PRODUKSI PROPILEN GLIKOL MELALUI HIDROGENOLISIS DARI GLISEROL

Fadhil Ihsanuddin Masyahur[1], Baroroh Nurjanah[1], Habibi Afta Setiawan[1], Arva Sahma Danurwenda[1], Muhammad Bisma Megantara[1], Aditya Dharmawan[1], Asa Aditya Persada[1*]

[1]Teknik Pengolahan Minyak dan Gas, Politeknik Energi dan Mineral Akamigas, Jalan Gajah Mada No. 38 Cepu, Blora, Jawa Tengah 58311

E-mail: asa.aditya.persada@gmail.com

ABSTRAK

Kebutuhan propilen glikol di Indonesia masih banyak dipenuhi melalui impor, sehingga diperlukan pengembangan industri dalam negeri berbasis bahan baku lokal. Penelitian ini bertujuan mengkaji produksi propilen glikol dari gliserol industri biodiesel melalui proses hidrogenolisis dengan kapasitas produksi 26.000 ton/tahun. Kapasitas tersebut ditetapkan berdasarkan proyeksi kebutuhan dan peluang pasar propilen glikol di Indonesia tahun 2031 sebesar 50.209,51 ton/tahun, dengan kapasitas pabrik ditetapkan sebesar 50% dari peluang pasar dan kemudian dibulatkan menjadi 26.000 ton/tahun. Proses produksi disimulasikan menggunakan *Aspen HYSYS V14* melalui dua tahap reaksi, yaitu dehidrasi gliserol menjadi asetol menggunakan katalis Cu/Al_2O_3 dan hidrogenasi asetol menjadi propilen glikol menggunakan katalis Cu/ZrO_2. Pabrik direncanakan beroperasi pada tahun 2031 dengan kebutuhan bahan baku gliserol sebesar 42.015,94 ton/tahun dan hidrogen sebesar 1.551,09 ton/tahun. Hasil analisis ekonomi menunjukkan *Total Capital Investment* (TCI) sebesar Rp808.831.319.849,09, *Payback Period* (PBP) 4,10 tahun, *Net Present Value* (NPV) sebesar Rp359.962.193.607,50, *Internal Rate of Return* (IRR) 24,05%, dan *Break Even Point* (BEP) 52%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa perancangan pabrik propilen glikol dari gliserol memiliki potensi untuk dikembangkan sebagai industri kimia dalam negeri. Analisis sensitivitas menunjukkan bahwa perubahan harga bahan baku dan harga jual produk memengaruhi kinerja ekonomi pabrik, dengan harga jual produk memberikan pengaruh yang lebih besar terhadap parameter kelayakan ekonomi.

Kata kunci: Propilen glikol, Gliserol, Hidrogenolisis , Produksi, Bahan baku terbarukan

1. PENDAHULUAN

Industri kimia merupakan salah satu sektor strategis yang memiliki peran penting dalam mendukung pertumbuhan ekonomi dan pembangunan industri nasional. Perkembangan industri kimia di Indonesia perlu didukung melalui peningkatan produksi bahan kimia dalam negeri agar kebutuhan pasar domestik tidak sepenuhnya bergantung pada produk impor[1]. Selain memenuhi kebutuhan industri, pendirian industri kimia juga dapat meningkatkan nilai tambah sumber daya domestik, membuka lapangan kerja, serta memperkuat kemandirian industri nasional [2].

Salah satu bahan kimia antara yang memiliki peranan penting dalam berbagai sektor industri adalah propilen glikol. Propilen glikol merupakan senyawa organik dengan rumus molekul $C_3H_8O_2$ yang berbentuk cairan tidak berwarna, tidak berbau, bersifat higroskopis, serta mudah larut dalam air dan berbagai pelarut organik[3] . Senyawa ini banyak digunakan sebagai pelarut, humektan, dan bahan baku dalam industri makanan, farmasi, kosmetik, resin poliester tak jenuh, serta cairan pendingin. Dalam industri farmasi, propilen glikol digunakan sebagai pelarut dalam formulasi obat cair, sirup, dan sediaan topikal, sedangkan dalam industri kosmetik senyawa ini berfungsi sebagai pelembap dan pelarut bahan aktif [4].

