

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan industri kimia menunjukkan adanya peningkatan yang signifikan seiring dengan pertumbuhan sektor industri seperti farmasi, kosmetik, makanan dan minuman, serta industri resin dan polimer. Pertumbuhan sektor tersebut mendorong meningkatnya kebutuhan bahan kimia yang berperan dalam mendukung proses produksi. Salah satu bahan kimia tersebut ialah propilen glikol yang biasanya digunakan sebagai pelarut, agen pelembab, serta bahan tambahan dalam berbagai produk industri karena sifatnya yang stabil dan relatif aman digunakan.

Propilen glikol merupakan senyawa organik yang termasuk dalam golongan diol dengan rumus kimia $C_3H_8O_2$. Senyawa ini berbentuk cairan kental, tidak berwarna, tidak berbau, serta mempunyai sifat higroskopis dan mudah larut dalam air maupun pelarut organik lainnya. Propilen glikol mempunyai tingkat toksisitas yang relatif rendah sehingga aman digunakan dalam berbagai aplikasi di industri (Khun et al., 2025). Dalam industri makanan, propilen glikol digunakan sebagai pelarut dan agen pembawa (*carrier*) untuk perisaan dan pewarna, sedangkan dalam industri farmasi dan kosmetik digunakan sebagai pelarut, agen pelembab, serta bahan penstabil. Selain itu, senyawa ini dimanfaatkan dalam industri resin dan polimer, cairan pendingin, serta sebagai bahan baku dalam sintesis berbagai produk kimia lainnya (Jiménez et al., 2020).

Seiring dengan meningkatnya kebutuhan tersebut, permintaan propilen glikol baik secara global maupun domestik terus mengalami peningkatan. Akan tetapi, di Indonesia kebutuhan propilen glikol masih sebagian besar dipenuhi melalui impor dikarenakan keterbatasan kapasitas produksi dalam negeri. Di sisi lain, produksi propilen glikol secara konvensional masih melalui proses hidrasi propilen oksida yang bergantung pada bahan baku fosil dan berpotensi menimbulkan dampak untuk lingkungan. Oleh sebab itu, untuk produksi propilen glikol masih memerlukan alternatif proses yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan.

Salah satu alternatif proses yang mulai banyak dikembangkan yaitu dengan menggunakan metode dehidrasi-hidrogenasi yang memanfaatkan bahan baku terbarukan seperti gliserol. Gliserol merupakan produk samping utama dari industri biodiesel yang ketersediaannya cukup banyak di Indonesia. Proses dehidrasi gliserol menghasilkan senyawa

asetol yang kemudian dapat dikonversi menjadi propilen glikol melalui tahap hidrogenasi. Dalam tahap ini, peran katalis menjadi sangat penting untuk meningkatkan laju reaksi dan selektivitas produk. Penggunaan katalis berbasis tembaga seperti $\text{Cu/ZnO/Al}_2\text{O}_3$ yang memiliki aktivitas dan selektivitas tinggi terhadap pembentukan 1,2 -propanediol serta lebih ekonomis dibandingkan katalis berbasis logam.

Metode dehidrasi-hidrogenasi memiliki beberapa keunggulan, antara lain yaitu penggunaan bahan baku yang lebih ramah lingkungan, kondisi operasi yang relatif lebih fleksibel, serta potensi selektivitas produk yang tinggi terhadap propilen glikol. Dengan pemilihan katalis dan kondisi operasi yang tepat, efisiensi proses dapat ditingkatkan sehingga menghasilkan produk dengan kemurnian tinggi serta meminimalkan terbentuknya produk samping yang tidak diinginkan.

Berdasarkan uraian tersebut, perancangan pabrik propilen glikol dengan kapasitas 225.000 ton/tahun menggunakan metode dehidrasi-hidrogenasi menjadi hal yang penting untuk dikaji lebih lanjut. Perancangan ini diharapkan mampu memenuhi kebutuhan dalam negeri, mengurangi ketergantungan impor, serta memberikan kontribusi terhadap pengembangan industri kimia berkelanjutan di Indonesia.

1.2 Kapasitas Rancangan

1.2.1 Kebutuhan Propilen Glikol di Indonesia

Kebutuhan propilen glikol di Indonesia terus menunjukkan adanya peningkatan. Selama ini, pemenuhan kebutuhan propilen glikol masih bergantung pada impor dari beberapa negara, seperti Amerika Serikat, Belanda, China, Jepang, dan Korea. Hal ini terjadi karena belum tersedia pabrik propilen glikol di dalam negeri yang memadai untuk memenuhi kebutuhan domestik.

Propilen glikol hingga saat ini belum tersedia atau diproduksi oleh pabrik mana pun di Indonesia, sehingga seluruh kebutuhan dalam negeri dipenuhi melalui impor dari luar negeri, yang kemudian didistribusikan oleh perusahaan-perusahaan distributor/importir lokal. Data pabrik penghasil propilen glikol di dunia dapat dilihat pada Tabel 1.1, sedangkan data distributor/importir propilen glikol di Indonesia dapat dilihat pada Tabel 1.2.

