

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industri kimia global dan domestik terus berkembang seiring meningkatnya kebutuhan akan bahan baku kimia dasar dan bahan bakar alternatif. Di antara berbagai senyawa kimia penting, Metanol (CH_3OH) menonjol sebagai salah satu bahan kimia paling krusial. Metanol digunakan luas sebagai bahan baku untuk produksi formaldehida, asam asetat, dimetil eter (DME), metil tert-butyl eter (MTBE), bahan pelarut, resin, serta sebagai bahan bakar atau aditif bahan bakar (Dermawan, 2022).

Seiring meningkatnya diversifikasi aplikasi dari petrokimia, manufaktur plastik, tekstil, resin, hingga energi permintaan global terhadap metanol terus meningkat. Sebagai ilustrasi, pada studi perancangan pabrik dari gas alam disebutkan bahwa permintaan global metanol tumbuh secara positif; hal ini menunjukkan bahwa metanol memegang peranan penting dalam ekonomi kimia global. Di Indonesia, kebutuhan metanol domestik juga menunjukkan tren naik. Namun kapasitas produksi lokal hingga saat ini masih terbatas, sehingga sebagian besar kebutuhan terpenuhi melalui impor atau dari produksi satu fasilitas besar di dalam negeri. Hal ini menunjukkan adanya kesenjangan antara permintaan dan kemampuan produksi lokal membuka peluang strategis untuk mendirikan pabrik metanol baru (Dermawan, 2022).

Dari perspektif teknis dan ekonomi, desain pabrik metanol memerlukan analisis kelayakan yang matang termasuk analisis proses, kebutuhan bahan baku, utilitas, peralatan, serta estimasi produksi dan investasi. Studi “pra-desain” memberikan gambaran awal tentang bagaimana pabrik metanol dari gas alam dapat diimplementasikan, dengan mempertimbangkan aspek teknis dan kapasitas produksi yang optimal. Contohnya, sebuah desain pabrik metanol yang direncanakan di lokasi strategis dengan kapasitas besar menunjukkan bahwa skema ini layak untuk dijalankan terhadap latar kondisi pemenuhan kebutuhan kimia domestik.

Dengan demikian, menyusun pra-rancangan pabrik metanol menjadi hal langkah penting untuk merealisasikan potensi produksi metanol secara nasional memanfaatkan sumber daya alam domestik, mendukung ketahanan bahan baku industri, serta memperkuat basis industri petrokimia nasional di tengah meningkatnya kebutuhan bahan kimia dan peluang pasar global.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka rumusan masalah dalam pra-rancangan pabrik ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang proses pemanfaatan limbah gliserol dari produk samping industri biodiesel nasional menjadi produk bernilai tinggi berupa Metanol?
2. Bagaimana neraca massa dan neraca energi pada proses produksi Metanol dari gliserol dan Air?
3. Bagaimana perancangan peralatan utama dan unit utilitas untuk mendukung kelancaran proses produksi Metanol?
4. Apakah pendirian pabrik Metanol dengan bahan baku gliserol dan air layak secara teknis dan ekonomis untuk didirikan di Indonesia?

1.3 Tujuan Pra Rancangan Pabrik

Tujuan yang ingin dicapai dari pra-rancangan pabrik ini adalah sebagai berikut:

1. Merancang pabrik kimia yang mampu mengolah produk samping biodiesel (gliserol) menjadi Metanol menggunakan teknologi *Steam Reforming* dengan Air.
2. Menghitung kebutuhan bahan baku, neraca massa, dan neraca energi yang diperlukan dalam proses produksi.
3. Menentukan spesifikasi peralatan utama dan pendukung yang dibutuhkan untuk operasional pabrik.
4. Menganalisis kelayakan pendirian pabrik ditinjau dari aspek teknis dan analisis ekonomi (keuntungan, *Break Even Point*, *Pay Out Time*, dan *Rate of Return*).

1.4 Manfaat Pra Rancangan Pabrik

Manfaat yang diharapkan dari pra-rancangan pabrik ini adalah sebagai berikut:

1. Bagi Pemerintah dan Lingkungan, membantu mengatasi permasalahan limbah gliserol akibat peningkatan produksi biodiesel nasional.
2. Bagi Industri, meningkatkan nilai tambah (*value added*) komoditas turunan kelapa sawit di Indonesia serta menyediakan pasokan bahan metanol di Indonesia.
3. Bagi Perkembangan Ilmu Pengetahuan, memberikan referensi teknologi proses pembuatan Metanol menggunakan Air yang lebih aman dan efisien dibandingkan metode konvensional, serta sebagai aplikasi nyata ilmu teknik kimia dalam perancangan proses.

1.5 Batasan Masalah

Agar pembahasan dalam pra-rancangan pabrik ini lebih terarah, maka diberikan batasan masalah sebagai berikut:

1. Bahan baku utama yang digunakan adalah Gliserol (kualitas teknis/produk samping biodiesel) dan Air.
2. Produk utama yang dihasilkan adalah Metanol, dengan produk samping berupa Air.
3. Pra-rancangan ini mencakup uraian proses, perhitungan neraca massa dan energi, spesifikasi peralatan, utilitas, tata letak pabrik, manajemen pabrik, hingga analisis kelayakan ekonomi.
4. Pabrik direncanakan didirikan di kawasan industri Indonesia (lokasi spesifik dapat ditentukan kemudian) dengan kapasitas produksi yang ditetapkan berdasarkan analisis ketersediaan bahan baku dan kebutuhan pasar.

1.6 Ketersediaan Bahan Baku

Adapun bahan baku yang digunakan dalam pra rancangan pabrik Metanol dari Gliserol dan Air dengan proses *Glycerol Steam Reforming* (GSR) yaitu:

1.6.1 Gliserol

Gliserol merupakan produk samping utama dari industri biodiesel yang

dihasilkan melalui reaksi transesterifikasi, dengan jumlah sekitar $\pm 10\%$ dari total produksi biodiesel. Indonesia sebagai salah satu produsen biodiesel terbesar di dunia memiliki kapasitas produksi sekitar 15–17 juta ton per tahun, sehingga berpotensi menghasilkan sekitar $\pm 1,5$ juta ton gliserol per tahun. Jumlah ini menunjukkan bahwa ketersediaan gliserol di Indonesia sangat melimpah dan jauh melebihi kebutuhan bahan baku untuk pra-rancangan pabrik metanol dengan kapasitas 500.000 ton/tahun. Selain itu, peningkatan program mandatori biodiesel (B30 hingga B40) turut menjamin kontinuitas pasokan gliserol di masa mendatang.

Oleh karena itu, pemanfaatan gliserol sebagai bahan baku produksi metanol menjadi solusi yang tepat untuk meningkatkan nilai tambah sekaligus mengurangi limbah industri biodiesel. Ditinjau dari aspek ketersediaan, kontinuitas, dan nilai ekonomi, gliserol di Indonesia sangat layak digunakan sebagai bahan baku dalam produksi metanol pada pra-rancangan pabrik ini.

1.6.2 Air (H_2O)

Air merupakan bahan baku pendukung yang berperan penting dalam proses *glycerol steam reforming* sebagai sumber uap (steam) untuk menghasilkan hidrogen dalam pembentukan gas sintesis. Kebutuhan air dalam industri kimia umumnya cukup besar, namun di Indonesia ketersediaan air relatif melimpah karena didukung oleh sumber daya air permukaan seperti sungai, waduk, dan air tanah. Khususnya di wilayah Dumai, Riau, ketersediaan air dapat diperoleh dari sumber air industri seperti Sungai Siak serta fasilitas penyedia air kawasan industri yang mampu memenuhi kebutuhan proses secara kontinu.

Untuk memenuhi spesifikasi proses, air baku akan diolah terlebih dahulu pada unit utilitas melalui proses pengolahan seperti filtrasi, demineralisasi, dan deaerasi sebelum digunakan sebagai air umpan boiler atau steam. Dari aspek ketersediaan, kemudahan pengolahan, dan kontinuitas pasokan, air dapat dikategorikan sebagai bahan baku yang sangat mencukupi dan layak digunakan dalam mendukung proses produksi metanol pada pra-rancangan pabrik ini.

1.6.3 Katalis $CaO/HZSM-5$

$CaO/HZSM-5$ merupakan katalis heterogen berbasis logam yang banyak digunakan dalam proses industri kimia. Katalis ini tersusun dari tembaga sebagai

komponen aktif, seng oksida sebagai promotor, dan aluminium oksida sebagai penyangga. Kombinasi ketiga komponen tersebut memberikan luas permukaan yang tinggi, stabilitas termal yang baik, serta aktivitas katalitik yang efektif. Secara umum, CaO/HZSM-5 dikenal memiliki kinerja yang baik pada reaksi-reaksi hidrogenasi dan banyak diaplikasikan karena efisiensi, kestabilan, dan biaya yang relatif ekonomis.

1.7 Penentuan Kapasitas Pabrik dan Ekstrapolasi

Kapasitas pabrik merupakan faktor yang sangat penting dalam pendirian pabrik karena akan mempengaruhi perhitungan teknis dan ekonomi dalam prarancangan pabrik Metanol. Dalam menentukan kapasitas prarancangan pabrik Metanol perlu dipertimbangkan hal-hal sebagai berikut:

1.7.1 Ketersediaan Bahan Baku Produksi Metanol

Ketersediaan bahan baku merupakan salah satu faktor penting dalam menjamin keberlanjutan proses produksi metanol. Bahan baku utama yang digunakan dalam proses ini adalah gliserol dan air. Pemanfaatan gliserol dari industri kelapa sawit memberikan keuntungan tersendiri karena ketersediaannya relatif stabil dan berkelanjutan, seiring dengan tingginya produksi kelapa sawit di Indonesia. Selain itu, penggunaan gliserol dapat meningkatkan nilai tambah limbah industri kelapa sawit.

Dalam penentuan kapasitas perancangan pabrik metanol diperlukan beberapa pertimbangan yaitu dengan mempertimbangkan kapasitas produksi metanol yang telah berdiri dan kebutuhan metanol di Indonesia. Berikut merupakan data produsen Metanol di dunia yang ditunjukkan pada Tabel 1.1

Tabel 1.1 Data Produsen Metanol di Dunia

Nama Negara	Perusahaan	Kapasitas (Ton/Tahun)
China	PetroChina (CNPC)	4.100.000
Trinidad & Tobago	Methanol Holdings Limited	4.000.000
Amerika Serikat	Natgasoline	1.750.000
Iran	Zagros Petrochemical Company	3.300.000

Nama Negara	Perusahaan	Kapasitas (Ton/Tahun)
Indonesia	PT Kaltim Metanol & PT Pertamina IV Cilacap	1.320.000
Saudi Arabia	SABIC Methanol	3.000.000
TOTAL		17.470.000

(Sumber : [Methanol Manufacturers in 2026](#))

Berdasarkan data tersebut, total produksi Metanol di pasar global mencapai sekitar 17.470.000 ton per tahun. Jumlah ini menunjukkan bahwa ketersediaan metanol di pasar internasional sangat besar. Untuk mengurangi kebutuhan impor di dalam negeri maka didirikan pabrik metanol dari gliserol dan air untuk memenuhi kebutuhan metanol di Indonesia.