Kebutuhan propilen glikol di Indonesia masih banyak dipenuhi melalui pasokan impor. Berdasarkan data impor periode 2021–2025, volume impor propilen glikol berada pada kisaran 38.000–41.000 ton per tahun[5] . Dengan kecenderungan yang relatif stabil dan meningkat[6].

Kondisi tersebut menunjukkan bahwa kebutuhan domestik terhadap propilen glikol cukup besar, sedangkan produksi dalam negeri belum mampu memenuhi seluruh permintaan pasar. Ketergantungan terhadap impor juga dapat menimbulkan risiko terhadap fluktuasi harga, kontinuitas pasokan, serta kondisi perdagangan bahan kimia di pasar global. Oleh karena itu, pengembangan produksi propilen glikol di dalam negeri diperlukan untuk mengurangi ketergantungan terhadap impor dan meningkatkan kemandirian industri kimia nasional.

Peluang pengembangan industri propilen glikol juga didukung oleh pertumbuhan sektor industri pengguna, seperti industri makanan, farmasi, kosmetik, resin, dan *polyester* [7]. Kawasan Asia Pasifik menjadi salah satu wilayah dengan permintaan propilen glikol yang besar karena didukung oleh perkembangan industri manufaktur, farmasi, dan kosmetik di beberapa negara. Indonesia sebagai bagian dari kawasan Asia Pasifik memiliki peluang untuk mengembangkan industri propilen glikol guna memenuhi kebutuhan domestik sekaligus meningkatkan potensi pasar regional. Dengan demikian, produksi propilen glikol di Indonesia tidak hanya berpotensi mengurangi impor, tetapi juga dapat meningkatkan nilai tambah bahan baku dan memperkuat rantai pasok industri kimia nasional[7].

Salah satu bahan baku yang berpotensi digunakan dalam produksi propilen glikol adalah gliserol. Gliserol merupakan produk samping yang dihasilkan dari industri biodiesel dan oleokimia berbasis minyak sawit[8]. Ketersediaan gliserol yang cukup melimpah di Indonesia menjadikan bahan ini berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan baku produk kimia bernilai tambah. Pemanfaatan gliserol sebagai bahan baku propilen glikol juga dapat mendukung pengembangan industri berbasis sumber daya terbarukan serta mengurangi ketergantungan terhadap bahan baku petrokimia, seperti propilen oksida [9].

Produksi propilen glikol dari gliserol dapat dilakukan melalui proses hidrogenolisis . Pada proses ini, gliserol direaksikan dengan gas hidrogen menggunakan katalis logam, seperti tembaga, nikel, atau logam mulia, untuk menghasilkan propilen glikol dan air[10]. Reaksi hidrogenolisis gliserol umumnya berlangsung melalui dua tahap, yaitu dehidrasi gliserol menjadi asetol dan hidrogenasi asetol menjadi propilen glikol [11]. Proses ini memiliki keunggulan karena menggunakan gliserol sebagai bahan baku terbarukan, dapat meningkatkan nilai tambah produk samping biodiesel, serta berpotensi mengurangi penggunaan bahan baku berbasis minyak bumi. Meskipun demikian, proses hidrogenolisis tetap memerlukan pengendalian kondisi operasi dan pemilihan katalis yang sesuai karena dapat menghasilkan produk samping seperti etilen glikol dan 1,3-propandiol[12].

Beberapa penelitian sebelumnya telah membahas produksi propilen glikol melalui hidrogenolisis gliserol menggunakan berbagai jenis katalis dan kondisi operasi. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa gliserol dapat dikonversi menjadi propilen glikol dengan tingkat konversi dan selektivitas yang cukup baik apabila digunakan katalis serta kondisi operasi yang sesuai. Namun, pembahasan mengenai penerapan proses hidrogenolisis gliserol dalam perancangan produksi propilen glikol dengan kapasitas tertentu masih perlu dikaji lebih lanjut, terutama dari aspek kebutuhan bahan baku, tahapan proses, kondisi operasi, dan potensi pemenuhan kebutuhan pasar domestik. Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini bertujuan mengkaji produksi propilen glikol dari gliserol industri biodiesel melalui proses hidrogenolisis dengan kapasitas produksi 26.000 ton per tahun. Kajian ini meliputi kebutuhan bahan baku, tahapan proses produksi, kondisi operasi, serta potensi pengembangan produksi propilen glikol untuk mengurangi ketergantungan terhadap produk impor di Indonesia[13].

