki nilai ekspor yang

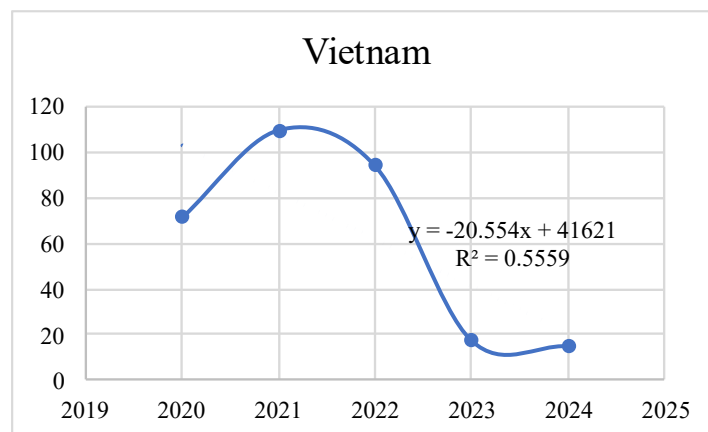
tinggi. Data kebutuhan impor Vietnam selama periode 2020 hingga 2024 dapat dilihat pada Tabel 1.14.

Tabel 1.14 Data Impor Biodiesel di Vietnam

Tahun	Kapasitas (Ton)
2020	72
2021	110
2022	94
2023	18
2024	15

(Sumber : UN Comtrade, 2026)

Berdasarkan data impor biodiesel di Vietnam yang disajikan pada tabel sebelumnya, terlihat adanya variasi volume impor dari tahun ke tahun. Untuk mempermudah analisis terhadap perkembangan dan kecenderungan impor Vietnam, data tersebut selanjutnya disajikan dalam bentuk grafik sebagaimana ditunjukkan pada gambar berikut, sehingga pola perubahan impor biodiesel dapat diamati secara lebih jelas.



Gambar 1.5 Grafik Kebutuhan Impor Biodiesel Vietnam

Dalam menerapkan metode pertumbuhan tahunan, langkah awal yang dilakukan adalah mencari nilai laju pertumbuhan rata-rata tahunan (r). Dari hasil perhitungan didapat nilai rata-rata pertumbuhannya yaitu $r = 0.5559$. Berdasarkan persamaan geometrik, nilai impor Biodiesel pada tahun 2029 dapat ditentukan sebagai berikut :

$$P_t = P_0 (1 + r)^n \dots\dots\dots (1.2)$$

Dimana:

P_t = kapasitas akhir,

P_0 = kapasitas awal,

r = pertumbuhan rata rata,

n = proyeksi tahun ke- n .

Dari hasil perhitungan didapat nilai impor Biodiesel dari 2025-2029 yaitu pada Tabel 1.15.

Tabel 1.15 Data hasil perhitungan Kebutuhan Biodisel di Vietnam

Tahun	Kapasitas (Ton)
2025	0,85
2026	21,404
2027	41,958
2028	62,512
2029	83,066

Dapat dilihat pada Tabel 1.15, impor Biodiesel di Vietnam terus meningkat tiap tahunnya. Menggunakan metode pertumbuhan geometrik, kebutuhan impor pada tahun 2029 diperkirakan mencapai 83,066 ton. Peluang ekspor kemudian dihitung berdasarkan selisih antara proyeksi tahun 2029 dengan data impor tahun terakhir untuk melihat potensi pasar yang tersedia.

Peluang ekspor = Kebutuhan Impor tahun 2029 - Kebutuhan data terakhir (2024)

Peluang ekspor = 83,066 - 15

Peluang ekspor = 68,066 Ton

Maka dapat diketahui bahwa pra-rancangan pabrik ini memiliki peluang mengekspor Biodiesel pada tahun 2029 mencapai 68,066 Ton ke negara Singapura.