1.7.2 Kebutuhan Metanol di Indonesia

Berdasarkan data yang diperoleh hingga tahun 2025, di Indonesia hanya beberapa terdapat perusahaan yang memproduksi metanol. Produk metanol yang digunakan di dalam negeri umumnya masih diperoleh melalui impor, sehingga menunjukkan adanya peluang pengembangan industri metanol di Indonesia. Kondisi ini menjadi dasar pertimbangan dalam perencanaan pendirian pabrik metanol, terutama memanfaatkan ketersediaan bahan baku lokal. Data kebutuhan impor metanol Indonesia selama periode 2020 hingga 2024 disajikan pada Tabel 1.2.

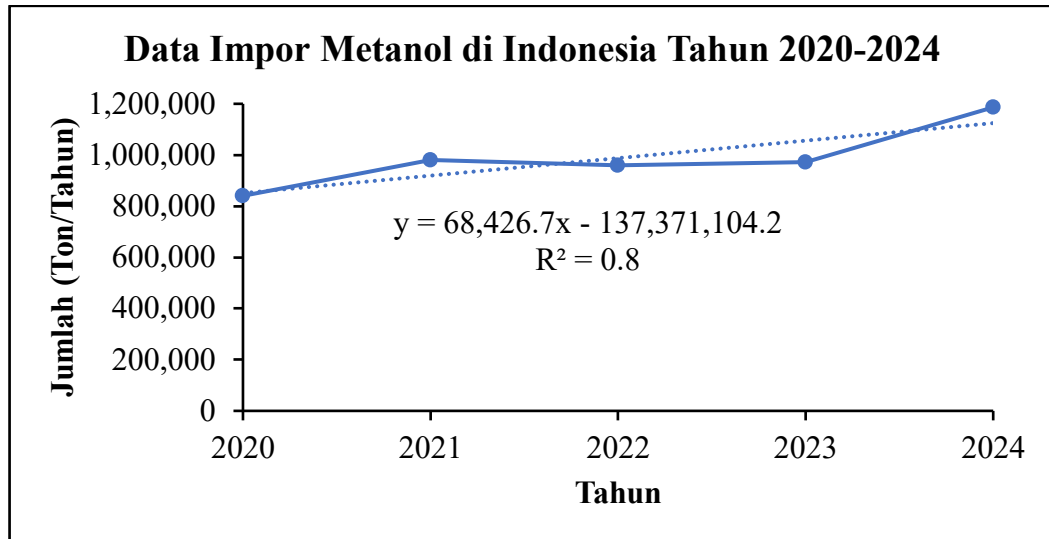
Tabel 1.2 Data Kebutuhan Impor Metanol di Indonesia

Tahun	Jumlah (Ton/Tahun)
2020	840.408
2021	979.980
2022	959.238
2023	984.163
2024	1.186.273

(Sumber: Badan Pusat Statistik. www.bps.go.id 2026)

Dari data tersebut dapat dilihat bahwa kapasitas impor metanol mengalami tren yang meningkat setiap tahunnya. Oleh karena itu, direncanakan dibangun pabrik metanol di Indonesia guna memenuhi kebutuhan dalam negeri serta

diharapkan Indonesia menjadi negara pengeksport metanol di Dunia. Dari data pada Tabel 1.2, dilakukan regresi linier dan dapat dilihat pada Gambar 1.1



Gambar 1.1 Grafik Kebutuhan Metanol di Indonesia

Dari kurva di atas didapatkan persamaan garis lurus $y = 68.426,7x - 137.371.104,2$ dengan x sebagai fungsi tahun dan nilai $R^2 = 0.8$. Maka dari persamaan tersebut dapat dihitung kebutuhan metanol dalam negeri pada tahun 2029 mendatang pada persamaan 1.1

$$y = 68.426,7x - 137.371.104,2 \quad \text{..... (1.1)}$$

$$y = 68.426,7 (2029) - 137.371.104,2$$

$$y = 1.466.670 \text{ Ton/Tahun}$$

Maka, impor metanol di Indonesia pada tahun 2029 meningkat sebesar 1.466.670 ton/tahun

Dengan menggunakan persamaan tersebut maka perkiraan kebutuhan impor metanol di Indonesia pada Tahun 2029 disajikan pada Tabel 1.3.

Tabel 1.3 Data Hasil Perhitungan Kebutuhan Metanol di Indonesia

Tahun	Jumlah (Ton/Tahun)
2025	1.192.296
2026	1.261.390
2027	1.329.816
2028	1.398.243
2029	1.466.670

Dapat dilihat pada Tabel 1.3 bahwa impor metanol di Indonesia menunjukkan peningkatan dari tahun ke tahun. Berdasarkan perhitungan menggunakan metode regresi linier, kebutuhan impor metanol pada tahun 2029 diperkirakan mencapai 1.466.670 ton. Maka dapat diketahui bahwa pra-rancangan pabrik ini memiliki peluang untuk mencukupi Metanol di Indonesia pada tahun 2029 mencapai 1.466.670 Ton. Kondisi ini menunjukkan adanya peluang yang signifikan bagi pengembangan industri metanol dalam negeri, sehingga pendirian pabrik metanol di Indonesia pada prarancangan ini dapat memenuhi kebutuhan domestik, mengurangi ketergantungan terhadap impor, serta mendukung industri kimia nasional.

1.7.3 Kebutuhan Metanol di Dunia

Metanol merupakan bahan kimia yang banyak digunakan sebagai bahan bakar primer, campuran pada bahan bakar utama (*gasoline*), pelarut, *Anti-freeze* pada sistem perpipaan, produksi MTBE, dan dapat juga dikonversi menjadi formaldehid yang nantinya dapat menghasilkan produk seperti plastik, *polywood*, cat, peledak, dan tekstil, dengan *press* permanen. Adapun negara-negara yang memiliki kebutuhan Metanol dapat dilihat pada Tabel 1.4

Tabel 1.4 Negara dengan Kebutuhan Metanol

No	Negara
1	Bulgaria
2	Afrika Selatan
3	Mesir
4	Ukraina
5	Angola
6	Latvia

(Sumber :UNdata, 2025)

Untuk mengetahui berapa besar Metanol yang dibutuhkan oleh tiap negara yang terdapat pada pencarian data kebutuhan impor Metanol di setiap Negara.

1. Kebutuhan Impor Metanol di Bulgaria

Analisis terhadap data impor Metanol di negara Bulgaria dilakukan untuk meninjau seberapa besar peluang pasar yang bisa dimanfaatkan. Hal ini penting

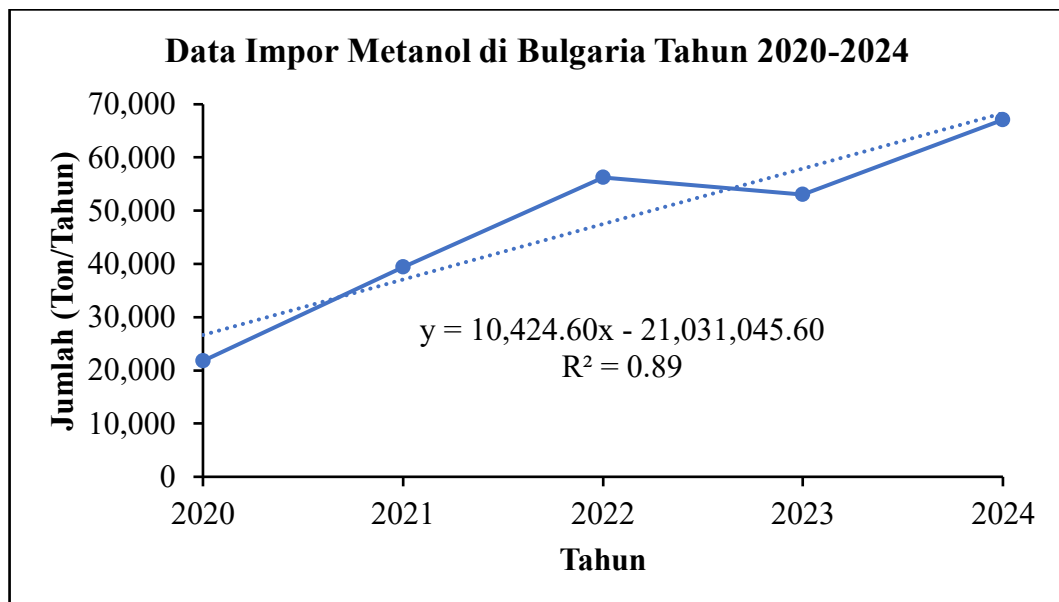
dalam menentukan kapasitas produksi pabrik yang akan dirancang, sehingga produk dari Indonesia pada pra-rancangan ini nantinya memiliki nilai ekspor yang tinggi. Data kebutuhan impor Bulgaria selama periode 2020 hingga 2024 dapat dilihat pada Tabel 1.5.

Tabel 1.5 Data Kebutuhan Impor Metanol di Bulgaria

Tahun	Jumlah (Ton/Tahun)
2020	21.774
2021	39.398
2022	56.203
2023	53.014
2024	67.089

(Sumber : UNdata, 2025)

Adapun kebutuhan Metanol di Bulgaria dapat dilihat pada Gambar 1.2 sebagai berikut.



Gambar 1.2 Grafik Kebutuhan Impor Metanol di Bulgaria

Dari kurva di atas didapatkan persamaan garis lurus $y = 10.424,60x - 21.031.045,60$ dengan x sebagai fungsi tahun dan nilai $R^2 = 0.89$. Maka dari persamaan tersebut dapat dihitung kebutuhan metanol di Bulgaria pada tahun 2029 mendatang pada persamaan 1.2.

$$y = 10.424,60x - 21.031.045,60 \quad \dots\dots\dots (1.2)$$

$$y = 10.424,60 (2029) - 21.031.045,60$$

$$y = 120.467 \text{ Ton/Tahun}$$

Maka, impor metanol di Bulgaria pada tahun 2029 meningkat sebesar 120.467 ton/tahun.

Dengan menggunakan persamaan tersebut maka perkiraan kebutuhan impor metanol di Bulgaria pada Tahun 2029 disajikan pada Tabel 1.6.

Tabel 1.6 Data Hasil Perhitungan Kebutuhan Metanol di Bulgaria

Tahun	Jumlah (Ton/Tahun)
2025	78.769
2026	89.194
2027	99.618
2028	110.043
2029	120.467

Dapat dilihat pada Tabel 1.6, impor Metanol di Bulgaria terus meningkat tiap tahunnya. Menggunakan metode regresi linier, kebutuhan impor pada tahun 2029 diperkirakan mencapai 120.467 ton. Peluang ekspor kemudian dihitung berdasarkan selisih antara proyeksi pada tahun 2029 dengan data impor tahun terakhir (2024) untuk melihat potensi pasar yang tersedia.