Tabel 1. 1 Data Pabrik Penghasil Propilen Glikol di Dunia

Nama Perusahaan	Negara
Dow Inc.	Amerika Serikat
BASF SE	Jerman
LyondellBasell Industries Holdings B.V.	Belanda
Archer Daniels Midland (ADM)	Amerika Serikat
INEOS Oxide/Acetyl	Eropa & Amerika Utara
SKC Co., Ltd.	Korea Selatan
Sumitomo Chemical Co., Ltd.	Jepang
Wanhua Chemical Group	China
Lihuayi Group	China

Tabel 1. 2 Data Distributor/Importir Propilen Glikol di Indonesia

Nama Perusahaan	Lokasi	Sumber Produk
PT laju Usaha Gemilang	Jakarta Barat	Ex-Dow, Ex-SKC
PT Darnait Esa Artha	Tangerang Selatan	Ex-Dow
PT Graha Jaya Pratama Kinerja	Jakarta Barat	Ex-Dow USA
PT Chori Indonesia	Jakarta Pusat	Ex-China, Ex-Korea
PT Fortuna Pancaran Sakti	Jakarta Barat	Ex-SKC Korea
PT Dwi Tunggal Mulia Kimia	Surabaya	Ex-China (Sinochem)
PT Samiraschem Indonesia	Jakarta	Food grade & Industrial grade

Kondisi ini menunjukkan bahwa Indonesia masih sepenuhnya bergantung pada impor dan belum memiliki pabrik propilen glikol sendiri, sehingga semakin memperkuat urgensi pendirian pabrik propilen glikol pada tugas akhir ini sebagai Upaya mengurangi ketergantungan impor sekaligus mendukung kebutuhan dalam negeri.

1.2.2 Aspek Bahan Baku

Bahan baku utama dalam pembuatan pabrik propilen glikol yaitu gliserol. Indonesia saat ini telah memiliki industri penghasil gliserol. Oleh sebab itu, kebutuhan bahan baku dapat dipenuhi dari sumber domestik. Berikut ini disajikan data kapasitas pabrik gliserol di Indonesia yang dapat dilihat pada Tabel 1.3.

Tabel 1. 3 Daftar Pabrik Penghasil Gliserol di Indonesia

No	Nama Perusahaan	Lokasi	Kapasitas (ton/hari)
1.	PT Bukit Perak	Surabaya	3.500
2.	PT Unilever Indonesia	Surabaya	8.450
3.	PT Wing Surya	Surabaya	8.450
4.	PT Eterindo Wahanatama Tbk	Sidoarjo	16.800
5.	PT Wilmar Nabati Indonesia	Dumai	50.000
6.	PT Louis Dreyfus Company	Lampung	50.000
7.	PT Flora Sawita Chemindo	Medan	66.000
8.	PT Sinar Oleochmeical Internasional	Medan	100.000
9.	PT Cisadane Raya Chemical	Tangerang	133.000
10.	PT Sumi Asih	Bekasi	157.000
11.	PT Sayap Mas Utama	Bekasi	170.000
12.	PT Wilmar Bionergi Indonesia	Dumai	268.000
Total			981.200

1.2.3 Perkiraan Kebutuhan Propilen Glikol

Permintaan propilen glikol di Indonesia terus mengalami peningkatan. Sampai saat ini, kebutuhan tersebut masih belum dapat dipenuhi oleh produksi dalam negeri sehingga masih mengandalkan pasokan impor dari sejumlah negara, seperti Amerika Serikat, Belanda, China, Jepang, dan Korea. Hal ini disebabkan belum adanya industri

propilen glikol di Indonesia yang mampu menyediakan kapasitas produksi dalam jumlah yang mencukupi permintaan dalam negeri.

Mengacu pada data Badan Pusat Statistik (2025), data ekspor dan impor propilen glikol selama periode tahun 2016-2025 dapat dilihat pada Tabel 1.4.

Tabel 1. 4 Data Ekspor dan Impor Propilen Glikol di Indonesia dan Pertumbuhannya

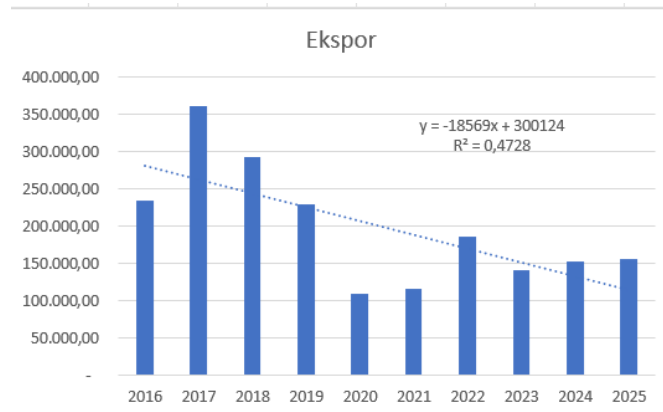
Tahun	Jumlah		% Prediksi	
	Ekspor	Impor	Ekspor	Impor
2016	235.191,00	36.748.374,00	0	0
2017	361.485,00	39.816.224,00	53,69848336	8,348261
2018	293.743,00	39.023.767,00	-18,73992005	-1,99029
2019	229.543,00	36.547.542,00	-21,85583997	-6,34543
2020	109.186,80	38.536.024,00	-52,43296463	5,440809
2021	115.608,35	39.273.933,00	5,881251214	1,914855
2022	185.498,87	40.151.939,00	60,45456059	2,235595
2023	141.152,65	38.150.862,00	-23,90646369	-4,98376
2024	152.535,30	41.397.366,00	8,064071061	8,509648
2025	156.022,20	36.900.651,08	2,285962659	-10,8623
Total (%Prediksi)			13,44914055	2,26737
i (rata-rata)			1,49434895	0,25193