5. Kebutuhan Impor Biodiesel di Negara Norwegia

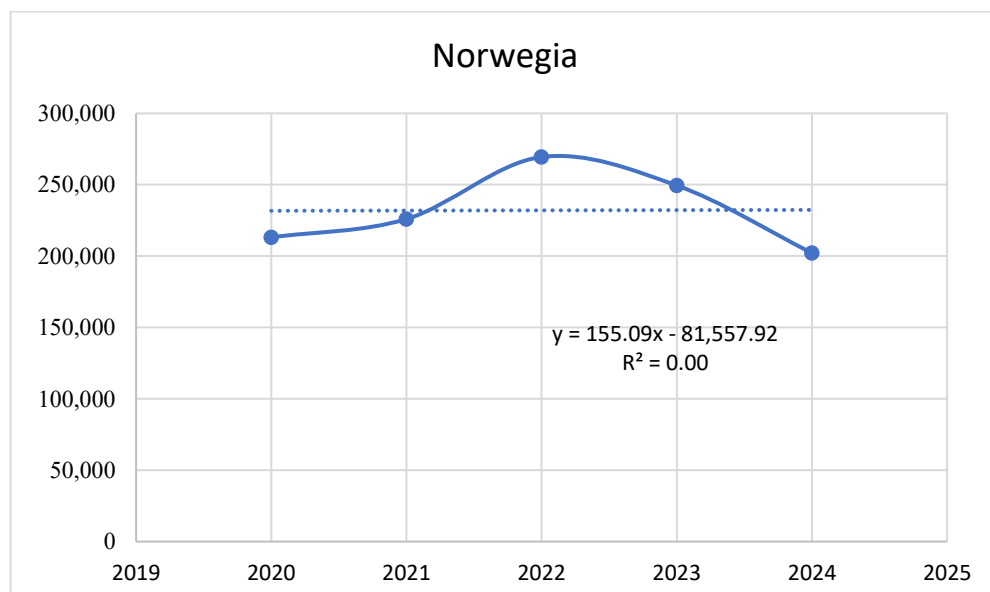
Analisis terhadap data impor biodiesel di negara Norwegia dilakukan untuk meninjau seberapa besar peluang pasar yang bisa dimanfaatkan. Hal ini penting dalam menentukan kapasitas produksi pabrik yang akan dirancang, sehingga produk dari Indonesia pada pra-rancangan ini nantinya memiliki nilai ekspor yang tinggi. Data kebutuhan impor Norwegia selama periode 2020 hingga 2024 dapat dilihat pada Tabel 1.16.

Tabel 1.16 Data Impor Biodiesel di Norwegia

Tahun	Kapasitas (Ton)
2020	213.150
2021	225.928
2022	269.438
2023	249.449
2024	202.165

(Sumber : UN Comtrade, 2026)

Berdasarkan data impor biodiesel di Norwegia yang disajikan pada tabel sebelumnya, terlihat adanya variasi volume impor dari tahun ke tahun. Untuk mempermudah analisis terhadap perkembangan dan kecenderungan impor Norwegia, data tersebut selanjutnya disajikan dalam bentuk grafik sebagaimana ditunjukkan pada gambar berikut, sehingga pola perubahan impor biodiesel dapat diamati secara lebih jelas.

**Gambar 1.6** Grafik Kebutuhan Impor Biodiesel Norwegia

Dalam menerapkan metode pertumbuhan tahunan, langkah awal yang dilakukan adalah mencari nilai laju pertumbuhan rata-rata tahunan (r). Dari hasil perhitungan didapat nilai rata-rata pertumbuhannya yaitu $r = 0.00$. Berdasarkan persamaan geometrik, nilai impor Biodiesel pada tahun 2029 dapat ditentukan sebagai berikut :

$$P_t = P_0 (1 + r)^n \dots\dots\dots (1.2)$$

Dimana:

P_t = kapasitas akhir,

P_0 = kapasitas awal,

r = pertumbuhan rata rata,

n = proyeksi tahun ke-n.

Dari hasil perhitungan didapat nilai impor Biodiesel dari 2025-2029 yaitu pada Tabel 1.17.

Tabel 1.17 Data hasil perhitungan Kebutuhan Biodisel di Norwegia

Tahun	Kapasitas (Ton)
2025	232.499,33
2026	232.654,42
2027	232.809,51
2028	232.964,6
2029	233.119,69

Dapat dilihat pada Tabel 1.17, impor biodiesel di Norwegia terus meningkat tiap tahunnya. Menggunakan metode pertumbuhan geometrik, kebutuhan impor pada tahun 2029 diperkirakan mencapai 233.119,69 ton. Peluang ekspor kemudian dihitung berdasarkan selisih antara proyeksi tahun 2029 dengan data impor tahun terakhir untuk melihat potensi pasar yang tersedia.

Peluang ekspor = Kebutuhan Impor tahun 2029 - Kebutuhan data terakhir (2024)

Peluang ekspor = 233.119,69 - 202.165

Peluang ekspor = 30.954,69 Ton

Maka dapat diketahui bahwa pra-rancangan pabrik ini memiliki peluang mengekspor Biodiesel pada tahun 2029 mencapai 30.954,69 Ton ke negara Norwegia.