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

$$\text{Peluang ekspor} = 120.467 - 67.089$$

$$\text{Peluang ekspor} = 53.378 \text{ Ton}$$

Maka dapat diketahui bahwa pra-rancangan pabrik ini memiliki peluang mengekspor Metanol pada tahun 2029 yaitu mencapai 53.378 Ton ke negara Bulgaria.

2. Kebutuhan Impor Metanol di Afrika Selatan

Kebutuhan impor Metanol pada negara Afrika Selatan dilakukan pengambilan data untuk mengetahui peluang berapa besar Metanol yang akan meningkatkan nilai ekspor Metanol di Afrika Selatan pada Pra-rancangan pabrik

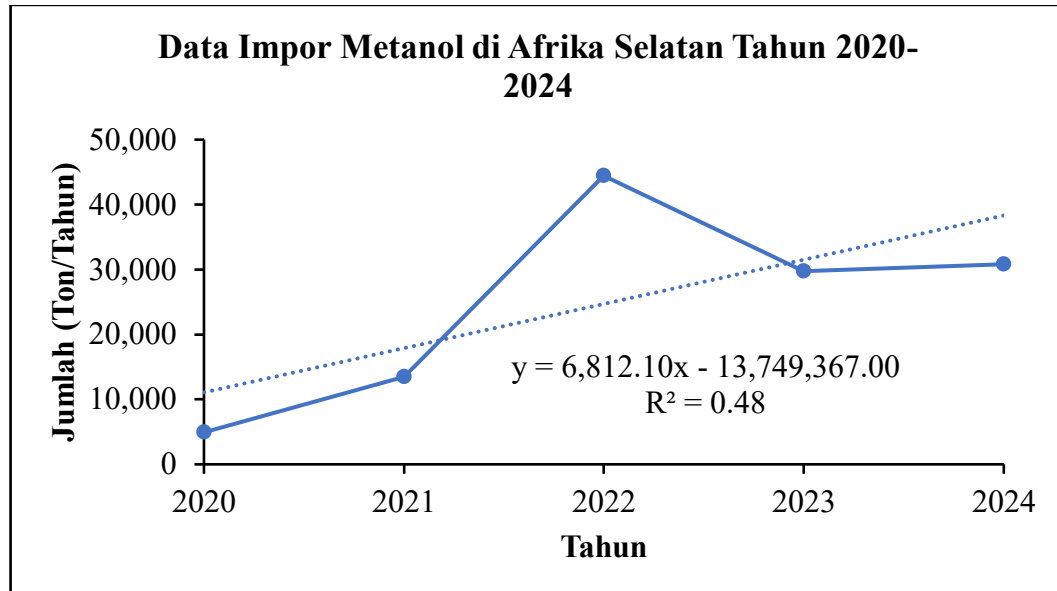
dengan kapasitas yang akan di tetapkan. Adapun kebutuhan Metanol pada negara Afrika Selatan didapat pada tahun 2020-2024 dapat dilihat pada Tabel 1.7.

Tabel 1.7 Data Kebutuhan Impor Metanol di Afrika Selatan

Tahun	Jumlah (Ton/Tahun)
2020	4.926
2021	13.505
2022	44.440
2023	29.772
2024	30.853

(Sumber : UNdata, 2025)

Data di atas menunjukkan kebutuhan impor Metanol di negara Afrika Selatan dari tahun 2020-2024 mengalami peningkatan signifikan tiap tahunnya. Untuk mengetahui kenaikan kebutuhan Metanol impor negara Afrika Selatan pada tahun 2029, dilakukan ekstrapolasi dari data kebutuhan impor pada tahun 2020-2024, kenaikan data impor Metanol dilihat pada persamaan grafik Gambar 1.3.



Gambar 1.3 Grafik Kebutuhan Impor Metanol di Afrika Selatan

Dari kurva di atas didapatkan persamaan garis lurus $y = 6.812,10x - 13.749.367$ dengan x sebagai fungsi tahun dan nilai $R^2 = 0.48$. Maka dari persamaan tersebut dapat dihitung kebutuhan metanol di Afrika Selatan pada tahun 2029 mendatang pada persamaan 1.3.

$$y = 6.812,10x - 13.749.367 \dots\dots\dots (1.3)$$

$$y = 6.812,10 (2029) - 13.749.367$$

$$y = 72.383 \text{ Ton/Tahun}$$

Maka, impor metanol di Afrika Selatan pada tahun 2029 meningkat sebesar 72.383 ton/tahun.

Dengan menggunakan persamaan tersebut maka perkiraan kebutuhan impor metanol di Afrika Selatan pada Tahun 2029 disajikan pada Tabel 1.8.

Tabel 1.8 Data Hasil Perhitungan Kebutuhan Metanol di Afrika Selatan

Tahun	Jumlah (Ton/Tahun)
2025	45.135
2026	51.947
2027	58.759
2028	65.571
2029	72.383

Dapat dilihat pada Tabel 1.8, impor Metanol di Afrika Selatan terus meningkat tiap tahunnya. Menggunakan metode regresi linier, kebutuhan impor pada tahun 2029 diperkirakan mencapai 72.383 ton. Peluang ekspor kemudian dihitung berdasarkan selisih antara proyeksi pada tahun 2029 dengan data impor tahun terakhir (2024) untuk melihat potensi pasar yang tersedia.

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

$$\text{Peluang ekspor} = 72.383 - 30.853$$

$$\text{Peluang ekspor} = 41.530 \text{ Ton}$$

Maka dapat diketahui bahwa pra-rancangan pabrik ini memiliki peluang mengekspor Metanol pada tahun 2029 yaitu mencapai 41.530 ton ke negara Afrika Selatan.

3. Kebutuhan Impor Metanol di Mesir

Kebutuhan impor Metanol pada negara Mesir dilakukan pengambilan data untuk mengetahui peluang berapa besar Metanol yang akan meningkatkan nilai ekspor Metanol di Indonesia pada Pra-rancangan pabrik dengan kapasitas yang

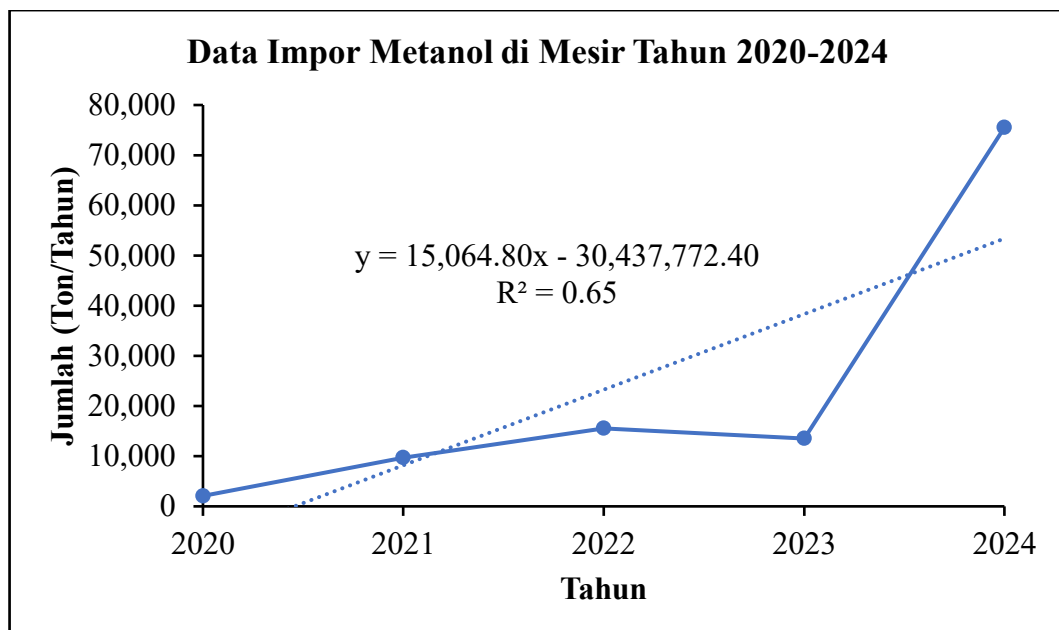
akan di tetapkan. Adapun kebutuhan Metanol pada negara Mesir didapat pada tahun 2020-2024 dapat dilihat pada Tabel 1.9.

Tabel 1.9 Data Kebutuhan Impor Metanol di Mesir

Tahun	Jumlah (Ton/Tahun)
2020	2.081
2021	9.681
2022	15.511
2023	13.495
2024	75.498

(Sumber : UNdata, 2025)

Data di atas menunjukkan kebutuhan impor Metanol di negara Mesir dari tahun 2020-2024 mengalami peningkatan signifikan tiap tahunnya. Untuk mengetahui kenaikan kebutuhan Metanol impor negara Mesir pada tahun 2029, maka dilakukan ekstrapolasi dari data kebutuhan impor pada tahun 2020-2024, kenaikan data impor Metanol dapat dilihat pada persamaan grafik Gambar 1.4.



Gambar 1.4 Grafik Kebutuhan Impor Metanol di Mesir

Dari kurva di atas didapatkan persamaan garis lurus $y = 15.064,80x - 30.437.772,40$ dengan x sebagai fungsi tahun dan nilai $R^2 = 0.65$. Maka dari

persamaan tersebut dapat dihitung kebutuhan metanol di Mesir pada tahun 2029 mendatang pada persamaan 1.4.

$$y = 15.064,80x - 30.437.772,40 \quad \dots\dots\dots (1.4)$$

$$y = 15.064,80 (2029) - 30.437.772,40$$

$$y = 128.706 \text{ Ton/Tahun}$$

Maka, impor metanol di Mesir pada tahun 2029 meningkat sebesar 128.706 ton/tahun.

Dengan menggunakan persamaan tersebut maka perkiraan kebutuhan impor metanol di Mesir pada Tahun 2029 disajikan pada Tabel 1.10.

Tabel 1.10 Data Hasil Perhitungan Kebutuhan Metanol di Mesir

Tahun	Jumlah (Ton/Tahun)
2025	68.447
2026	83.512
2027	98.577
2028	113.642
2029	128.706

Dapat dilihat pada Tabel 1.10, impor Metanol di Mesir terus meningkat tiap tahunnya. Menggunakan metode regresi linier, kebutuhan impor pada tahun 2029 diperkirakan mencapai 128.706 ton. Peluang ekspor kemudian dihitung berdasarkan selisih antara proyeksi pada tahun 2029 dengan data impor tahun terakhir (2024) untuk melihat potensi pasar yang tersedia.

$$\text{Peluang ekspor} = \text{Kebutuhan Impor pada tahun 2029} - \text{Kebutuhan data terakhir (2024)}$$

$$\text{Peluang ekspor} = 128.706 - 75.498$$

$$\text{Peluang ekspor} = 53.208 \text{ Ton}$$

Maka dapat diketahui bahwa pra-rancangan pabrik ini memiliki peluang mengekspor Metanol pada tahun 2029 yaitu mencapai 53.208 ton ke negara Mesir.