Berdasarkan Tabel 1.2, dapat dilihat bahwa nilai impor propilen glikol di Indonesia selama tahun 2016-2025 cenderung lebih besar dibandingkan nilai ekspor. Hal ini menunjukkan bahwa kebutuhan propilen glikol dalam negeri masih belum dapat dipenuhi oleh produksi domestik sehingga masih bergantung dari pasokan luar negeri. Nilai impor yang tertinggi terjadi pada tahun 2024 sebesar 41.397.366,00 kg, sedangkan nilai impor terendah terjadi pada tahun 2019 sebesar 36.547.542,00 kg. Meskipun mengalami fluktuasi, secara umum nilai impor menunjukkan tren meningkat dengan rata-rata pertumbuhan sebesar 0,25193 atau sekitar 2,52% per tahun.

Sementara itu, nilai ekspor propilen glikol juga mengalami fluktuasi selama periode tersebut. Nilai ekspor yang tertinggi terjadi pada tahun 2017 sebesar 361/485,00 kg, sedangkan nilai ekspor terendah terjadi pada tahun 2020 sebesar 109.186,80 kg. Rata-rata pertumbuhan ekspor sebesar 1,49434895 atau sekitar 1,49% per tahun. Nilai ekspor yang relatif kecil dibandingkan impor menunjukkan bahwa produksi propilen

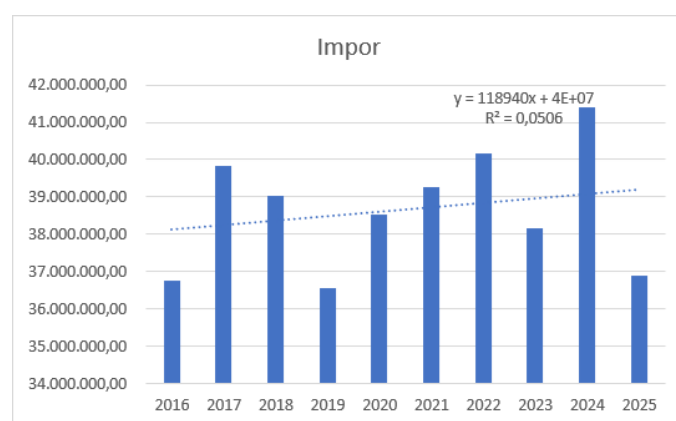
glikol di Indonesia masih terbatas dan belum mampu memenuhi kebutuhan dalam negeri.

Berdasarkan data tersebut, dapat disimpulkan bahwa peluang pendirian pabrik propilen glikol di Indonesia masih sangat besar. Tingginya nilai impor menunjukkan bahwa kebutuhan domestik belum terpenuhi, sehingga pembangunan pabrik propilen glikol dengan kapasitas yang memadai diharapkan dapat mengurangi ketergantungan impor serta memenuhi kebutuhan dalam negeri.



Gambar 1. 1 Grafik Nilai Ekspor Propilen Glikol di Indonesia

Berdasarkan Gambar 1.1, grafik nilai ekspor propilen glikol di Indonesia menunjukkan hasil yang fluktuatif selama tahun 2016-2025. Pada tahun 2016 hingga 2017 terjadi peningkatan nilai ekspor yang cukup signifikan, kemudian mengalami penurunan pada tahun 2018 hingga 2020. Selanjutnya, pada tahun 2021 hingga 2025 nilai ekspor kembali mengalami peningkatan meskipun tidak terlalu signifikan.



Gambar 1. 2 Grafik Nilai Impor Propilen Glikol di Indonesia

Berdasarkan Gambar 1.2, grafik nilai impor propilen glikol di Indonesia menunjukkan hasil yang cenderung meningkat selama periode tahun 2016-2025 meskipun mengalami fluktuasi pada beberapa tahun tertentu. Pada tahun 2016 hingga

2017 terjadi peningkatan nilai impor yang cukup signifikan kemudian mengalami penurunan pada tahun 2018 hingga 2019. Selanjutnya pada tahun 2020 hingga 2022 nilai impor meningkat yang menunjukkan adanya peningkatan kebutuhan propilen glikol di dalam negeri. Pada tahun 2023 terjadi sedikit penurunan, namun kembali meningkat di tahun 2024 yang menjadi nilai impor tertinggi selama periode tersebut. Pada tahun 2025 nilai impor kembali mengalami penurunan, akan tetapi secara keseluruhan menunjukkan peningkatan kebutuhan propilen glikol di Indonesia.

Secara keseluruhan, perkembangan ekspor dan impor propilen glikol di Indonesia selama periode tahun 2016 hingga 2025 menunjukkan hasil yang fluktuatif. Namun, secara umum nilai impor propilen glikol cenderung lebih tinggi dibandingkan nilai ekspor yang menunjukkan bahwa kebutuhan propilen glikol dalam negeri masih belum bisa dipenuhi.