Pasar sasaran dari pra-rancangan pabrik ini meliputi pemenuhan kebutuhan biodiesel nasional dan internasional. Hingga saat ini, kebutuhan biodiesel di pasar global sebagian besar masih dipasok oleh pabrik-pabrik biodiesel yang beroperasi di negara-negara produsen utama. Sebagai dasar analisis pasar nasional dan

internasional, data mengenai kapasitas produksi di dalam negeri dan luar negeri disajikan pada Tabel 1.18. dan Tabel 1.19

Tabel 1.18 Produksi Biodiesel di Dalam Negeri

No	Nama Perusahaan	Kapasitas (Ton/Tahun)
1	PT Batara Elok Semesta Terpadu	174.079
2	PT Bayas Biofuel	331.095
3	PT Ciliandra Perkasa	259.882
4	PT Dabi Biofuel	30.606
5.	PT Darmex Biofuel	140.183
6.	PT Energi Unggul Persadha	230.352
7.	PT Intibenua Perkasa	287.944
8.	PT Pelita Agung Agrindustri	436.085
9.	PT Sari Dumai Sejati	485.321
10.	PT Sinarmas Bio Energy	332.195
11.	PT Wilmar Bioenergi Indonesia	1.195.950

(Sumber Kepmen ESDM, 2021)

Tabel 1.19 Produksi Biodiesel di Luar Negeri

No	Nama Perusahaan	Negara	Kapasitas (Ton/Tahun)
1	Neste Corp	Finlandia	5,5 juta ton/tahun
2	Renewable Energy Group (REG) / Chevron	Amerika Serikat	700 juta/tahun
3	Cargill	Amerika Serikat	4 juta ton/tahun
4	TotalEnergies	Prancis	7 juta ton/Tahun

(Sumber: APROBI, 2025)

Berikut Hasil perhitungan estimasi distribusi biodiesel dapat dilihat pada Tabel 1.20.

Tabel 1.20 Perencanaan Ekspor Produksi Biodiesel

No	Negara	Peluang Ekspor	Jumlah Ekspor (Ton)
1.	Jepang	250,2729	250
2.	Singapura	100.244,15	100.300
3.	Slovenia	57.827	57.850
4.	Vietnam	68,066	68
5.	Norwegia	30.954,69	31.000
Jumlah		189.344,17	189.542

Berdasarkan perhitungan kebutuhan biodiesel di dalam negeri dan luar negeri, serta dengan mempertimbangkan ketersediaan bahan baku utama berupa PFAD. Kapasitas perancangan pabrik biodiesel ini ditetapkan sebesar 350.000 ton/tahun dengan harapan:

1. Dapat memenuhi kebutuhan biodiesel dalam negeri yang terus meningkat setiap tahun.
2. Dapat menghemat devisa negara yang cukup besar karena berkurangnya impor biodiesel.
3. Dapat memenuhi sebagian kebutuhan biodiesel di Dunia.

1.8 Seleksi Pemilihan Proses

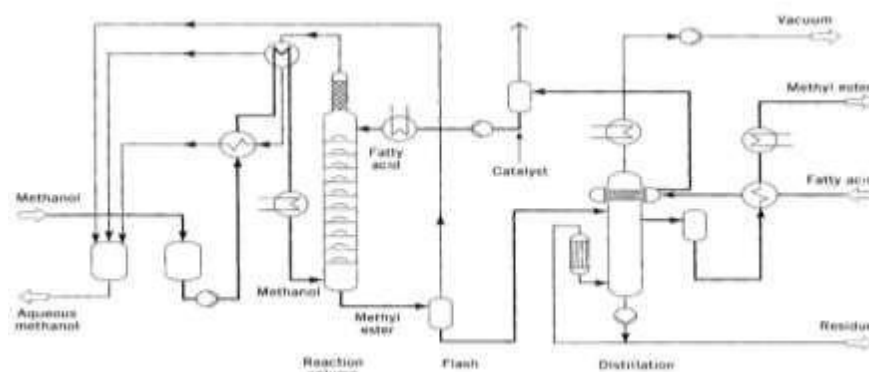
Macam-macam proses pembuatan biodiesel antara lain :

1. Proses Esterifikasi
2. Proses Ester-Transesterifikasi

1.8.1 Proses Esterifikasi

Esterifikasi adalah reaksi asam lemak bebas dengan alkohol membentuk ester dan air. Esterifikasi biasanya dilakukan jika minyak yang diumpankan mengandung asam lemak bebas tinggi ($>5\%$). Umumnya, proses esterifikasi menggunakan katalis asam. Asam-asam pekat seperti asam sulfat dan asam klorida adalah jenis asam yang sekarang ini banyak digunakan sebagai katalis. Reaksi esterifikasi dilakukan dengan cara mencampurkan asam lemak bebas dan methanol dengan bantuan katalis asam sulfat dengan konsentrasi 98% kemudian dipanaskan pada suhu tertentu agar menghasilkan biodiesel dan air (Karunia dkk, 2012).