2. METODE

A. Jenis Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian berbasis simulasi proses dan perancangan pabrik yang dilakukan menggunakan perangkat lunak *Aspen HYSYS V14*. Penelitian bertujuan untuk mengkaji proses produksi propilen glikol dari gliserol melalui proses hidrogenolisis dengan kapasitas produksi 26.000 ton/tahun. Tahapan penelitian meliputi penentuan basis perancangan, penyusunan *flowsheet* proses, simulasi reaksi, pemisahan dan pemurnian produk, penyusunan neraca massa dan energi, perancangan peralatan utama, serta evaluasi ekonomi dan sensitivitas. Proses produksi dirancang melalui dua tahap reaksi, yaitu dehidrasi gliserol menjadi asetol dan hidrogenasi asetol menjadi propilen glikol.

B. Alat dan Bahan

Bahan utama yang digunakan dalam penelitian adalah gliserol dan hidrogen. Gliserol digunakan sebagai bahan baku utama yang dikonversi menjadi asetol pada tahap dehidrasi, sedangkan hidrogen digunakan sebagai reaktan pada tahap hidrogenasi asetol menjadi propilen glikol. Bahan baku gliserol yang digunakan dalam simulasi memiliki kemurnian 99%, sedangkan hidrogen memiliki kemurnian 99,9%.

Peralatan utama yang digunakan dalam penelitian berupa komputer atau laptop yang dilengkapi perangkat lunak *Aspen HYSYS V14* untuk simulasi proses. Unit proses yang disimulasikan meliputi pompa, *mixer*, *heater*, reaktor, *flash drum*, unit adsorpsi, *recycle*, kolom distilasi, *cooler*, dan tangki penyimpanan. Perancangan peralatan proses dilakukan berdasarkan hasil simulasi neraca massa dan energi serta kondisi operasi masing-masing unit.

C. Basis Perancangan dan Simulasi

Basis perancangan digunakan sebagai acuan dalam penyusunan simulasi proses produksi propilen glikol. Pabrik dirancang dengan kapasitas produksi sebesar 26.000 ton/tahun dan direncanakan beroperasi selama 330 hari/tahun atau 7.920 jam/tahun. Sistem simulasi dibangun menggunakan *Aspen HYSYS V14* dengan *Antoine* sebagai *property package* /model termodinamika yang digunakan dalam simulasi.

Umpan utama proses terdiri atas gliserol dan hidrogen. Laju alir gliserol yang digunakan sebesar 5.305,04 kg/jam, sedangkan laju alir hidrogen sebesar 195,84 kg/jam. Kedua bahan tersebut selanjutnya diproses melalui tahapan reaksi, pemisahan, *recycle*, dan pemurnian hingga diperoleh propilen glikol sebagai produk utama.

Tabel 1. Komposisi dan kondisi operasi umpan

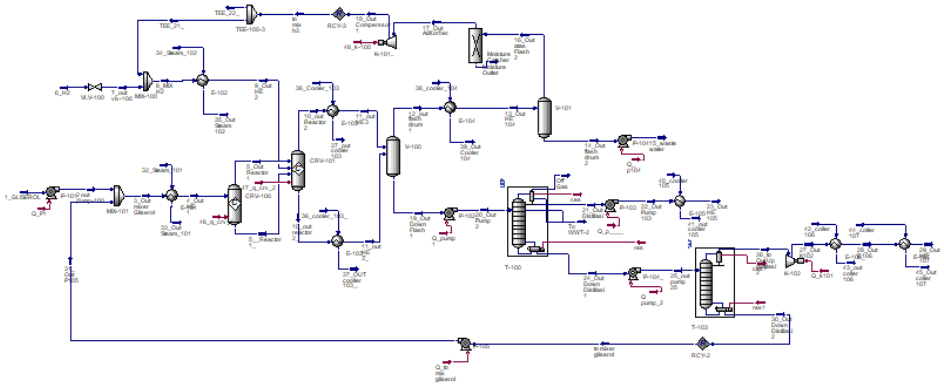
Parameter	Nilai
Perangkat lunak	*Aspen HYSYS V14*
Property package	*Antoine*
Kapasitas produksi	26.000 ton/tahun
Waktu operasi	330 hari/tahun
Waktu operasi per tahun	7.920 jam/tahun
Bahan baku utama	Gliserol
Kemurnian gliserol	99%
Reaktan	Hidrogen
Kemurnian hidrogen	99,9%
Laju alir gliserol	5.305,04 kg/jam
Laju alir hidrogen	195,84 kg/jam