1.2.4 Perhitungan Kapasitas Produksi

Penentuan kapasitas produksi pabrik propilen glikol dilakukan menggunakan perhitungan metode *discounted* yang didasarkan pada data ekspor dan impor. Metode ini digunakan untuk mengetahui laju pertumbuhan rata-rata propilen glikol setiap tahunnya. Berdasarkan data tersebut, perkiraan nilai ekspor dan impor propilen glikol pada tahun 2030 dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$M = P \times (1 + i)^n$$

Dimana:

- M = Jumlah produk pada tahun yang diperhitungkan
- P = Jumlah produk tahun terakhir yang diketahui
- i = Pertumbuhan rata-rata impor per tahun
- n = Selisih tahun yang diperhitungkan

Neraca Massa Peluang Kapasitas

$$M_1 + M_2 + M_3 = M_4 + M_5$$

$$M_3 = (M_4 + M_5) - (M_1 + M_2)$$

Dimana:

- M₁ = Impor
- M₂ = Kapasitas pabrik lama
- M₃ = Kapasitas pabrik baru
- M₄ = Ekspor

M_5 = Konsumsi

- a. Perkiraan Nilai Ekspor (M_4) pada tahun 2030

$$M = 156.022,20 \times (1 + 1,49434895)^5$$

$$M = 15.065.114,78$$

- b. Perkiraan Nilai Impor (M_1) pada tahun 2030

$$M = 36.900.651,08 \times (1 + 0,25193)^5$$

$$M = 113.483.882,08$$

- c. Menghitung Peluang Kapasitas Berdasarkan Prediksi Data Ekspor dan Impor pada Tahun 2030 (M_3)

$$M_3 = (M_4 + M_5) - (M_1 + M_2)$$

$$M_3 = (15.065.114,78 + 113.483.882,08) - (113.483.882,08 + 0)$$

$$M_3 = 15.065.114,78$$

- d. Menghitung Kapasitas Produksi pada Tahun 2030

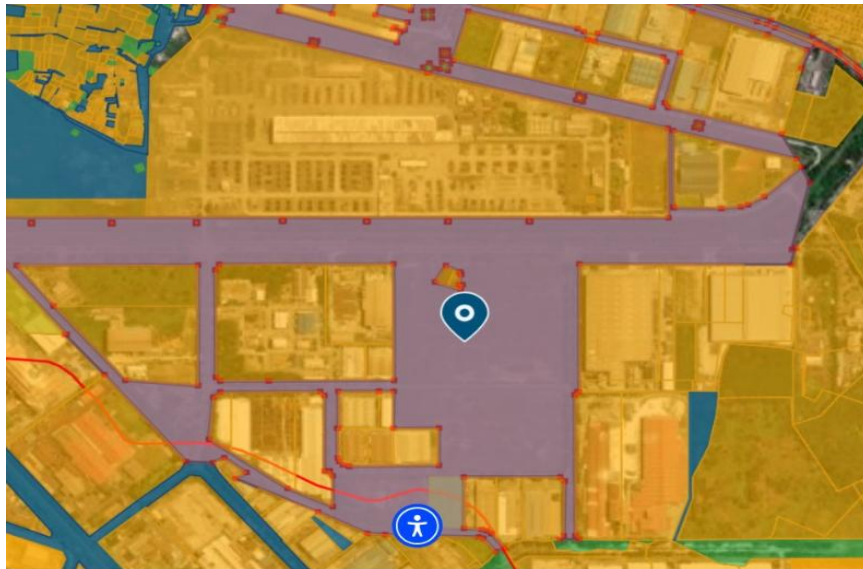
$$\text{Kapasitas Produksi} = 1,5\% \times 15.065.114,78$$

$$= 225.976,72 \text{ Ton/Tahun}$$

$$= 225.000 \text{ Ton/Tahun}$$

Berdasarkan perhitungan diatas, prediksi impor pada tahun 2030 sebesar 113.483.882,808 Ton/Tahun, prediksi ekspor sebesar 15.065.114,78 Ton/Tahun dan kebutuhan propilen glikol tahun 2030 sebesar 15.065.114,78 Ton/tahun. Berdasarkan perhitungan peluang kapasitas, maka ditetapkan kapasitas produksi propilen glikol pada tahun 2030 adalah 225.000 Ton/Tahun untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri.

1.3 Penentuan Lokasi Pabrik



Gambar 1. 3 Peta Lokasi Pabrik Propilen Glikol

Penentuan lokasi pabrik merupakan faktor yang penting dalam perancangan industri karena berpengaruh langsung terhadap efisiensi operasional, biaya produksi, serta keberlanjutan proses. Pemilihan lokasi dilakukan dengan mempertimbangkan beberapa aspek utama, seperti ketersediaan bahan baku, kemudahan akses transportasi, ketersediaan utilitas, tenaga kerja, serta faktor lingkungan dan regulasi. Lokasi yang strategis akan mampu menekan biaya distribusi, menjamin kontinuitas produksi, serta meningkatkan daya saing industri secara keseluruhan.