Kualitas biodiesel sangat dipengaruhi oleh reaksi penyabunan akibat kandungan FFA yang tinggi pada PFAD. Katalis asam kuat seperti H_2SO_4 , asam sulfonat organik, atau resin kation umum digunakan dalam esterifikasi untuk mengubah FFA menjadi *Fatty Acid Methyl Ester* (FAME). Katalis basa tidak cocok dikarenakan akan terbentuknya air yang menyebabkan reaksi penyabunan dan metil ester yang dihasilkan menggunakan katalis asam akan bersifat korosif yang menyebabkan efek karat pada peralatan. Temperatur yang digunakan adalah 60°C dan tekanan sebesar 1 atm dibuat konstan. Konversi reaksi esterifikasi yang dipakai adalah 95-99% (Nurfatihayati dkk, 2025).



Gambar 1.7 Proses Dasar Esterifikasi (Bailey's Book, 2005).

Reaksi Esterifikasi:



Reaksi esterifikasi dilakukan dengan cara mencampurkan asam lemak bebas dan methanol dengan bantuan katalis asam sulfat dengan konsentrasi 98% kemudian dipanaskan pada suhu tertentu agar menghasilkan biodiesel dan air. Temperatur yang digunakan adalah 60°C dan tekanan sebesar 1 atm dibuat konstan. Konversi reaksi esterifikasi yang dipakai adalah 95-99%.

1. Uji Ekonomi Awal

Analisa ekonomi awal dilakukan untuk mengetahui apakah layak atau tidaknya berdiri suatu pabrik. Menggunakan perhitungan yang sederhana dengan mengurangi harga produk dengan bahan baku. Adapun informasi berat molekul dan harga bahan diperlihatkan pada Tabel 1.21.

Tabel 1.21 Uji Ekonomi Awal Proses Esterifikasi

Bahan	Berat Molekul	Harga (Rp/Kg)
PFAD	270	12,000
Methanol	32,04	15.000
Asam Sulfat (H ₂ SO ₄)	98,08	34.000

Sumber: Alibaba.com, 2026

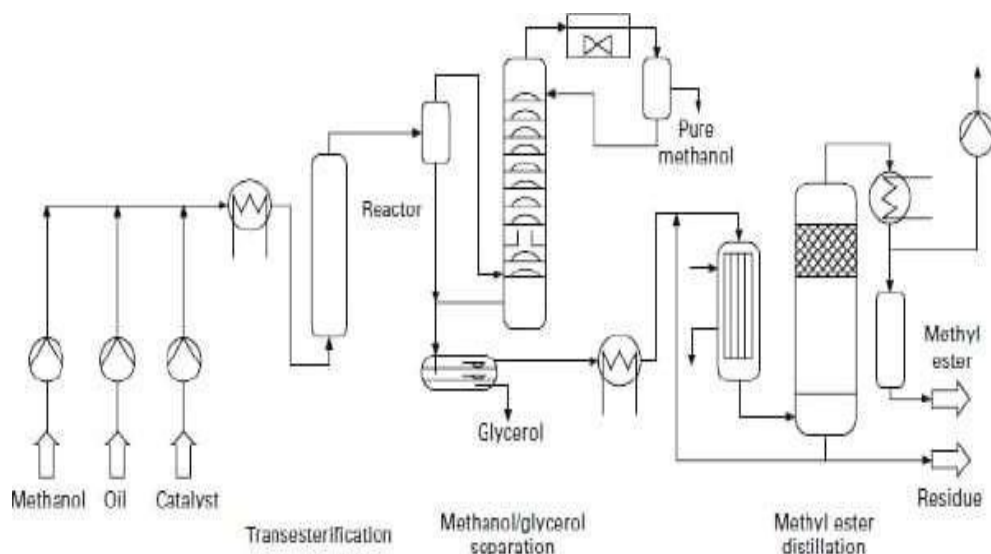
Berdasarkan data diatas, maka dihitung perhitungan ekonomi (PE) awal sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 PE &= ((\text{BM PFAD} \times \text{Harga PFAD}) + (\text{BM metanol} \times \text{Harga metanol})) - (\text{BM} \\
 &\quad \text{H}_2\text{SO}_4 \times \text{Harga H}_2\text{SO}_4) \\
 &= ((270 \times 12,000) + (32,04 \times 15.000)) - (98,08 \times 34,000) \\
 &= 3.720,600 - 3.334,720 \\
 &= \text{Rp } 385.880/ \text{ kg}
 \end{aligned}$$