4. Kebutuhan Impor Metanol di Ukraina

Kebutuhan impor Metanol pada negara Ukraina dilakukan pengambilan data untuk mengetahui peluang berapa besar Metanol yang akan meningkatkan nilai

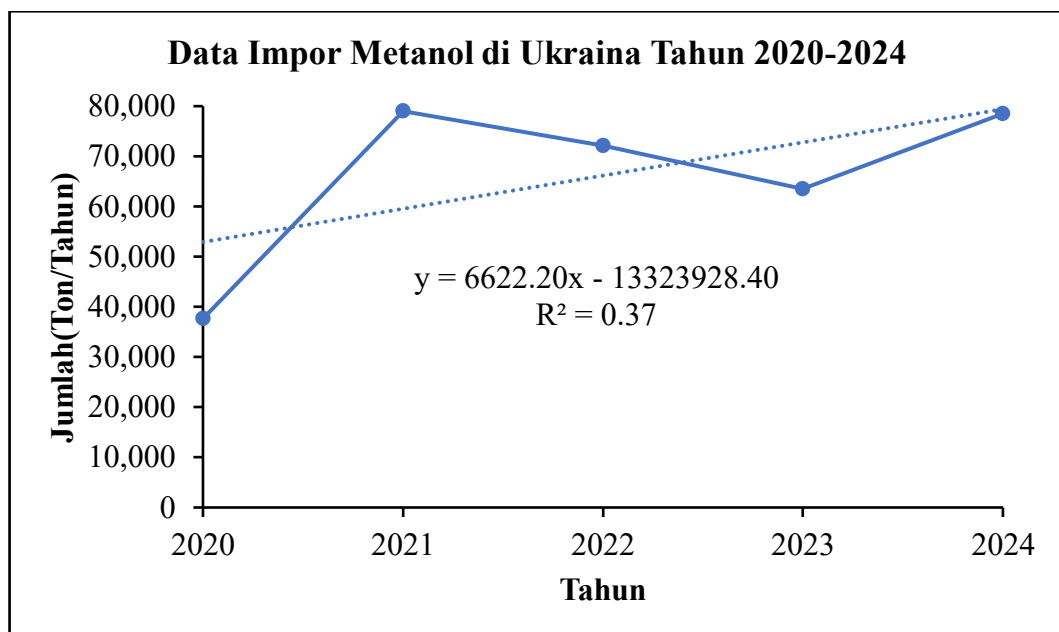
ekspor Metanol di Indonesia pada Pra-rancangan pabrik dengan kapasitas yang akan di tetapkan. Adapun kebutuhan Metanol pada negara Ukraina didapat pada tahun 2020-2024 dapat dilihat pada Tabel 1.11.

Tabel 1.11 Data Kebutuhan Impor Metanol di Ukraina

Tahun	Jumlah (Ton/Tahun)
2020	37.638
2021	78.993
2022	72.175
2023	63.497
2024	78.497

(Sumber : UNdata, 2025)

Data di atas menunjukkan kebutuhan impor Metanol di negara Ukraina dari tahun 2020-2024 mengalami peningkatan signifikan tiap tahunnya. Untuk mengetahui kenaikan kebutuhan Metanol impor negara Ukraina pada tahun 2029, maka dilakukan ekstrapolasi dari data kebutuhan impor pada tahun 2020-2024, kenaikan data impor Metanol dapat dilihat pada persamaan grafik Gambar 1.5.



Gambar 1.5 Grafik Kebutuhan Impor Metanol di Ukraina

Dari kurva di atas didapatkan persamaan garis lurus $y = 6.622,20x + 13.323.928,40$ dengan x sebagai fungsi tahun dan nilai $R^2 = 0.37$. Maka dari persamaan tersebut dapat dihitung kebutuhan metanol di Ukraina pada tahun 2029 mendatang pada persamaan 1.5.

$$y = 6.622,20x + 13.323.928,40 \quad \dots\dots\dots (1.5)$$

$$y = 6.622,20 (2029) + 13.323.928,40$$

$$y = 112.515 \text{ Ton/Tahun}$$

Maka, impor metanol di Ukraina pada tahun 2029 meningkat sebesar 112.515 ton/tahun.

Dengan menggunakan persamaan tersebut maka perkiraan kebutuhan impor metanol di Ukraina pada Tahun 2029 disajikan pada Tabel 1.12

Tabel 1.12 Data Hasil Perhitungan Kebutuhan Metanol di Ukraina

Tahun	Jumlah (Ton/Tahun)
2025	86.026
2026	92.648
2027	99.271
2028	105.893
2029	112.515

Dapat dilihat pada Tabel 1.12, impor Metanol di Ukraina terus meningkat tiap tahunnya. Menggunakan metode regresi linier, kebutuhan impor pada tahun 2029 diperkirakan mencapai 112.515 ton. Peluang ekspor kemudian dihitung berdasarkan selisih antara proyeksi pada tahun 2029 dengan data impor tahun terakhir (2024) untuk melihat potensi pasar yang tersedia.

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

$$\text{Peluang ekspor} = 112.515 - 78.497$$

$$\text{Peluang ekspor} = 34.018 \text{ Ton}$$

Maka dapat diketahui bahwa pra-rancangan pabrik ini memiliki peluang mengekspor Metanol pada tahun 2029 yaitu mencapai 34.018 ton ke negara Ukraina.

5. Kebutuhan Impor Metanol di Angola

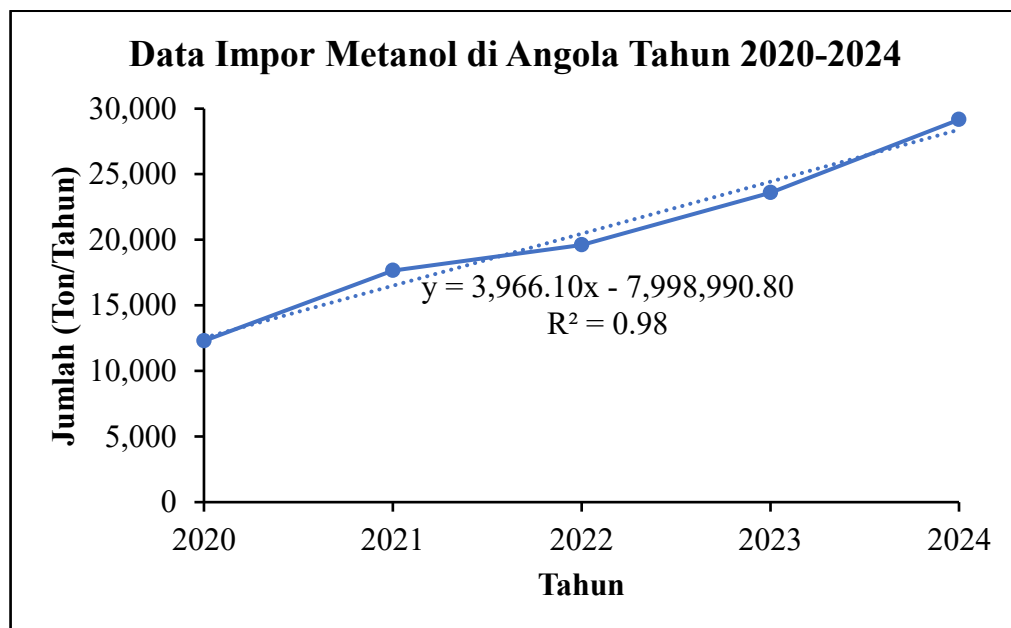
Kebutuhan impor Metanol pada negara Angola dilakukan pengambilan data untuk mengetahui peluang berapa besar Metanol yang akan meningkatkan nilai ekspor Metanol di Indonesia pada Pra-rancangan pabrik dengan kapasitas yang akan di tetapkan. Adapun kebutuhan Metanol pada negara Angola didapat pada tahun 2020-2024 dapat dilihat pada Tabel 1.13.

Tabel 1.13 Data Kebutuhan Impor Metanol di Angola

Tahun	Jumlah (Ton/Tahun)
2020	12.294
2021	17.667
2022	19.602
2023	23.592
2024	29.162

(Sumber : UNdata, 2025)

Data di atas menunjukkan kebutuhan impor Metanol di negara Angola dari tahun 2020-2024 terus mengalami peningkatan tiap tahunnya. Untuk mengetahui kenaikan kebutuhan Metanol impor negara Angola pada tahun 2029, maka dilakukan ekstrapolasi dari data kebutuhan impor pada tahun 2020-2024, kenaikan data impor Metanol dapat dilihat pada persamaan grafik Gambar 1.6.



Gambar 1.6 Grafik Kebutuhan Impor Metanol di Angola

Dari kurva di atas didapatkan persamaan garis lurus $y = 3.966,10x - 7.998.990,80$ dengan x sebagai fungsi tahun dan nilai $R^2 = 0.98$. Maka dari persamaan tersebut dapat dihitung kebutuhan metanol di Angola pada tahun 2029 mendatang pada persamaan 1.6.

$$y = 3.966,10x - 7.998.990,80 \quad \dots\dots\dots (1.6)$$

$$y = 3.966,10 (2029) - 7.998.990,80$$

$$y = 48.226 \text{ Ton/Tahun}$$

Maka, impor metanol di Angola pada tahun 2029 meningkat sebesar 48.226 ton/tahun.

Dengan menggunakan persamaan tersebut maka perkiraan kebutuhan impor metanol di Angola pada Tahun 2029 disajikan pada Tabel 1.14.

Tabel 1.14 Data Hasil Perhitungan Kebutuhan Metanol di Angola

Tahun	Jumlah (Ton/Tahun)
2025	32.361
2026	36.327
2027	40.293
2028	44.260
2029	48.226

Dapat dilihat pada Tabel 1.14, impor Metanol di Angola terus meningkat tiap tahunnya. Menggunakan metode regresi linier, kebutuhan impor pada tahun 2029 diperkirakan mencapai 48.226 ton. Peluang ekspor kemudian dihitung berdasarkan selisih antara proyeksi pada tahun 2029 dengan data impor tahun terakhir (2024) untuk melihat potensi pasar yang tersedia.

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

$$\text{Peluang ekspor} = 48.226 - 29.162$$

$$\text{Peluang ekspor} = 19.064 \text{ Ton}$$

Maka dapat diketahui bahwa pra-rancangan pabrik ini memiliki peluang untuk mengekspor Metanol pada tahun 2029 yaitu mencapai 19.064 ton ke negara Angola.