Penentuan lokasi pabrik dilakukan dengan membandingkan beberapa alternatif lokasi pendirian pabrik, yaitu Cilegon (Banten), Gresik (Jawa Timur), dan Dumai (Riau). Perbandingan dilakukan berdasarkan aspek ketersediaan bahan baku, akses transportasi dan distribusi, ketersediaan utilitas, serta kedekatan dengan pasar. Kelebihan dan kekurangan masing-masing lokasi disajikan pada Tabel 1.5.

Tabel 1. 5 Kelebihan dan Kekurangan Lokasi Pendirian Pabrik

Lokasi	Kelebihan	Kekurangan
Cilegon, Banten	Dekat Pelabuhan Merak dan tol Jakarta-Merak, utilitas (air, listrik, gas) sudah terintegrasi sebagai kawasan industri kimia, dan infrastruktur pengelolaan limbah tersedia	Harga lahan di kawasan industri relatif lebih tinggi dibandingkan wilayah lain

Lokasi	Kelebihan	Kekurangan
Gresik, Jawa Timur	Kawasan industri kimia dan petrokimia yang berkembang di Jawa Timur, didukung Pelabuhan Tanjung Perak untuk distribusi	Jarak dari sumber gliserol (produk samping biodiesel di wilayah Jawa bagian barat) relatif lebih jauh sehingga biaya logistik bahan baku lebih tinggi; jaringan tol dan aksesibilitas ke pusat pasar utama di Jawa bagian barat kurang mendukung
Dumai, Riau	Akses transportasi darat-laut memadai (Jetty Lubuk Gaung, Pelabuhan Internasional Dumai); bahan baku gliserol tersedia dari PT Wilmar; regulasi daerah mendukung	Jarak jauh dari pusat pasar di Pulau Jawa; pasokan hidrogen belum terpusat seperti di Gresik

Pabrik propilen glikol direncanakan berlokasi di kawasan industri Cilegon, Banten. Wilayah ini mempunyai keunggulan dari sisi akses transportasi karena berdekatan dengan Pelabuhan Merak serta didukung oleh jalan tol Jakarta-Merak yang mempermudah distribusi bahan baku dan produk. Selain itu, kawasan Cilegon dikenal sebagai pusat industri kimia di Indonesia dengan keberadaan berbagai industri besar seperti petrokimia dan baja, sehingga mendukung ketersediaan utilitas seperti air industri, listrik dari PLN maupun PLTU Suralaya, serta bahan bakar dan gas. Dari sisi bahan baku, gliserol sebagai produk samping industri biodiesel dapat diperoleh dari wilayah Jawa dan sekitarnya dengan jarak distribusi yang relatif dekat sehingga biaya logistik dapat ditekan.

Selain itu, aspek lingkungan dan kedekatan dengan pasar juga menjadi pertimbangan penting dalam pemilihan lokasi. Kawasan industri Cilegon telah memiliki sistem pengelolaan limbah dan infrastruktur lingkungan yang terintegrasi sehingga memudahkan dalam pengurusan izin serta pengendalian dampak lingkungan. Dari sisi pemasaran, lokasi ini relatif dekat dengan pusat industri di Pulau Jawa, seperti Jakarta, Bekasi, dan Tangerang yang merupakan konsumen utama propilen glikol untuk industri makanan, farmasi, kosmetik, dan kimia. Dengan demikian, pemilihan lokasi di Cilegon tidak hanya

memberikan keuntungan dari sisi teknis dan ekonomi tetapi juga mendukung efisiensi distribusi serta keberlanjutan operasional pabrik dalam jangka panjang.

1.4 Tinjauan Proses

Propilen glikol (1,2 -propanediol, 1,2 -dihydroxypropane atau 1,2 -propilen glikol) merupakan senyawa organik berbentuk cairan kental, tidak berwarna, memiliki bau yang ringan. Senyawa ini memiliki tekanan uap yang rendah dan mudah larut dalam air. Propilen glikol memiliki rumus kimia $C_3H_8O_2$ dan dikenal secara komersial dengan nama propylene glycol. Dalam berbagai bidang industri, senyawa ini banyak dimanfaatkan karena sifatnya yang stabil dan memiliki toksisitas relatif rendah. Pada industri makanan dan kosmetik, propilen glikol digunakan sebagai pelarut, pelembab, serta penyerap kelebihan air. Selain itu, senyawa tersebut juga berfungsi sebagai *wetting agent* yang membantu proses pembentukan emulsi pada senyawa perasa atau senyawa aromatik. Dalam bidang industri lainnya, propilen glikol digunakan sebagai bahan perantara dalam pembuatan resin alkid yang digunakan pada cat serta sebagai cairan pendingin pada kendaraan bermotor, khususnya pada mesin diesel. Menurut Idzati et al., (2020), bahan yang digunakan pada pembuatan propilen glikol yaitu sebagai berikut:

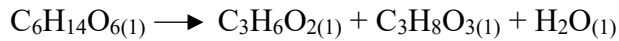
1.4.1 Bahan Pembuatan Propilen Glikol

a. Propilen Glikol dari Sorbitol

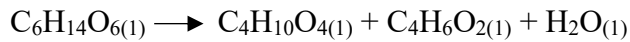
Hidrolisis merupakan proses pemecahan ikatan glikosidik dengan menggunakan air. Melalui proses ini, sorbitol akan diuraikan sehingga menghasilkan glukosa. Glukosa yang terbentuk kemudian mengalami proses hidrogenasi untuk menghasilkan propilen glikol. Proses tersebut dilakukan dengan penambahan hidrogen pada glukosa di bawah kondisi katalitik tertentu sehingga dapat menghasilkan propilen glikol. Menurut García et al., (2020), konversi sorbitol murni menjadi propilen glikol dapat dilakukan melalui reaksi hidrogenolisis dengan penambahan katalis logam seperti Ni-Re. Pada penelitian tersebut, diperoleh konversi sebesar 57% dengan selektivitas hingga 30% pada kondisi operasi tekanan sebesar 217,75 atm dan temperatur 150-190°C.

Proses produksi propilen glikol dari sorbitol mempunyai kelebihan, yaitu bahan bakunya relatif mudah diperoleh dan harganya cukup terjangkau. Namun, proses ini juga memiliki kekurangan yaitu memerlukan tekanan dan temperatur operasi yang tinggi serta menghasilkan nilai konversi yang masih relatif rendah.

Reaksi Utama:



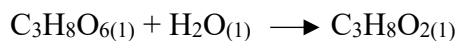
Reaksi Samping:



b. Propilen Glikol dari Propilen Oksida

Proses yang digunakan dalam pembuatan propilen glikol adalah proses hidrasi propilen oksida melalui reaksi hidrolisis tanpa menggunakan katalis. Reaksi ini berlangsung pada kondisi tekanan dan suhu yang cukup tinggi. Dalam proses ini digunakan air dalam jumlah berlebih untuk meminimalkan terjadinya reaksi samping selama konversi propilen oksida. Dari proses tersebut diperoleh sekitar 90% produk utama berupa propilen glikol dan sekitar 10% produk samping.

Reaksi yang terjadi dapat dituliskan sebagai berikut:



Pada reaksi tersebut, propilen oksida bereaksi dengan air di dalam reaktor pada kondisi fase cair sehingga menghasilkan propilen glikol sebagai produk utama.

c. Propilen Glikol dari Asam Laktat

Propilen glikol dapat diproduksi menggunakan bahan baku berupa asam laktat, akan tetapi metode ini masih sangat terbatas. Berdasarkan penelitian (Zhou et al., 2019), proses konversi etil laktat menjadi 1,2 -propanadiol umumnya menggunakan katalis berupa logam seperti Ru/Re/C. Meskipun demikian, hingga saat ini metode tersebut belum diterapkan secara skala industri dikarenakan memerlukan kondisi operasi yang cukup besar, yakni menggunakan suhu berkisar 200°C dan tekanan hidrogen tinggi hingga 266 atm. Selain itu, selektivitas produk yang telah dihasilkan masih relatif terbatas dengan konversi yang berkisar 88%.

Reaksi yang terjadi dapat dituliskan sebagai berikut:

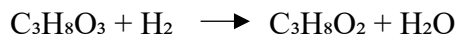


d. Propilen Glikol dari Gliserol

Pembuatan propilen glikol dari gliserol dapat dilakukan melalui reaksi antara gliserol dan hidrogen dengan bantuan katalis heterogen. Reaksi hidrogenolisis ini menghasilkan propilen glikol sebagai produk utama dengan tingkat selektivitas yang mencapai 90%. Kelebihan dari metode ini yaitu penggunaan gliserol mentah yang

berasal dari limbah proses biodiesel sebagai bahan baku untuk menghasilkan propilen glikol dengan kemurnian berkisar 93%.

Reaksi yang terjadi dapat dituliskan sebagai berikut:



Pada reaksi tersebut, gliserol ($\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3$) bereaksi dengan hidrogen (H_2) sehingga menghasilkan propilen glikol ($\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_2$) dan air (H_2O) sebagai produk samping.

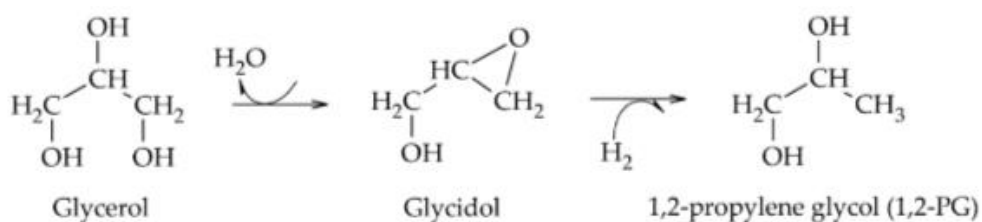
Berdasarkan beberapa proses yang telah dijelaskan diatas, masing-masing metode memiliki kelebihan dan kekurangan. Proses produksi dari sorbitol memerlukan kondisi operasi yang cukup tinggi dan konversi yang relatif rendah. Proses dari propilen oksida telah banyak digunakan secara komersial namun masih bergantung pada bahan baku berbasis fosil. Sementara itu, proses produksi dari gliserol memiliki keunggulan karena menggunakan bahan baku terbarukan, selektivitas tinggi, serta kondisi operasi yang relatif lebih rendah dibandingkan metode lainnya (Alexzman et al., 2024; Brobbey et al., 2024). Oleh karena itu, proses produksi propilen glikol dari gliserol dipilih sebagai metode yang digunakan dalam perancangan ini.