Parameter	Nilai
Model reaktor pada simulasi	*Conversion Reactor*
Tipe reaktor desain	*Fixed-Bed Multitube Reactor*
Temperatur R-101	220 °C
Tekanan R-101	4,4 bar
Temperatur R-102	220 °C
Tekanan R-102	4 bar
Konversi R-101	85%
Konversi R-102	89%

D. *Flowsheet* Simulasi *Aspen HYSYS*

Simulasi proses disusun menggunakan *Aspen HYSYS V14* dengan memasukkan komponen yang terlibat dalam proses, yaitu gliserol, hidrogen, asetol, propilen glikol, dan air. Setelah komponen ditentukan, *property package Antoine* digunakan untuk perhitungan sifat termodinamika dalam simulasi. Selanjutnya, aliran bahan baku, unit pencampuran, pemanasan, reaktor, unit pemisahan, *recycle*, kolom distilasi, pendinginan, dan tangki produk disusun sesuai dengan rancangan proses.

Proses diawali dengan pengumpanan gliserol dan hidrogen. Gliserol terlebih dahulu dialirkan menuju sistem persiapan umpan sebelum masuk ke reaktor dehidrasi R-101, sedangkan hidrogen dialirkan melalui sistem persiapan umpan dan kemudian dicampurkan dengan aliran yang berasal dari sistem *recycle*. Produk keluaran R-101 kemudian dialirkan menuju R-102 untuk menjalani tahap hidrogenasi. Produk keluaran R-102 selanjutnya didinginkan dan dipisahkan untuk memisahkan komponen yang tidak diinginkan dan mengembalikan sebagian aliran ke proses melalui sistem *recycle*. Campuran cair kemudian dimurnikan menggunakan kolom distilasi C-101 dan C-102 hingga diperoleh propilen glikol sebagai produk utama.



Gambar 1. *Flowsheet* proses produksi propilen glikol menggunakan *Aspen HYSYS V14*

E. Penyusunan *Flowsheet* Simulasi *Aspen HYSYS*

Produksi propilen glikol dilakukan melalui dua tahap reaksi. Tahap pertama merupakan reaksi dehidrasi gliserol menjadi asetol, sedangkan tahap kedua merupakan reaksi hidrogenasi asetol menjadi propilen glikol.

1. Reaktor Dehidrasi R-101

Pada R-101, gliserol mengalami reaksi dehidrasi untuk menghasilkan asetol dan air. Persamaan stoikiometri reaksi yang digunakan adalah:

$$C_3H_8O_3 \rightarrow C_3H_6O_2 + H_2O \quad (1)$$

Reaktor R-101 menggunakan katalis Cu/Al_2O_3 dengan temperatur operasi 220 °C, tekanan 4,4 bar, dan konversi gliserol sebesar 85%. Dalam simulasi *Aspen HYSYS*, reaktor dimodelkan menggunakan *Conversion Reactor*, sedangkan untuk rancangan fisik digunakan tipe *Fixed-Bed Multitube Reactor*.