6. Kebutuhan Impor Metanol di Latvia

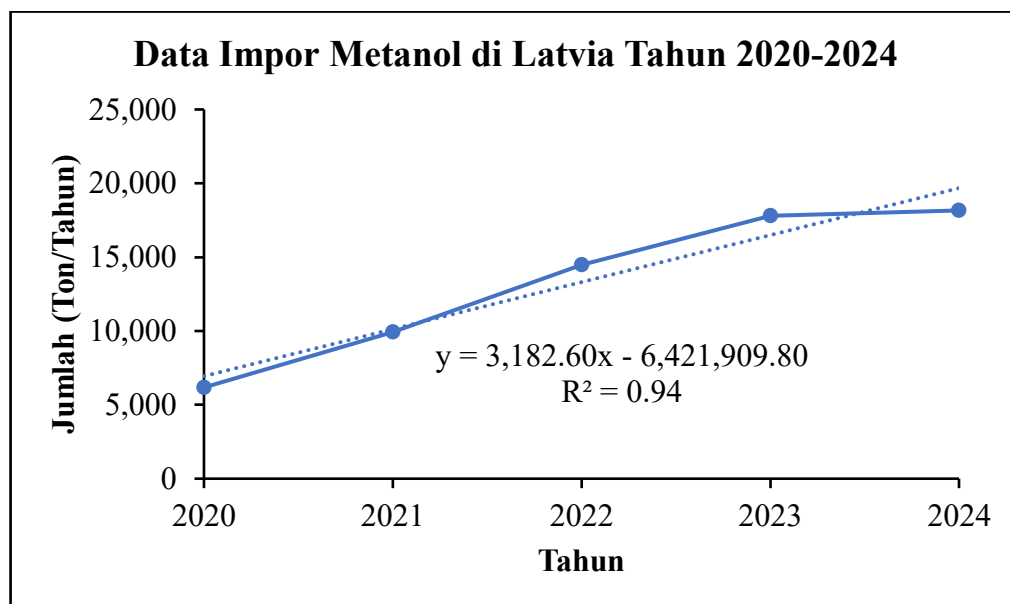
Kebutuhan impor Metanol pada negara Latvia dilakukan pengambilan data untuk mengetahui peluang berapa besar Metanol yang akan meningkatkan nilai ekspor Metanol di Indonesia pada Pra-rancangan pabrik dengan kapasitas yang akan di tetapkan. Adapun kebutuhan Metanol pada negara Latvia didapat pada tahun 2020-2024 dapat dilihat pada Tabel 1.15.

Tabel 1.15 Data Kebutuhan Impor Metanol di Latvia

Tahun	Jumlah (Ton/Tahun)
2020	6.177
2021	9.941
2022	14.462
2023	17.793
2024	18.164

(Sumber : UNdata, 2025)

Data di atas menunjukkan kebutuhan impor Metanol di negara Latvia dari tahun 2020-2024 terus mengalami peningkatan tiap tahunnya. Untuk mengetahui kenaikan kebutuhan Metanol impor negara Latvia pada tahun 2029, maka dilakukan ekstrapolasi dari data kebutuhan impor pada tahun 2020-2024, kenaikan data impor Metanol dapat dilihat pada persamaan grafik Gambar 1.7.



Gambar 1.7 Grafik Kebutuhan Impor Metanol di Latvia

Dari kurva di atas didapatkan persamaan garis lurus $y = 3.182,60x - 6.421.909,80$ dengan x sebagai fungsi tahun dan nilai $R^2 = 0.94$. Maka dari persamaan tersebut dapat dihitung kebutuhan metanol di Latvia pada tahun 2029 mendatang pada persamaan 1.7.

$$y = 3.182,60x - 6.421.909,80 \quad \dots\dots\dots (1.7)$$

$$y = 3.182,60 (2029) - 6.421.909,80$$

$$y = 35.585 \text{ Ton/Tahun}$$

Impor metanol di Latvia tahun 2029 meningkat sebesar 35.585 ton/tahun.

Dengan menggunakan persamaan tersebut maka perkiraan kebutuhan impor metanol di Latvia pada Tahun 2029 disajikan pada Tabel 1.16.

Tabel 1.16 Data Hasil Perhitungan Kebutuhan Metanol di Latvia

Tahun	Jumlah (Ton/Tahun)
2025	22.855
2026	26.037
2027	29.220
2028	32.403
2029	35.585

Dapat dilihat pada Tabel 1.16, impor Metanol di Latvia terus meningkat tiap tahunnya. Menggunakan metode regresi linier, kebutuhan impor pada tahun 2029 diperkirakan mencapai 35.585 ton. Peluang ekspor kemudian dihitung berdasarkan selisih antara proyeksi pada tahun 2029 dengan data impor tahun terakhir (2024) untuk melihat potensi pasar yang tersedia.

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

$$\text{Peluang ekspor} = 35.585 - 18.164$$

$$\text{Peluang ekspor} = 17.421 \text{ Ton}$$

Maka dapat diketahui bahwa pra-rancangan pabrik ini memiliki peluang besar mengekspor Metanol pada tahun 2029 mencapai 17.421 ton ke negara Latvia.

Target pasar dari pra-rancangan pabrik ini mencakup pemenuhan kebutuhan metanol di dalam negeri serta pasar luar negeri (ekspor). Saat ini, kebutuhan

metanol di pasar internasional masih dipenuhi oleh pabrik-pabrik produksi metanol yang beroperasi di luar negeri.

Berdasarkan analisis kebutuhan impor dari negara-negara tujuan ekspor serta kebutuhan dalam negeri, dilakukan estimasi peluang produksi metanol untuk memenuhi permintaan tersebut. Hasil perhitungan disajikan pada Tabel 1.17 sebagai berikut

Tabel 1.17 Perencanaan Kebutuhan dan Peluang Produksi Metanol

No	Negara	Peluang Produksi	Jumlah Kebutuhan	% Kebutuhan
1	Bulgaria	53.378	54.000	10,8%
2	Afrika Selatan	41.530	42.000	8,4%
3	Mesir	53.208	53.000	10,6%
4	Ukraina	34.018	34.000	6,8%
5	Angola	19.064	19.000	3,8%
6	Latvia	17.421	18.000	3,6%
7	Indonesia	280.397	280.000	56%
Jumlah			500.000	100%

Berdasarkan perhitungan kebutuhan metanol di dalam negeri dan luar negeri yang ditunjukkan pada tabel di atas, serta dengan mempertimbangkan ketersediaan bahan baku dan kondisi pabrik metanol yang sudah ada, maka kapasitas prarancangan pabrik ditetapkan sebesar 500.000 ton per tahun. Kapasitas ini direncanakan untuk memenuhi kebutuhan metanol dalam negeri sekaligus melayani pasar ekspor. Saat ini, jumlah pabrik metanol di dunia relatif banyak, sehingga pemenuhan kebutuhan pasar luar negeri dalam prarancangan ini disesuaikan dengan peluang distribusi yang tersedia. Selain itu, penentuan kapasitas pabrik ini didasarkan pada kapasitas pabrik-pabrik yang sudah beroperasi maupun yang sedang dalam tahap pembangunan di berbagai negara seluruh penjuru dunia, juga kebutuhan pasar akan produk Metanol yang setiap tahunnya akan semakin meningkat.

1.8 Seleksi Pemilihan Proses

Pada dasarnya, proses pembuatan Metanol yang beragam memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing. Proses pembentukan Metanol diklasifikasikan berdasarkan bahan bakunya, yang terdiri dari tiga proses, yaitu, proses *Glycerol Steam Reforming*, proses *Supercritical Water Reforming* dan proses *Autothermal Reforming*. Penjelasan ketiga proses tersebut akan ditunjukkan sebagai berikut.

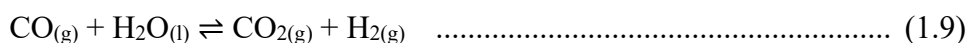
1.8.1 *Glycerol Steam Reforming*

Proses produksi metanol dari *crude glycerol* diawali dengan tahap persiapan bahan baku yang berasal dari produk samping industri biodiesel. *Crude glycerol* yang digunakan masih mengandung air dan sejumlah kecil pengotor seperti metanol sisa dan senyawa-senyawa organik lainnya. Bahan baku gliserol dicampurkan dengan air pada rasio *steam-to-glycerol* (SGR), kemudian dipanaskan sehingga mencapai kondisi reaksi. Air terlebih dahulu diuapkan, sehingga campuran yang masuk ke reaktor berada dalam fase gas. Rasio uap yang tinggi dipilih dengan tujuan meningkatkan perolehan hidrogen dan menekan kemungkinan pembentukan karbon pada permukaan katalis (KgWedi, 2023).

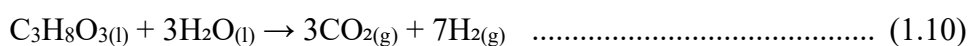
Campuran gliserol dan uap air selanjutnya dialirkan ke reaktor *steam reforming* yang beroperasi pada suhu sekitar 650°C dan tekanan 1 bar. Di dalam reaktor ini terjadi reaksi dekomposisi gliserol yang menghasilkan karbon monoksida dan hidrogen sebagai produk awal, yang secara sederhana dapat dinyatakan sebagai:



Karbon monoksida yang terbentuk kemudian bereaksi lebih lanjut dengan uap air melalui reaksi *water-gas shift*:



Apabila kedua reaksi tersebut digabungkan, maka reaksi keseluruhan *steam reforming* gliserol dapat dituliskan sebagai:

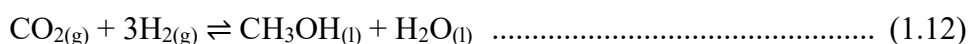
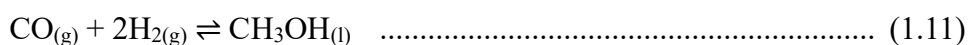


Reaksi berlangsung mendekati kondisi kesetimbangan termodinamika dengan konversi gliserol yang tinggi. Produk keluar reaktor berupa campuran gas

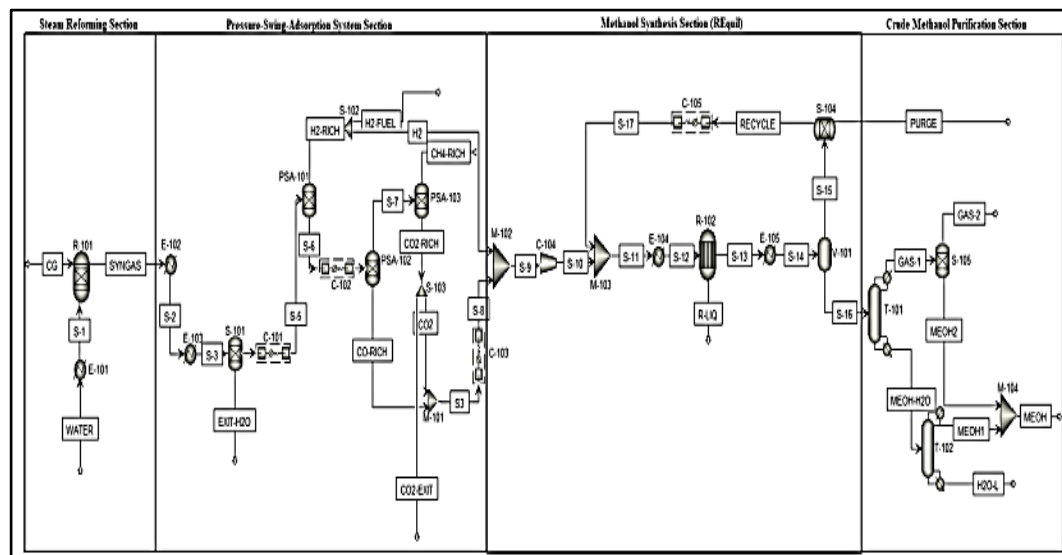
sintesis (*syngas*) yang terdiri dari H₂ sebagai komponen utama, serta CO, CO₂, CH₄ dalam jumlah kecil, dan uap air berlebih. Namun demikian, komposisi *syngas* yang dihasilkan belum memenuhi rasio stoikiometri yang dibutuhkan untuk sintesis metanol, karena nilai *stoichiometric number* (SN) masih di bawah 2 (KgWedi, 2023).