1.4.2 Proses Produksi Propilen Glikol dari Gliserol

Propilen glikol umumnya diproduksi melalui proses hidrogenolisis dengan bahan baku gliserol. Hidrogenolisis merupakan reaksi kimia yang melibatkan pemecahan senyawa organik menggunakan hidrogen dengan bantuan katalis pada kondisi tertentu (Kusuma et al., 2020). Proses ini mencakup penambahan atom hidrogen serta pelepasan satu atom oksigen yang kemudian membentuk senyawa H_2O . Menurut Yang et al., (2023), mekanisme hidrogenolisis dapat dibagi menjadi tiga tahapan proses utama, yaitu:

a. Mekanisme Esterifikasi-Hidrogenasi

Proses esterifikasi-hidrogenasi melalui beberapa tahapan. Tahapan awal diawali dengan reaksi dehidrasi gliserol yang menghasilkan senyawa berupa glisidol dengan bantuan katalis Cu-ZnO. Selanjutnya, glisidol mengalami hidrogenasi melalui interaksi dengan hidrogen yang teradsorpsi pada permukaan katalis.

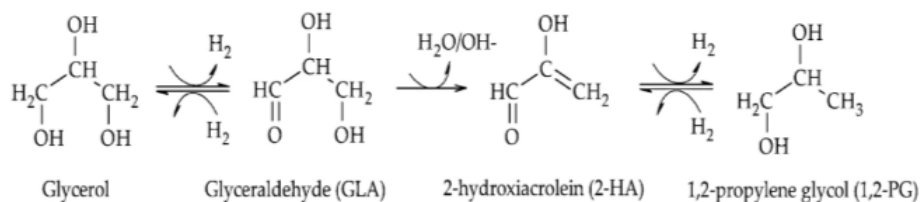


Gambar 1. 4 Mekanisme Esterifikasi-Hidrogenasi

Tahap berikutnya memperlihatkan bahwa penambahan atom hidrogen (H_2) berlangsung secara bertahap hingga terbentuk produk akhir berupa propilen glikol. Mekanisme esterifikasi-hidrogenasi dapat dilihat pada Gambar 1.4.

b. Mekanisme Dehidrogenasi-Dehidrasi-Hidrogenasi

Gliserol mengalami tahap awal berupa reaksi dehidrogenasi yang menghasilkan senyawa intermediat seperti gliseraldehid atau dihidroksiaseton. Intermediat tersebut kemudian mengalami reaksi dehidrasi yang menghasilkan senyawa karbonil berupa aseton. Tahap berikutnya melibatkan reaksi hidrogenasi aseton dengan bantuan katalis logam sehingga terbentuk propilen glikol sebagai produk utama (Xu et al., 2021). Mekanisme reaksi dehidrogenasi-dehidrasi-hidrogenasi gliserol menjadi propilen glikol dapat dilihat pada Gambar 1.5.

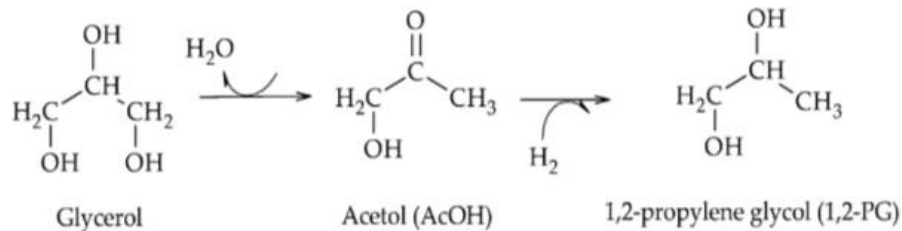


Gambar 1. 5 Mekanisme Reaksi Dehidrogenasi-Dehidrasi-Hidrogenasi (Reynoso et al., 2025)

Gambar tersebut menunjukkan bahwa reaksi berlangsung melalui beberapa tahapan dengan pembentukan senyawa yang berperan penting dalam proses. Aseton sebagai senyawa intermediat menjadi tahap utama karena merupakan senyawa yang langsung dikonversi menjadi propilen glikol melalui reaksi hidrogenasi. Selain itu, penggunaan katalis bifungsional memungkinkan reaksi berlangsung lebih efisien karena dapat mempercepat tahap reaksi sekaligus serta membantu mengurangi terbentuknya produk samping (Reynoso et al., 2025).

c. Mekanisme Dehidrasi-Hidrogenasi

Gliserol mengalami reaksi dehidrasi yang menghasilkan asetol sebagai senyawa intermediat. Selanjutnya, asetol akan mengalami reaksi hidrogenasi dengan bantuan katalis logam sehingga menghasilkan propilen glikol sebagai produk utama. Mekanisme ini merupakan reaksi paling umum digunakan karena memiliki selektivitas yang tinggi terhadap pembentukan propilen glikol. Mekanisme reaksi dehidrasi-hidrogenasi menjadi propilen glikol dapat dilihat pada Gambar 1.6.