1.8.2 Proses Ester-Transesterifikasi

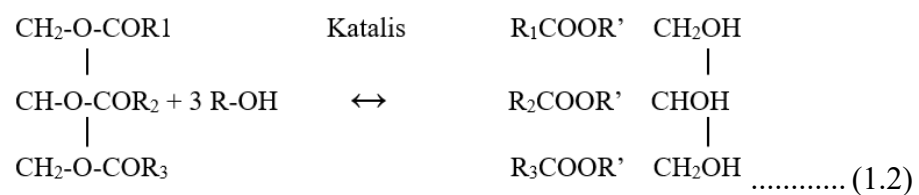
Proses ester-transesterifikasi menggabungkan dua tahap: esterifikasi dan transesterifikasi, di mana proses transesterifikasi adalah reaksi antara trigliserida (minyak atau lemak) dengan alkohol (metanol atau etanol) dalam kehadiran katalis basa (seperti NaOH atau KOH), yang menghasilkan metil ester (biodiesel) dan gliserol. Proses ini adalah langkah lanjutan setelah esterifikasi yang bertujuan untuk mengkonversi trigliserida menjadi biodiesel dengan rendemen yang lebih tinggi dan kecepatan reaksi yang lebih cepat. Reaksi menggunakan katalis basa banyak dipilih dibandingkan katalis asam dan enzim, karena menghasilkan rendemen metil ester yang tinggi dan waktu yang lebih cepat. Transesterifikasi bertujuan untuk mengoptimalkan pembentukan biodiesel dari rantai asam lemak pada PFAD (Naseef & Tulaimat, 2025).

Katalis yang dapat digunakan pada proses ini adalah katalis asam, basa, atau enzim. Namun katalis basa yang paling umum digunakan dalam penggunaan komersial, yakni NaOH dan KOH pada asam lemak bebas berkadar <1%. Namun, pada minyak nabati dengan kadar lemak bebasnya >1% perlu dilakukan deasidifikasi melalui reaksi metanolisis atau gliserolisis. Katalis basa mampu menghasilkan biodiesel dengan konversi dan yield yang tinggi dengan waktu yang relatif singkat. Namun, kelemahan proses ini adalah sangat sensitif terhadap kemurnian reaktan dan reaksi berjalan lambat.



Gambar 1.8 Proses Dasar Transesterifikasi (Henkel,1984)

Reaksi Transesterifikasi:



Pada produksi biodiesel dari PFAD diperlukan perhatian khusus terhadap kandungan FFA dan kandungan air bahan baku. PFAD memiliki kadar FFA yang sangat tinggi, sehingga apabila langsung dilakukan transesterifikasi dengan katalis basa (seperti NaOH atau KOH), akan terjadi reaksi saponifikasi yang menghasilkan sabun. Sabun ini dapat menghambat pemisahan antara gliserol dan metil ester (biodiesel), serta menyebabkan emulsi selama proses pencucian, sehingga menurunkan kualitas biodiesel dan menyulitkan pemurnian akhir. Oleh karena itu,

kadar air dalam PFAD harus diminimalkan sebelum proses dilakukan karena air mempercepat terbentuknya sabun dalam reaksi basa. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, proses esterifikasi dilakukan sebagai tahap awal. Pada tahap ini, asam lemak bebas dalam PFAD direaksikan dengan alkohol (umumnya metanol) menggunakan katalis asam untuk mengkonversi FFA menjadi metil ester (biodiesel). Proses esterifikasi ini efektif menurunkan kadar FFA sehingga mengurangi risiko terbentuknya sabun bila dilanjutkan ke tahap transesterifikasi dengan katalis basa. Setelah kadar FFA cukup rendah, barulah proses transesterifikasi dilakukan untuk mengubah trigliserida yang tersisa menjadi biodiesel dan gliserol, dengan hasil konversi yang lebih baik serta pemisahan fase produk yang lebih mudah (Akinfalabi et al., 2019).