2. Reaktor Hidrogenasi R-102

Asetol yang dihasilkan pada R-101 selanjutnya direaksikan dengan hidrogen pada R-102 untuk menghasilkan propilen glikol. Persamaan stoikiometri yang digunakan adalah:

$$C_3H_6O_2 + H_2 \rightarrow C_3H_8O_2 \quad (2)$$

R-102 menggunakan katalis Cu/ZrO_2 dengan temperatur operasi 220 °C, tekanan 4 bar, dan konversi asetol sebesar 89%. Seperti R-101, model reaktor yang digunakan dalam simulasi *Aspen HYSYS* adalah *Conversion Reactor*, sedangkan rancangan fisiknya menggunakan *Fixed-Bed Multitube Reactor*. Konversi sebesar 85% pada tahap dehidrasi dan 89% pada tahap hidrogenasi mengacu pada basis literatur yang digunakan dalam perancangan, yaitu penelitian. Nilai tersebut digunakan sebagai parameter konversi dalam simulasi dan perancangan proses.

F. Sistem Pemisahan dan *Recycle*

Pemisahan dilakukan setelah tahap reaksi untuk memperoleh produk propilen glikol sekaligus mengembalikan komponen yang masih dapat digunakan ke dalam proses. Produk keluaran R-102 terlebih dahulu didinginkan dan dialirkan menuju unit pemisahan untuk memisahkan hidrogen yang tidak bereaksi dari campuran cair. Hidrogen yang telah dipisahkan dikembalikan menuju bagian umpan melalui aliran *recycle*. Campuran cair selanjutnya dimurnikan menggunakan kolom distilasi C-101 dan C-102. C-101 digunakan untuk memisahkan asetol dari campuran proses. Asetol yang dipisahkan dikembalikan menuju tahap reaksi melalui *recycle*. Aliran yang mengandung propilen glikol dan gliserol kemudian diteruskan menuju C-102. Pada C-102, propilen glikol dipisahkan sebagai produk utama, sedangkan gliserol yang belum bereaksi dikembalikan menuju bagian awal proses. Dengan demikian, sistem *recycle* dalam simulasi mencakup aliran hidrogen, asetol, dan gliserol.

3. PEMBAHASAN

A. Kinerja Proses Produksi Propilen Glikol

Produksi propilen glikol dari gliserol berlangsung melalui pembentukan asetol sebagai *intermediate* sebelum dikonversi lebih lanjut menjadi propilen glikol. Pemisahan jalur reaksi menjadi dua tahap memungkinkan pembentukan *intermediate* dikendalikan sebelum memasuki tahap hidrogenolisis. Pendekatan tersebut sejalan dengan mekanisme reaksi yang banyak digunakan pada *hydrogenolysis* gliserol, yaitu dehidrasi gliserol yang diikuti hidrogenasi *intermediate* menuju propilen glikol. Melaporkan bahwa jalur tersebut dapat dijelaskan melalui dua tahapan reaksi dengan energi aktivasi masing-masing 85,56 dan 57,80 kJ/mol.

Hasil simulasi menunjukkan konversi gliserol sebesar 85% pada tahap dehidrasi dan konversi asetol sebesar 89% pada tahap hidrogenolisis. Nilai tersebut menunjukkan bahwa sebagian besar reaktan berhasil dikonversi pada masing-masing tahap, meskipun belum seluruhnya berubah menjadi produk. Pada keluaran R-101 masih terdapat gliserol sebesar 856,44 kg/jam, sedangkan asetol yang terbentuk mencapai 4.223,56 kg/jam. Pada keluaran R-102, propilen glikol yang terbentuk mencapai 3.764,24 kg/jam dengan sisa asetol sebesar 569,34 kg/jam.

Nilai konversi tersebut perlu dipahami bersama dengan hasil pemisahan dan *recycle*. Konversi 85% pada tahap pertama menyebabkan sebagian gliserol tetap berada dalam aliran proses, sedangkan konversi 89% pada tahap kedua menyebabkan sebagian asetol belum berubah menjadi propilen glikol. Dengan demikian, sisa reaktan tidak langsung menjadi kehilangan bahan baku karena masih dapat dipisahkan dan dikembalikan ke proses. Hal ini menjadi salah satu alasan mengapa evaluasi kinerja proses tidak cukup hanya didasarkan pada konversi masing-masing reaktor, tetapi juga perlu mempertimbangkan kinerja sistem pemisahan dan daur ulang.