Gas hasil *reforming* kemudian didinginkan melalui rangkaian penukar panas untuk menurunkan suhu dan mengkondensasikan uap air. Air yang terkondensasi dipisahkan, sedangkan gas kering selanjutnya dikompresi dan dialirkan ke unit pemurnian *Pressure Swing Adsorption* (PSA). Sistem PSA digunakan untuk memisahkan komponen-komponen tertentu sehingga rasio H₂, CO, dan CO₂ dapat disesuaikan. Hidrogen dengan kemurnian tinggi dipisahkan pada tahap awal, kemudian dilakukan pemisahan lanjutan terhadap CO dan CO₂. Melalui pengaturan aliran hasil pemisahan dan pencampuran kembali fraksi yang diperlukan, diperoleh komposisi *syngas* dengan nilai SN mendekati 2, yang merupakan kondisi optimal untuk pembentukan metanol (KgWedi, 2023).

Syngas yang telah dikondisikan kemudian dikompresi hingga tekanan sekitar 80 bar dan dipanaskan hingga suhu 250°C sebelum memasuki reaktor sintesis metanol. Pada tahap ini berlangsung reaksi hidrogenasi karbon monoksida dan karbon dioksida secara simultan, yaitu:



Tahap akhir proses adalah pemurnian metanol kasar melalui sistem distilasi. Kolom pertama berfungsi menghilangkan komponen ringan yang masih terlarut, sedangkan kolom berikutnya memisahkan metanol dari air sehingga diperoleh produk metanol dengan kemurnian sesuai spesifikasi. Dengan konfigurasi proses tersebut, pembentukan metanol terjadi melalui tahapan berurutan yang dimulai dari *steam reforming* gliserol menjadi *syngas*, penyesuaian komposisi gas hingga mencapai rasio stoikiometri yang sesuai, kemudian sintesis metanol melalui reaksi hidrogenasi pada tekanan tinggi, dan diakhiri dengan tahap pemisahan dan pemurnian produk (KgWedi, 2023). Diagram alir proses dapat dilihat pada Gambar



Gambar 1.8 Diagram Alir Proses *Glycerol Steam Reforming* (KgWedi, 2023)

Analisis ekonomi awal dilakukan untuk mengetahui potensi keuntungan kotor (*Gross Profit Margin*) dari proses produksi Metanol melalui proses *Glycerol Steam Reforming*. Perhitungan ini didasarkan pada stoikiometri reaksi ideal untuk memproduksi produk Metanol dengan asumsi konversi sempurna pada perhitungan neraca massa teoritis. Hasil perhitungan akan ditampilkan pada Tabel 1.18 sebagai berikut

Tabel 1.18 Analisa Ekonomi Awal Proses *Glycerol Steam Reforming*

Parameter	Bahan Utama		Produk
	Gliserol	Air (<i>Steam</i>)	Metanol
Berat Molekul (g/mol)	92	18	32
Harga per kg	Rp 5.181	Rp 0	Rp 18.180
Kebutuhan	1 mol $\times$ 92 g/mol = 92 gr = 0,092 kg	1 mol $\times$ 18 g/mol = 18 gr = 0,018 kg	1 mol $\times$ 32 g/mol = 32 gr = 0,032 kg
Harga Total	0,092 kg $\times$ Rp 5.181 = Rp 476,652	0,018 kg $\times$ Rp 0 = Rp 0	0,032 kg $\times$ Rp 18.180 = Rp 581,76
Analisa Ekonomi Awal	(Harga Produk) – (Harga Total Bahan Baku Utama + Bahan Baku Pendukung) = (Rp 581,76) – (476,652 + Rp 0) = Rp 105,108		

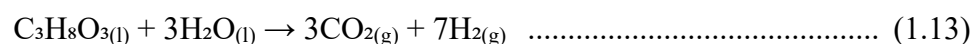
Berdasarkan hasil analisa ekonomi awal pada Tabel 1.15, maka persentase keuntungan diperoleh berikut:

$$\begin{aligned}\% \text{ Keuntungan} &= \frac{\text{Keuntungan}}{\text{Harga Bahan Baku}} \times 100\% \\ &= \frac{\text{Rp } 105,108}{(\text{Rp } 476,652 + \text{Rp } 0)} \times 100\% \\ &= 22\%\end{aligned}$$

Maka persentase keuntungan produksi metanol yang didapat dari proses *Glycerol Steam Reforming* yaitu sebesar 22%.

1.8.2 *Supercritical Water Reforming*

Proses produksi metanol dimulai dari tahap pembentukan gas sintesis (*syngas*) melalui *supercritical water reforming gliserol*. Umpan berupa gliserol cair dicampur dengan air pada rasio tertentu, kemudian dipompa hingga tekanan tinggi sekitar 240 atm agar berada di atas tekanan kritis air. Campuran ini selanjutnya dipanaskan menggunakan penukar panas dengan memanfaatkan panas dari aliran keluar proses, sehingga kebutuhan energi eksternal dapat dikurangi. Setelah mencapai temperatur *reforming* (sekitar 700–1000°C, kondisi optimum 1000°C), campuran masuk ke reaktor *reforming*. Pada tahap ini gliserol terurai dan bereaksi dengan uap air membentuk H₂, CO, dan CO₂. Reaksi keseluruhan *reforming* dapat dituliskan sebagai:

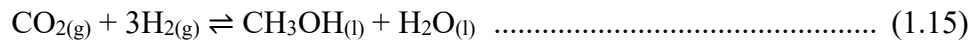
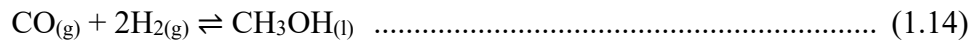


Gas hasil *reforming* keluar pada temperatur dan tekanan tinggi, kemudian diekspansikan melalui turbin untuk menurunkan tekanan menjadi sekitar 30 atm sekaligus menghasilkan energi. Setelah ekspansi, aliran didinginkan hingga sekitar 35°C sehingga air terkondensasi dan dipisahkan dalam separator. Pada tahap ini diperoleh *syngas* kering yang mengandung H₂, CO, CO₂ (Ortiz, 2013).

Tahap berikutnya kondisioning *syngas* menggunakan sistem PSA (*Pressure Swing Adsorption*) yang terdiri dari tiga unit. PSA pertama memisahkan hidrogen sebagai aliran kaya H₂ dengan kemurnian tinggi. Gas sisa dari unit ini kemudian diproses di PSA kedua untuk memisahkan CO sebagai fraksi teradsorpsi.

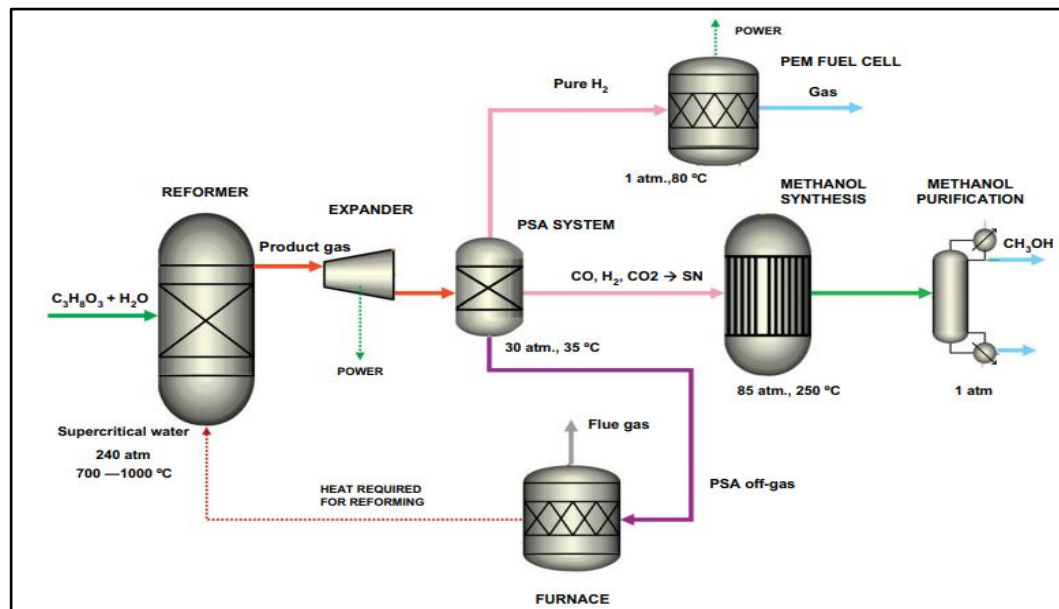
Selanjutnya PSA ketiga menghasilkan aliran kaya CO₂ (untuk *sequestration*) serta memisahkan CH₄ sebagai gas bahan bakar (Ortiz, 2013)

Setelah komposisi sesuai, aliran gas dikompresi hingga sekitar 85 atm dan dipanaskan sampai 250 °C sebelum masuk ke reaktor sintesis metanol pada kondisi 250°C dan 85 atm. Di dalam reaktor terjadi tiga reaksi utama yang berlangsung secara simultan dan reversibel:



Reaksi pertama dan kedua menghasilkan metanol. Karena reaksi dibatasi oleh kesetimbangan, tidak semua gas bereaksi dalam satu kali lewat (per *pass conversion* terbatas). Oleh karena itu, aliran keluar reaktor didinginkan hingga sekitar 30°C agar metanol dan air terkondensasi. Fase cair dipisahkan dalam separator sebagai produk metanol mentah, sedangkan gas yang tidak bereaksi *directcycle* kembali ke reaktor menggunakan kompresor (Ortiz, 2013).