Pada proses transesterifikasi menghasilkan produk samping berupa gliserin (gliserol), selain biodiesel sebagai produk utamanya. Gliserin dapat dimanfaatkan dalam pembuatan sabun yang berperan sebagai pelembab (*moisturizing*). Produk yang dihasilkan selanjutnya dicuci untuk menghilangkan sisa katalis dan metanol. Proses transesterifikasi dapat dilakukan secara batch pada tekanan 1 atm dan suhu 50 – 70 °C (Darnoko dan Cheryan, 2000).

1. Uji Ekonomi Awal

Analisa ekonomi awal dilakukan untuk mengetahui apakah layak atau tidaknya berdiri suatu pabrik. Menggunakan perhitungan yang sederhana dengan mengurangi harga produk dengan bahan baku. Adapun informasi berat molekul dan harga bahan diperlihatkan pada Tabel 1.22.

Tabel 1.22 Uji Ekonomi Awal Proses Ester-Transesterifikasi

Bahan	Berat Molekul	Harga (Rp/Kg)
PFAD	270	12,000
Methanol	32,04	15.000
NAOH	40	28.000
Asam Sulfat (H ₂ SO ₄)	90,08	34.000

Sumber: Alibaba.com, 2026

Berdasarkan data diatas, maka dihitung perhitungan ekonomi (PE) awal sebagai berikut: $((\text{BM PFAD} \times \text{Harga PFAD}) - (\text{BM Metanol} \times \text{Harga Metanol})) + ((\text{BM asam sulfat} \times \text{Harga asam sulfat}) - (\text{BM NAOH} \times \text{Harga NAOH}))$

$$= ((270 \times 12,000) - (32,04 \times 15,000)) + ((90,08 \times 34,000) - (40 \times 28,000))$$

$$= 2.759,400 - 1.942,720$$

$$= \text{Rp } 816.680/\text{kg}$$

1.8.3 Perbandingan Proses

Perbandingan proses pembuatan biodiesel dari PFAD dapat dilihat dalam Tabel 1.23.

Tabel 1.23 Perbandingan proses pembuatan biodiesel dari PFAD

Parameter	Teknologi Proses	
	Esterifikasi	Ester-Transesterifikasi
Suhu Proses	60-70°C	50-60°C
Tekanan	1 atm	1 atm
Konversi	95-99,5%	Ester: 96-98% Transester: 97-98,5%
Yield	55-75%	80-88%
Kandungan Minyak	FFA	FFA, Triglicerida
Katalis	Asam	Ester: Asam Transester: Basa
Produk	Metil ester/ Biodiesel	Metil ester/ Biodiesel
Kelebihan	Produk mudah dipisahkan oleh katalis sehingga tidak dibutuhkan biaya produksi tambahan. Tidak bersifat racun dan mudah didaur ulang.	Proses yang digunakan lebih cepat dan efisien. Yield produksi relative tinggi

Kekurangan	Katalis yang digunakan relatif mahal dan bersifat korosif, reaksi berjalan lambat untuk konversi trigliserida	Membutuhkan reactor yang lebih banyak karena menggunakan 2 tahap
------------	---	--

Berdasarkan evaluasi terhadap berbagai proses pembuatan biodiesel, proses esterifikasi-transesterifikasi dipilih sebagai metode yang optimal. Pilihan ini didasarkan pada kandungan tinggi asam lemak bebas (FFA) sebesar 81,7% dan gliserida sebesar 14,4% pada Palm Fatty Acid Distillate (PFAD), serta sejumlah kecil bioaktif seperti vitamin E (0,5%), squalene (0,8%), sterol (0,4%), dan bahan lainnya (Miller dkk, 2022). Proses esterifikasi awal diperlukan untuk mengurangi kandungan FFA yang tinggi dengan penambahan methanol dan katalis asam homogen (H_2SO_4). Selanjutnya, proses transesterifikasi dilakukan untuk mengubah trigliserida yang tersisa menjadi biodiesel. Methanol dipilih sebagai alkohol karena biayanya yang lebih rendah dan kemudahan dalam pemisahan emulsi setelah reaksi dibandingkan dengan etanol. Penggunaan katalis asam bertujuan untuk mengonversi FFA menjadi *Fatty Acid Methyl Esters* (FAME) dan mencegah terjadinya saponifikasi yang bisa menurunkan yield biodiesel dan menyulitkan pemisahan produk. H_2SO_4 juga memiliki kemampuan menyerap air, yang mendorong reaksi esterifikasi ke arah produk FAME yang lebih banyak. Setelah esterifikasi, proses transesterifikasi dilakukan untuk mengubah gliserida yang tersisa menjadi FAME, menggunakan katalis basa homogen kuat (NaOH), yang menghasilkan gliserin sebagai produk samping. Katalis NaOH dipilih karena ketersediaannya yang melimpah, harga yang murah, serta kemampuannya menghasilkan konversi biodiesel yang tinggi pada suhu dan tekanan rendah. Dengan proses esterifikasi-transesterifikasi ini, diharapkan dapat tercapai yield FAME yang maksimal.