Temperatur operasi 220°C yang digunakan pada kedua tahap berada pada rentang kondisi yang telah dilaporkan untuk *hydrogenolysis* gliserol berbasis katalis Cu. Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa peningkatan temperatur dapat meningkatkan laju konversi gliserol, sedangkan kondisi temperatur yang terlalu tinggi dapat memengaruhi selektivitas akibat terbentuknya produk samping. Dengan demikian, penggunaan 220°C memberikan kondisi operasi yang masih relevan dengan karakteristik reaksi pembentukan propilen glikol. Namun, karena model yang digunakan dalam simulasi adalah *Conversion Reactor*, kesesuaian kondisi tersebut dipandang sebagai dukungan literatur terhadap kondisi operasi, bukan sebagai validasi eksperimental langsung.

Penggunaan Cu/Al_2O_3 pada tahap dehidrasi dan Cu/ZrO_2 pada tahap hidrogenolisis juga memiliki dasar dari karakteristik katalis berbasis Cu yang banyak digunakan pada konversi gliserol menjadi propilen glikol. Sistem Cu/Al_2O_3 diketahui dapat mendukung reaksi dehidrasi/hidrogenolisis gliserol, sedangkan keberadaan ZrO_2 pada katalis Cu dapat memengaruhi sifat permukaan dan interaksi logam support yang berperan terhadap aktivitas dan selektivitas reaksi. Oleh karena itu, penggunaan kedua katalis dalam tahapan yang berbeda dapat dipandang sesuai dengan fungsi reaksi yang ingin dicapai, meskipun optimasi aktivitas katalis secara eksperimental belum dilakukan dalam penelitian ini.

B. Hubungan Beban Reaksi dengan Kebutuhan Katalis dan Volume Reaktor

Perbedaan kondisi aliran pada kedua tahap tercermin pada kebutuhan ruang reaksi dan jumlah katalis. R-101 memiliki volume 0,84 m^3 dengan 84 *tube* dan 234 kg katalis, sedangkan R-102 memiliki volume 3,53 m^3 dengan 157 *tube* dan 664 kg katalis. Perbedaan tersebut terutama berkaitan dengan kebutuhan masing-masing tahap reaksi. Tahap hidrogenolisis menerima aliran yang tidak hanya mengandung asetol, tetapi juga hidrogen dan komponen lain yang terbawa dari tahap sebelumnya. Kondisi tersebut menghasilkan kebutuhan volume reaksi yang lebih besar pada R-102. Jumlah katalis yang lebih tinggi pada R-102 juga berkaitan dengan volume reaktor dan densitas katalis yang digunakan, yaitu 1.200 kg/m^3 pada R-102 dibandingkan 800 kg/m^3 pada R-101.

Tabel 2. Perbandingan kebutuhan reaktor

Parameter	R-101	R-102
Volume reaktor	0,84 m^3	3,53 m^3
Jumlah tube	84	157
Massa katalis	234 kg	664 kg
Densitas katalis	800 kg/m^3	1.200 kg/m^3

Perbedaan jumlah *tube* dan volume tersebut tidak menunjukkan bahwa salah satu reaktor memiliki kinerja yang lebih baik daripada yang lain. Pada konfigurasi *fixed-bed multitube*, ukuran dan jumlah *tube* disesuaikan dengan kebutuhan volume katalis, kapasitas aliran, perpindahan panas, dan pengendalian temperatur. Dengan demikian, jumlah 84 *tube*

pada R-101 dan 157 *tube* pada R-102 merupakan konsekuensi dari kebutuhan masing-masing tahap proses.

Hal yang lebih penting dari perbedaan ukuran tersebut adalah keterkaitannya dengan hasil reaksi. R-102 memiliki volume dan jumlah katalis yang lebih besar sekaligus menghasilkan propilen glikol sebesar 3.764,24 kg/jam. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan kebutuhan ruang reaksi pada tahap kedua berhubungan dengan beban proses yang harus ditangani untuk mengubah *intermediate* menjadi produk akhir. Dengan demikian, parameter volume, jumlah tube, dan massa katalis lebih tepat dipahami sebagai bagian yang saling berkaitan dalam pencapaian kondisi konversi yang ditetapkan.