Metanol mentah yang diperoleh masih mengandung air sehingga perlu dimurnikan menggunakan kolom distilasi pada tekanan mendekati atmosfer. Dalam kolom ini, metanol diambil sebagai produk atas dengan kemurnian tinggi, dan air keluar sebagai produk bawah (*bottoms*) (Ortiz, 2013). Diagram Alir Proses dapat dilihat pada Gambar 1.9



Gambar 1.9 Diagram Alir Proses *Supercritical Water Reforming* (Ortiz, 2013)

Analisis ekonomi awal dilakukan untuk mengetahui potensi keuntungan kotor (*Gross Profit Margin*) dari proses produksi Metanol melalui proses *Supercritical Water Reforming*. Perhitungan ini didasarkan pada stoikiometri reaksi ideal untuk memproduksi produk Metanol dengan asumsi konversi sempurna pada perhitungan neraca massa teoritis. Hasil perhitungan ditampilkan pada Tabel 1.19

Tabel 1.19 Analisa Ekonomi Awal Proses *Supercritical Water Reforming*

Parameter	Bahan Utama		Produk
	Gliserol	Air (<i>Steam</i>)	Metanol
Berat Molekul (g/mol)	92	18	Rp 32
Harga per kg	Rp 5.181	Rp 0	Rp 18.180
Kebutuhan	1 mol $\times$ 92 g/mol = 92 gr = 0,092 kg	1 mol $\times$ 18 g/mol = 18 gr = 0,018 kg	1 mol $\times$ 32 g/mol = 32 gr = 0,032 kg
Harga Total	0,092 kg $\times$ Rp 5.181 = Rp 476,652	0,018 kg $\times$ Rp 0 = Rp 0	0,032 kg $\times$ Rp 18.180 = Rp 581,76
Analisa Ekonomi Awal	(Harga Produk) – (Harga Total Bahan Baku Utama + Bahan Baku Pendukung) = (Rp 581,76) – (476,652 + Rp 0) = Rp 105,108		

Berdasarkan hasil analisa ekonomi awal pada Tabel 1.16, maka persentase keuntungan diperoleh berikut:

$$\begin{aligned}
 \% \text{ Keuntungan} &= \frac{\text{Keuntungan}}{\text{Harga Bahan Baku}} \times 100\% \\
 &= \frac{\text{Rp } 105,108}{(\text{Rp } 476,652 + \text{Rp } 0)} \times 100\% \\
 &= 22\%
 \end{aligned}$$

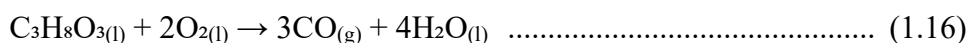
Maka persentase keuntungan produksi metanol yang didapat dari proses *Supercritical Water Reforming* yaitu sebesar 22%.

1.8.3 Autothermal Reforming

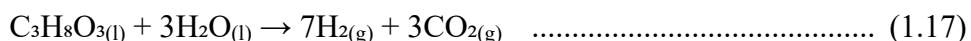
Proses *autothermal reforming* (ATR) gliserol diawali dengan tahap persiapan umpan, yaitu campuran gliserol dan air (*steam*) yang dipompa menuju sistem menggunakan pompa cair bertekanan. Pada saat yang sama, aliran udara

sebagai sumber oksigen serta nitrogen sebagai gas pembawa dialirkan melalui *mass flow controller*. Campuran gliserol–air kemudian diatomisasi menjadi butiran halus menggunakan *nozzle* agar proses pencampuran dan penguapan berlangsung lebih efektif. Umpan cair yang telah terdispersi halus ini masuk ke zona pemanas awal (*preheating zone*) pada suhu sekitar 300°C sehingga air dan gliserol menguap sebelum memasuki reaktor utama. Tahap ini penting untuk memastikan bahwa reaksi berlangsung dalam fase gas dan distribusi reaktan merata di permukaan katalis.

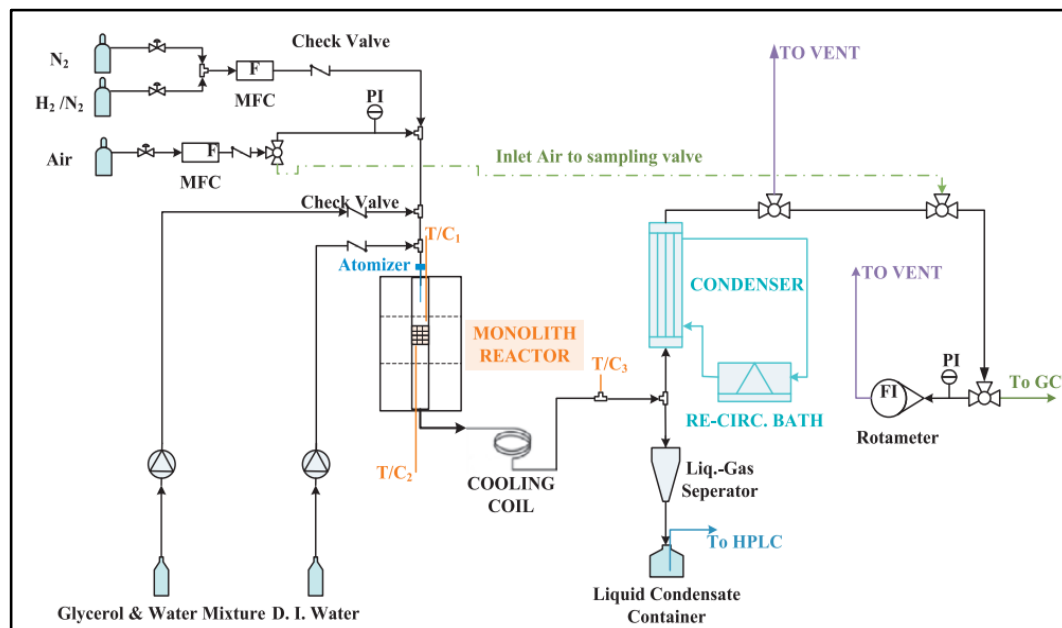
Setelah proses penguapan, campuran uap gliserol, uap air, dan oksigen memasuki reaktor monolitik yang dilapisi katalis dua lapis (*dual layer monolith catalyst*). Lapisan pertama berfungsi sebagai katalis oksidasi parsial, sedangkan lapisan kedua berperan dalam reaksi *steam reforming*. Pada bagian awal reaktor terjadi reaksi oksidasi parsial yang bersifat eksotermis. Reaksi ini menghasilkan panas yang selanjutnya dimanfaatkan untuk mendukung reaksi *reforming* yang bersifat endotermis. Reaksi oksidasi parsial gliserol dapat dituliskan sebagai berikut



Panas yang dihasilkan dari reaksi ini menjaga sistem tetap *autothermal*, artinya tidak diperlukan suplai panas eksternal yang besar setelah reaksi berjalan stabil. Selanjutnya, gliserol yang belum teroksidasi bereaksi dengan uap air melalui reaksi *steam reforming* yang bersifat endotermis untuk menghasilkan hidrogen dan karbon dioksida. Reaksi utamanya adalah:



Gas hasil reaksi kemudian keluar dari reaktor dan dialirkan ke sistem analisis gas untuk menentukan komposisi H_2 , CO , CO_2 , CH_4 , N_2 , dan sisa O_2 . Secara keseluruhan, alur proses menunjukkan integrasi reaksi oksidasi parsial dan *steam reforming* dalam satu reaktor monolit, sehingga panas dari reaksi eksotermis langsung dimanfaatkan untuk menggerakkan reaksi endotermis. Proses ini menghasilkan gas sintesis yang komposisinya dapat diatur melalui pengaturan suhu, rasio uap terhadap karbon, dan rasio oksigen terhadap karbon, sehingga sesuai untuk tahap lanjutan seperti produksi metanol.



Gambar 1.10 Diagram Alir Proses *Autothermal Reforming* (Liu, 2013)

Analisis ekonomi awal dilakukan untuk mengetahui potensi keuntungan kotor (*Gross Profit Margin*) dari proses produksi Metanol melalui proses *Autothermal Reforming*. Perhitungan ini didasarkan pada stoikiometri reaksi ideal untuk memproduksi produk Metanol dengan asumsi konversi sempurna pada perhitungan neraca massa teoritis. Hasil perhitungan ditampilkan pada Tabel 1.20

Tabel 1.20 Analisa Ekonomi Awal Proses *Autothermal Reforming*

Parameter	Bahan Utama		Bahan Baku Pendukung	Produk
	Gliserol	Udara	Air (<i>Steam</i>)	Metanol
Berat Molekul (g/mol)	92	32	18	32
Harga per kg	Rp 5.181	Rp 0	Rp 0	Rp 18.180
Kebutuhan	1 mol $\times$ 92 g/mol = 92 gr = 0,092 kg	2 mol $\times$ 32 g/mol = 64 gr = 0,064 kg	3 mol $\times$ 18 g/mol = 54 gr = 0,054 kg	1 mol $\times$ 32 g/mol = 32 gr = 0,032 kg
Harga Total	0,092 kg $\times$ Rp 5.181 = Rp 476,652	0,064 kg $\times$ Rp 0 = Rp 0	0,054 kg $\times$ Rp 0 = Rp 0	0,032 kg $\times$ Rp 18.180 = Rp 581,76
Analisa Ekonomi Awal	(Harga Produk) – (Harga Total Bahan Baku Utama + Bahan Baku Pendukung) = (Rp 581,76) – (476,652 + Rp 0 + Rp 0) = Rp 105,108			

Berdasarkan hasil analisa ekonomi awal pada Tabel 1.17, maka persentase keuntungan diperoleh berikut:

$$\begin{aligned}\% \text{ Keuntungan} &= \frac{\text{Keuntungan}}{\text{Harga Bahan Baku}} \times 100\% \\ &= \frac{\text{Rp } 105,108}{(\text{Rp } 476,652 + \text{Rp } 0 + \text{Rp } 0)} \times 100\% \\ &= 22\%\end{aligned}$$

Maka persentase keuntungan produksi metanol yang didapat dari proses *Autothermal Reforming* yaitu sebesar 22%.