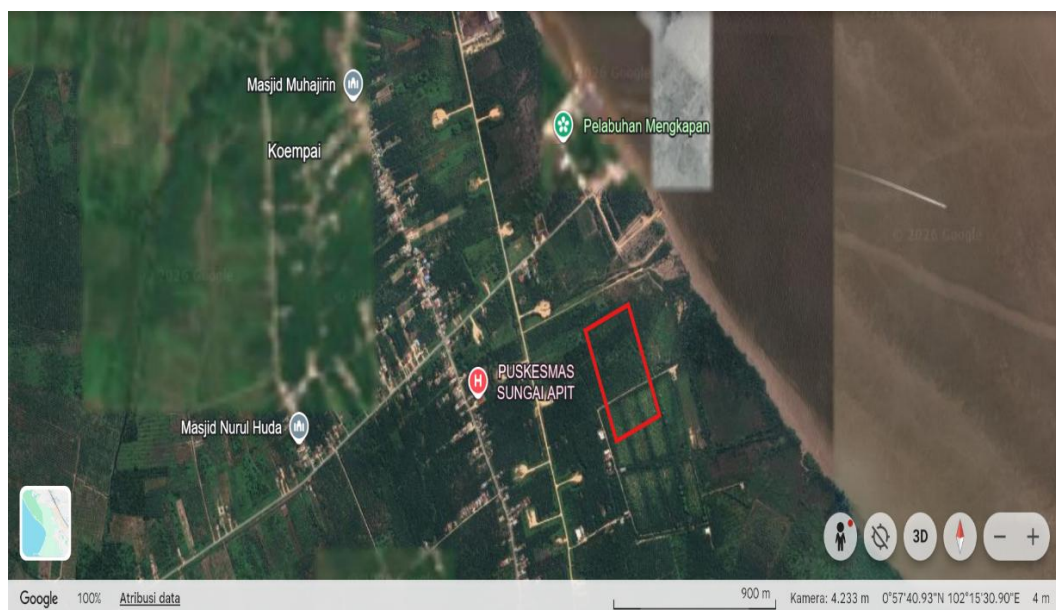
1.9 Pemilihan Lokasi Pabrik

Dalam memproduksi biodiesel diperlukan analisa ketersediaan bahan baku yang tepat digunakan. Berdasarkan data produksi PFAD tiap provinsi tahun 2020 didapatkan bahwa Provinsi Riau menjadi penghasil PFAD terbesar dengan nilai

341.684,72 ton per tahun. Disusul oleh Provinsi Kalimantan Tengah dengan nilai 319.279,28 per tahun dan Sumatera Utara dengan nilai 206.031,32 per tahun. Terdapat bahan baku penunjang lainnya, seperti katalis H_2SO_4 didapatkan dari PT Petrokimia Gresik. Metanol didapatkan dari PT Kaltim Metanol Indonesia dengan dengan pemasaran luar negeri dilakukan oleh Sojitz Corporation sebesar 70% (480.000 MT) dan sisanya 30% (180.000 MT) untuk wilayah Indonesia oleh PT. Humpuss.