Karena simulasi menggunakan *Conversion Reactor*, nilai konversi 85% dan 89% ditetapkan sebagai parameter simulasi, sedangkan massa katalis, volume, dan jumlah *tube* diperoleh dari tahap *sizing*. Oleh sebab itu, hubungan antara jumlah katalis dan konversi dalam penelitian ini tidak dimaksudkan sebagai hasil optimasi eksperimental, tetapi sebagai keterkaitan antara target konversi dan kebutuhan desain reaktor.

C. Sistem Pemisahan dan Daur Ulang terhadap Kinerja Proses

Hasil reaksi menunjukkan bahwa masih terdapat gliserol dan asetol yang belum bereaksi. Keberadaan komponen tersebut menyebabkan tahap pemisahan menjadi bagian penting dalam menentukan efisiensi keseluruhan proses. Aliran keluaran reaktor terlebih dahulu mengalami pemisahan komponen yang mudah menguap, termasuk hidrogen, kemudian dilanjutkan dengan pemisahan gliserol, asetol, dan propilen glikol.

Hidrogen yang masih terdapat dalam aliran keluaran dapat dipisahkan dan dikembalikan ke sistem reaksi. Sementara itu, gliserol yang belum bereaksi dikembalikan menuju umpan R-101, sedangkan asetol yang belum terkonversi diarahkan kembali menuju tahap hidrogenolisis . Pola *recycle* tersebut memungkinkan komponen yang masih memiliki nilai proses dimanfaatkan kembali sehingga keterbatasan konversi pada satu kali lintasan tidak secara langsung menyebabkan kehilangan bahan baku.

Dari sisi neraca massa, sistem *recycle* memberikan kontribusi terhadap pemanfaatan bahan baku. Aliran *recycle* gliserol mengandung sekitar 855,17 kg/jam gliserol dan 7,13 kg/jam propilen glikol, sedangkan sistem *recycle* lainnya mengembalikan komponen yang masih dapat digunakan dalam proses. Dengan adanya *recycle*, proses tidak sepenuhnya bergantung pada konversi satu lintasan karena sebagian komponen yang tidak bereaksi dapat dikembalikan ke unit sebelumnya. Kinerja sistem pemisahan kemudian terlihat dari komposisi produk akhir. Aliran menuju tangki produk mengandung propilen glikol sebesar 3.732,73 kg/jam dan asetol sebesar 4,33 kg/jam, dengan total 3.737,07 kg/jam.

Kandungan propilen glikol sebesar 99,88% menunjukkan bahwa pemisahan pada C-101 dan C-102 mampu menghasilkan produk dengan kandungan *intermediate* yang relatif rendah. Asetol sebesar 0,12% menjadi komponen utama yang masih tersisa pada produk. Dengan demikian, keberhasilan proses tidak hanya terlihat dari pembentukan propilen glikol pada reaktor, tetapi juga dari kemampuan rangkaian pemisahan menghasilkan produk dengan kemurnian yang tinggi.

D. Pemilihan Material dan Kondisi Operasi

Analisis Material SS316 digunakan pada beberapa peralatan yang bersentuhan langsung dengan aliran proses, termasuk reaktor. Pemilihan material ini berkaitan dengan kebutuhan

ketahanan terhadap lingkungan proses yang melibatkan senyawa kimia pada temperatur relatif tinggi. Dibandingkan *stainless steel* tipe 304, SS316 memiliki kandungan molibdenum yang memberikan peningkatan ketahanan terhadap beberapa bentuk korosi lokal, terutama pada lingkungan yang mengandung klorida.

Namun, pemilihan SS316 tidak berarti bahwa material sepenuhnya bebas dari korosi. Ketahanan material tetap dipengaruhi oleh komposisi fluida, temperatur, konsentrasi pengotor, dan kondisi operasi. Oleh karena itu, penggunaan SS316 pada proses ini dapat dipandang sebagai pilihan material yang memberikan ketahanan korosi yang lebih baik untuk kondisi proses yang dipertimbangkan, sedangkan evaluasi korosi yang lebih spesifik masih diperlukan pada tahap detailed engineering.