1.8.4 Perbandingan Proses

Proses pembuatan metanol secara umum terbagi menjadi tiga proses, yaitu proses *Glycerol Steam Reforming*, Proses *Supercritical Water Reforming* dan *Autothermal Reforming*. Dalam perancangan pabrik metanol, proses yang dipilih adalah metode *Glycerol Steam Reforming*. Alasan utama memilih metode ini karena merupakan proses pembuatan metanol yang ekonomis dengan kondisi operasi tidak terlalu tinggi dan memiliki konversi yang besar serta tidak memerlukan proses yang panjang. Adapun kelebihan dan kekurangan dari masing-masing proses dapat dilihat pada tabel 1.21 sebagai berikut:

Tabel 1.21 Perbandingan Proses Produksi Metanol dan Analisa Ekonomi Awal

No	Faktor Pemandangan	Proses Pembuatan		
		<i>Glycerol Steam Reforming</i>	<i>Supercritical Water Reforming</i>	<i>Autothermal Reforming</i>
1.	Bahan Baku	Gliserol, Air (Steam)	Gliserol, Air (Steam)	Gliserol, O ₂ , Air (Steam)
2.	Reaksi	$\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_{3(l)} + 3\text{H}_2\text{O}_{(l)} \rightarrow 3\text{CO}_{2(g)} + 7\text{H}_{2(g)}$	$\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_{3(l)} + 3\text{H}_2\text{O}_{(l)} \rightarrow 3\text{CO}_{2(g)} + 7\text{H}_{2(g)}$	$\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_{3(l)} + 3\text{H}_2\text{O}_{(l)} \rightarrow 7\text{H}_{2(g)} + 3\text{CO}_{2(g)}$
		$\text{CO}_{2(g)} + 3\text{H}_{2(g)} \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{OH}_{(l)} + \text{H}_2\text{O}_{(l)}$	$\text{CO}_{2(g)} + 3\text{H}_{2(g)} \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{OH}_{(l)} + \text{H}_2\text{O}_{(l)}$	$3\text{CO}_{2(g)} + 7\text{H}_{2(g)} \rightarrow 2\text{CH}_3\text{OH}_{(l)} + \text{CO}_{(g)} + 3\text{H}_2\text{O}_{(l)}$
3.	Kondisi Operasi	400°C-650°C 1 bar	700°C-1000°C 240 atm	600°C-700°C 1 atm
4.	Katalis	CaO/HZSM-5	Inconel 625 Reactor	RhCe/γ-Al ₂ O ₃
5.	Harga Katalis	Rp. 75.000	Rp. 600.000	Rp. 3.000.000

No	Faktor Pemanding	Proses Pembuatan		
		<i>Glycerol Steam Reforming</i>	<i>Supercritical Water Reforming</i>	<i>Autothermal Reforming</i>
6.	Jenis Reaksi	Endotermis	Endotermis	Eksotermis
7.	Jenis Reaktor	<i>Fixed Bed</i>	<i>Continuous Flow</i>	<i>Fixed Bed</i>
8.	Konversi	90%	70%	79%
9.	<i>Yield</i>	70%	30%	21%
10.	Produk Samping	H ₂ O	H ₂ O	CO, H ₂ O
11.	Analisa Ekonomi Awal	22%	22%	22%

(Sumber : Schwengber, 2016)

Berdasarkan tabel perbandingan proses diatas maka dalam perancangan pabrik metanol dipilih proses *Glycerol Steam Reforming*. Dengan pertimbangan:

1. Proses ini menawarkan tingkat konversi paling tinggi mencapai 90%.
2. Reaksi dapat dioperasikan pada suhu jauh lebih rendah mulai dari 400°C.
3. Tekanan operasi berada pada rentang rendah hingga moderat yaitu 1-10 atm.
4. Berdasarkan *yield* yang dihasilkan proses GSR lebih tinggi yaitu 70% dibandingkan dengan proses *Supercritical* dan *Autothermal*.

1.9 Pemilihan Lokasi Pabrik

Dalam menentukan lokasi pabrik metanol dari gliserol menggunakan proses *Glycerol Steam Reforming* diperlukan pertimbangan atas beberapa faktor yaitu pengadaan bahan baku, distribusi produk, dan sarana pendukung yang tersedia. Lokasi pabrik harus memiliki akses transportasi yang baik sehingga proses pengadaan bahan baku maupun distribusi produk dapat dilakukan secara efektif dan efisien. Lokasi yang strategis dengan akses logistik yang memadai juga akan memberikan keuntungan ekonomi karena dapat menekan biaya transportasi semaksimal mungkin.

Sarana pendukung seperti air, listrik, bahan bakar, serta fasilitas pengolahan limbah merupakan aspek yang sangat krusial yang perlu diperhatikan. Ketersediaan sarana pendukung yang lengkap harus diperoleh secara kontinyu agar proses produksi dapat berjalan tanpa hambatan. Ketika kebutuhan utilitas tidak dapat

dipenuhi, maka akan meningkatkan biaya produksi dan mengurangi daya saing pabrik. Oleh karena itu, pemilihan lokasi harus berada pada kawasan industri yang telah memiliki sarana pendukung yang memadai dan mudah diakses.

Berdasarkan pertimbangan tersebut, pabrik metanol dari gliserol direncanakan didirikan di Kawasan Industri Dumai, Provinsi Riau. Pemilihan lokasi ini didasarkan pada pertimbangan bahwa Dumai merupakan salah satu pusat industri pengolahan kelapa sawit dan biodiesel di Indonesia, sehingga ketersediaan gliserol sebagai bahan baku sangat melimpah. Selain itu, Dumai memiliki pelabuhan besar yang mendukung kegiatan ekspor dan impor bahan baku maupun produk, sehingga mempermudah sistem transportasi dan pemasaran metanol internasional.

1.9.1 Faktor Primer

1. Ketersediaan Bahan Baku

Bahan baku utama yang digunakan dalam produksi metanol ini adalah gliserol yang merupakan hasil samping industri biodiesel. Di wilayah Dumai terdapat banyak perusahaan pengolahan minyak kelapa sawit dan biodiesel yang mampu memasok gliserol dalam jumlah besar secara kontinu, seperti PT Sari Dumai Sejati dan Wilmar Group. Dengan lokasinya yang dekat dengan sumber bahan baku, maka dapat meminimalkan biaya transportasi dan menjamin kontinuitas pasokan gliserol. Sedangkan pasokan air dapat diperoleh dari sumber air industri di kawasan tersebut yang kemudian diolah terlebih dahulu agar memenuhi kebutuhan proses.

2. Pemasaran

Metanol merupakan produk kimia yang digunakan secara luas pada berbagai sektor industri seperti industri kimia, resin, pelarut, dan industri energi. Lokasi pabrik yang direncanakan di Dumai memberikan akses pemasaran yang lebih luas terutama karena dekat dengan Pelabuhan Dumai yang menjadi jalur distribusi ke berbagai wilayah dalam negeri maupun luar negeri. Hal ini mendukung pemasaran produk secara efisien dan meningkatkan nilai ekonomi bagi perusahaan.

3. Sarana Transportasi

Sarana transportasi di Kawasan Industri Dumai sangat mendukung karena

lokasinya terhubung langsung dengan pelabuhan laut sehingga distribusi bahan baku maupun produk dapat dilakukan melalui jalur laut maupun darat. Akses jalan raya yang memadai juga memudahkan transportasi lokal antar pabrik dan jaringan distribusi lainnya. Dengan demikian, lokasi ini mampu mendukung kelancaran logistik untuk bahan baku dan pemasaran produk metanol di pasar internasional.

4. Utilitas

Air yang dibutuhkan dalam pabrik diperoleh dari sumber air yang tersedia di kawasan industri yang kemudian diolah pada unit utilitas internal. Kebutuhan listrik dipenuhi dari jaringan listrik nasional dan cadangan energi dapat disuplai oleh pembangkit listrik lokal di kawasan industri. Selain itu, bahan bakar dan steam dapat diperoleh dari fasilitas utilitas yang ada di kawasan industri tersebut. Tenaga kerja dan tenaga ahli dapat direkrut dari Kota Dumai dan wilayah sekitarnya karena Dumai merupakan kota industri yang memiliki sumber daya manusia yang memadai.

1.9.2 Faktor Sekunder

1. Kebijakan Pemerintah

Kawasan Industri Dumai merupakan kawasan yang telah ditetapkan sebagai zona industri yang terus dikembangkan oleh pemerintah, terutama terkait hilirisasi sumber daya alam seperti kelapa sawit dan biodiesel. Dukungan dari pemerintah pusat maupun daerah terhadap industrialisasi di kawasan ini membuat perizinan industri lebih mudah dan fasilitas penunjang dapat disediakan secara optimal bagi pelaku usaha.

2. Tanah dan Iklim

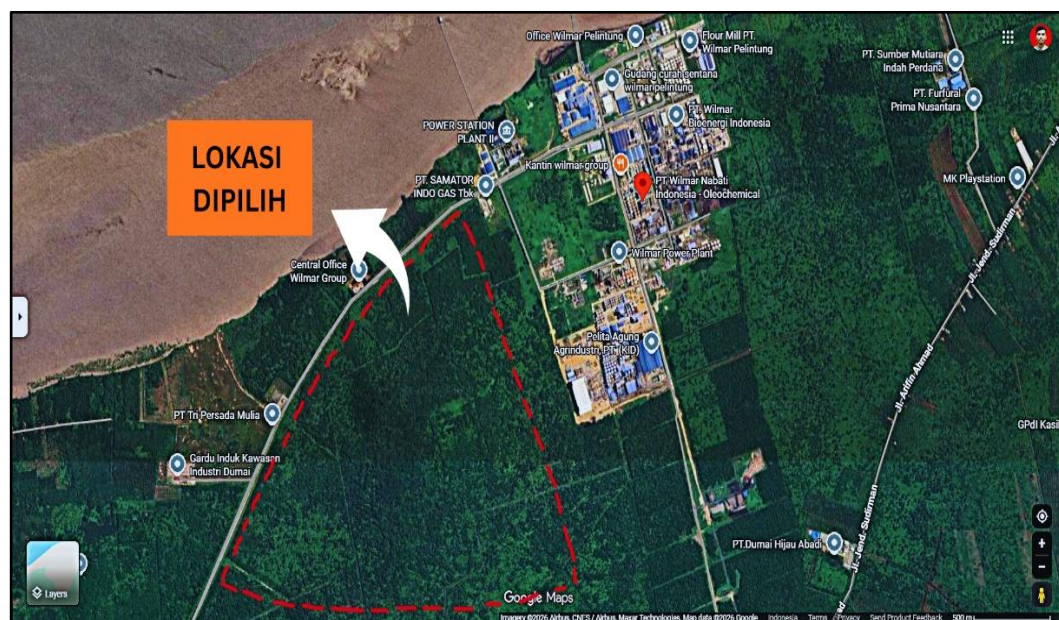
Topografi tanah di kawasan Dumai umumnya datar sehingga mempermudah pada tahap konstruksi pabrik. Kondisi iklim di wilayah ini relatif stabil sepanjang tahun sehingga operasional pabrik tidak terganggu oleh kondisi cuaca ekstrem. Lokasi yang dekat dengan pesisir juga mempermudah penyediaan air pendingin serta sarana transportasi laut.

3. Keadaan Lingkungan Masyarakat

Kawasan Industri Dumai telah berkembang sebagai kawasan perkotaan

yang mendukung kegiatan ekonomi masyarakat dengan tersedianya fasilitas sosial dan fasilitas umum seperti perumahan, layanan kesehatan, pendidikan, dan perdagangan. Dengan demikian, didirikannya pabrik ini diharapkan dapat meningkatkan kondisi ekonomi masyarakat sekitar melalui penyediaan lapangan pekerjaan baru dan peningkatan pendapatan masyarakat.

Berdasarkan pertimbangan faktor primer dan sekunder tersebut, maka Jalan Pulau Sumatera No.1, Pelintung, Kecamatan Medang Kampai, Kota Dumai, Provinsi Riau dipilih sebagai lokasi pendirian pabrik metanol. Lokasi ini dinilai strategis, ekonomis, serta mendukung keberlanjutan operasional pabrik dalam jangka panjang. Denah lokasi pabrik yang akan didirikan dapat dilihat pada Gambar 1.11.



Gambar 1.11 Peta Lokasi Pabrik Metanol