Pengembangan Kawasan Industri dan Pelabuhan Tanjung Buton dilatar belakangi oleh potensi sumber daya alam yang besar di Provinsi Riau dan Kabupaten Siak khususnya di sektor perkebunan kelapa sawit. Selain itu, pelabuhan Dumai juga telah mengalami *over capacity* dan hal ini dikuasai oleh korporasi. Pengembangan ini diprioritaskan pada pengembangan Pelabuhan dengan lahan kawasan industri seluas 300 Ha, pembangunan jaringan listrik menuju KITB sepanjang 1,63 kms, ketersediaan air baku sebesar 3,98 m³/detik dengan jarak kurang lebih 12,4 km, dengan industri prioritas yang akan dikembangkan pada KITB adalah industri penunjang migas dan industri CPO. Pengembangan produksi industri CPO di Kabupaten Siak sebesar 969.288 ton/tahun dengan luas lahan 288.362 Ha sementara di Provinsi Riau produksi sebesar 7.333.610 ton/tahun. Pemilihan lokasi Tanjung Buton sebagai kawasan Industri dan Pelabuhan didasarkan pada kondisi fisik kawasan dimana ombak relatif kecil 0,32-0,98 M, kecepatan arus maks 0,682-0,827 M/detik. Selain itu, KITB memiliki posisi geografis yang strategis yaitu relatif dekat dengan sumber bahan baku, relatif dekat dengan Pekanbaru (akses jalan darat) sekitar 140,3 KM / 2,5 jam, dan relatif dekat dengan internasional maritim line (akses laut) sekitar 93 mil/112,2 KM menuju pelayaran internasional Selat Malaka (ke Singapura dan Malaysia). Pemilihan lokasi KITB juga memiliki kesesuaian terhadap draft Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) Provinsi Riau berdasarkan struktur ruang, pola ruang, dan kawasan strategis. Pada struktur ruang sendiri terdapat 3 outlet/pintu gerbang laut Provinsi Riau, yaitu melalui Pelabuhan Dumai, Pelabuhan Tanjung Buton, dan Pelabuhan Kuala Enok. Untuk pola ruang, KITB diperuntukkan sebagai kawasan industri kemudian untuk kawasan strategis KITB sebagai kawasan strategis Provinsi Riau

dari sudut pertumbuhan ekonomi. Dari beberapa aspek pemilihan lokasi pabrik biodiesel dari CPO dapat disimpulkan bahwa pabrik akan didirikan di wilayah Kabupaten Siak, Provinsi Riau, tepatnya di Kawasan Industri Tanjung Buton (KITB). Hal ini dengan mempertimbangkan aspek-aspek yang telah dibandingkan melalui analisis hierarki yang memberikan hasil bahwa provinsi riau memiliki nilai tertinggi dibandingkan dengan sumatera utara dan kalimantan tengah. Oleh karena itu, lokasi pabrik terpilih yaitu berada di Provinsi Riau tepatnya di Kawasan Industri Tanjung Buton.



Gambar 1.10 Penentuan Lokasi Pabrik Biodiesel

Beberapa alasan ditetapkannya lokasi pembuatan pabrik biodiesel ini adalah:

- Berdasarkan aspek ketersediaan bahan baku, Provinsi Riau merupakan penghasil PFAD terbanyak di Indonesia disusul oleh Kalimantan Tengah dan Sumatera Utara.
- Berdasarkan aspek sumber energi listrik, air dan *Fuel Gas* terdapat sumber air, listrik serta fuel gas yang terjangkau dan relatif dekat dengan lokasi pabrik yang rencananya akan dibangun.
- Berdasarkan aspek sumber tenaga kerja Provinsi Riau lebih rendah dibandingkan dengan lokasi lainnya, namun, hal tersebut tidak terlalu berpengaruh dikarenakan tenaga kerja dapat diperoleh dari provinsi lainnya.

- Berdasarkan aspek aksesabilitas dan fasilitas transportasi Provinsi Riau memiliki keunggulan dikarenakan dekat dengan dermaga sebagai pengangkut barang baku maupun produk. Akses jalan raya juga memumpuni.
- Berdasarkan aspek pasar Provinsi Riau terletak di daerah strategis. Letak Provinsi Riau berada pada jalur perdagangan Internasional.
- Berdasarkan aspek hukum dan peraturan pemilihan Provinsi Riau terletak pada kawasan industri sehingga rencana pembangunan pabrik biodiesel ini didukung pemerintah serta masyarakat sekitar sebagai penyedia lapangan pekerjaan.
- Berdasarkan iklim dan topografi Provinsi Riau memiliki curah hujan yang lebih tinggi dibanding dengan lokasi lainnya. Namun, hal ini tidak terlalu berpengaruh dikarenakan perbedaan curah hujan, suhu maupun kecepatan angin tidak terlalu signifikan.
- Berdasarkan aspek rencana ekspansi Provinsi Riau lebih tepatnya pada Kawasan Industri Tanjung Buton sudah memiliki infrastruktur yang memadai sehingga rencana ekspansi ini membutuhkan investasi yang lebih mahal dibandingkan dengan Kalimantan Tengah yang masih akan dilakukan pembangunan kawasan industri.
- Berdasarkan dampak terhadap lingkungan ketiga lokasi memiliki nilai yang sama dikarenakan letak pembangunan berada di kawasan industri sehingga pembuangan limbah sudah diatur oleh kawasan industri tersebut.