Gambar 1. 6 Mekanisme Reaksi Dehidrasi-Hidrogenasi (Song et al., 2024)

Gambar tersebut menunjukkan bahwa reaksi dehidrasi-hidrogenasi memiliki tahapan reaksi yang lebih sederhana dengan jumlah intermediat yang lebih sedikit. Hal ini membuat proses lebih mudah dikendalikan dan meningkatkan peluang terbentuknya propilen glikol sebagai produk utama. Oleh karena itu, mekanisme ini banyak digunakan dalam proses produksi dikarenakan dinilai lebih efisien dan selektif (Song et al., 2024).

1.4.3 Pemilihan Proses Produksi

Penentuan proses produksi propilen glikol merupakan salah satu tahapan penting dalam perancangan pabrik karena berpengaruh terhadap aspek teknis, ekonomis, dan lingkungan dari keseluruhan proses. Saat ini, terdapat berbagai metode produksi propilen glikol yang telah dikembangkan, baik yang sudah digunakan secara komersial maupun yang masih dalam tahap penelitian. Oleh karena itu, perlu dilakukan analisis perbandingan antar metode untuk memilih proses yang paling sesuai.

Beberapa mekanisme yang umum digunakan pada produksi propilen glikol yaitu mekanisme esterifikasi-hidrogenasi, dehidrogenasi-dehidrasi-hidrogenasi, serta dehidrasi-hidrogenasi. Untuk membandingkan berbagai mekanisme reaksi dalam pembuatan propilen glikol dari gliserol, dilakukan analisis berdasarkan beberapa parameter seperti kondisi operasi, jenis katalis, tipe reaktor, waktu reaksi, konversi, serta kelebihan dan kekurangan dari setiap mekanisme. Perbandingan mekanisme pembuatan propilen glikol dari gliserol dapat dilihat pada Tabel 1.6.

Tabel 1. 6 Perbandingan mekanisme pembuatan propilen glikol dari gliserol

Paramater	Mekanisme Esterifikasi-Hidrogenasi	Mekanisme Dehidrogenasi-Dehidrasi-Hidrogenasi	Mekanisme Dehidrasi-Hidrogenasi
Kondisi Operasi	T = 250 –420°C P = 78 atm	T = 230–380 °C P = 45 atm	T = 200-400 °C P = 45 atm
Katalis	Cu-ZnO	Ru, Pt, Rh	Ru/C, Pt/C
Reaktor	CSTR	Fixed Bed	<i>Fluidized Bed</i>
Waktu Reaksi	1–5 jam	0,5-2 jam	1–3 jam
Konversi	70–85%	89-92%	93-96%
Kelebihan	• Katalis lebih murah. • Proses sederhana. • Sedikit Limbah.	• Dapat digunakan untuk berbagai senyawa organik (alkena, alkuna, aromatik). • Efisiensi konversi tinggi	• Menghasilkan produk yang mudah dipisahkan • Hasil propilen glikol tinggi
Kekurangan	• Konversi relative lebih rendah • Waktu reaksi lebih lama.	• Tekanan operasi sangat tinggi. • Membutuhkan analisa <i>control</i> yang ketat • Biaya operasi tinggi.	• Katalis mahal dan sensitif • Kondisi operasi ekstrem • Potensi terbentuknya produk samping

Berdasarkan Tabel 1.6, terlihat bahwa masing-masing mekanisme memiliki karakteristik yang berbeda baik dari segi kondisi operasi, jenis katalis, maupun kinerja reaksi yang dihasilkan. Mekanisme esterifikasi-hidrogenasi cenderung memiliki proses yang lebih sederhana dan kondisi operasi yang relatif rendah, namun nilai konversi dan selektivitasnya masih terbatas. Sementara itu, mekanisme dehidrogenasi-dehidrasi-hidrogenasi menunjukkan peningkatan konversi yang cukup tinggi, tetapi memerlukan kondisi operasi yang lebih tinggi serta penggunaan katalis logam yang relatif mahal.

Di sisi lain, mekanisme dehidrasi-hidrogenasi menunjukkan performa yang lebih unggul dibandingkan mekanisme lainnya. Hal ini ditunjukkan oleh nilai konversi yang tinggi serta selektivitas yang lebih baik terhadap propilen glikol. Selain itu, reaksi ini lebih sederhana sehingga menyebabkan lebih mudah untuk dikontrol dan dioptimalkan dalam skala industri. Kebutuhan energi yang lebih rendah serta jumlah produk samping yang lebih sedikit juga menjadi keunggulan dari mekanisme dehidrasi-hidrogenasi.

Dengan mempertimbangkan aspek teknis, ekonomi, dan lingkungan, mekanisme dehidrasi-hidrogenasi dinilai sebagai pilihan yang paling sesuai untuk diterapkan dalam perancangan pabrik propilen glikol. Penggunaan bahan baku gliserol yang melimpah serta potensi efisiensi proses yang tinggi menjadi faktor utama dalam pemilihan mekanisme ini. Oleh karena itu, mekanisme dehidrasi-hidrogenasi dipilih sebagai dasar dalam pengembangan proses produksi pada perancangan pabrik.