Kondisi operasi juga perlu dilihat secara bersamaan dengan pemilihan material. Temperatur 220°C diterapkan sebelum reaksi dan dipertahankan pada kedua tahap sehingga tidak diperlukan perubahan temperatur yang besar di antara R-101 dan R-102. Pendekatan ini menyederhanakan pengaturan temperatur antartahap, meskipun kebutuhan pemanasan dan pendinginan tetap muncul sebelum dan sesudah unit reaksi. Dengan demikian, pengaturan temperatur tidak hanya berkaitan dengan pencapaian konversi, tetapi juga berpengaruh terhadap kebutuhan energi dan pemilihan material proses**.**

E. Evaluasi Ekonomi

Pada kondisi dasar, pabrik menghasilkan ROR sebesar 24,37% dengan PBP 4,10 tahun. Nilai NPV sebesar Rp359.962.193.607,50 dan IRR sebesar 24,05% menunjukkan bahwa investasi menghasilkan nilai sekarang bersih yang positif dan tingkat pengembalian yang lebih tinggi daripada MARR sebesar 16%.

Tabel 3. Indikator ekonomi pada kondisi dasar

Parameter	Nilai
Total Capital Investment	Rp 808.831.319.849,09
Total Production Cost	Rp 511.799.158.288,80/tahun
Pendapatan	Rp 764.538.816.472,82/tahun
ROR	24,37%
PBP	4,10 tahun
NPV	Rp 359.962.193.607,50
IRR	24,05%
MARR	16%
BEP	52%
SDP	32%

Nilai tersebut menunjukkan kondisi ekonomi yang positif pada basis harga dan biaya yang digunakan. Namun, indikator tersebut merupakan kondisi dasar sehingga belum menggambarkan perubahan yang mungkin terjadi akibat fluktuasi harga bahan baku maupun harga produk. Oleh karena itu, sensitivitas terhadap kedua variabel tersebut menjadi penting untuk menilai tingkat ketahanan ekonomi proses.

F. Sensitivitas Kelayakan Ekonomi

Perubahan harga bahan baku sebesar −30% hingga +30% menunjukkan pola yang konsisten terhadap indikator ekonomi. Ketika harga bahan baku meningkat, ROR dan IRR menurun, sedangkan PBP meningkat. Pada kenaikan harga bahan baku sebesar 30%, ROR turun

menjadi 17,91%, IRR menjadi 17,16%, dan PBP meningkat menjadi 5,58 tahun. Sebaliknya, penurunan harga bahan baku sebesar 30% meningkatkan IRR menjadi 30,69% dan mempercepat PBP menjadi 3,24 tahun.

Tabel 4. Sensitivitas harga bahan baku dan harga produk

Perubahan harga	PBP bahan baku (tahun)	IRR bahan baku	PBP produk (tahun)	IRR produk
−30%	3,24	30,69%	44,36	−6,62%
−20%	3,49	28,49%	10,39	7,26%
−10%	3,77	26,28%	5,88	16,15%
0%	4,10	24,05%	4,10	24,05%
+10%	4,50	21,79%	3,15	31,62%
+20%	4,98	19,50%	2,56	39,07%
+30%	5,58	17,16%	2,15	46,47%

Pengaruh perubahan harga produk terlihat lebih besar dibandingkan perubahan harga bahan baku. Penurunan harga produk sebesar 10% menghasilkan IRR sebesar 16,15%, yang hanya sedikit berada di atas MARR. Pada penurunan sebesar 20%, IRR turun menjadi 7,26% dan NPV menjadi negatif sebesar Rp347,16 miliar. Kondisi paling kritis terjadi pada penurunan harga produk sebesar 30%, ketika IRR menjadi −6,62%, NPV menjadi −Rp700,72 miliar, dan PBP meningkat menjadi 44,36 tahun.

Sebaliknya, kenaikan harga produk memberikan peningkatan yang cukup besar terhadap kelayakan ekonomi. Pada kenaikan harga produk sebesar 30%, IRR mencapai 46,47%, sedangkan PBP turun menjadi 2,15 tahun. Perbedaan respons antara harga bahan baku dan harga produk menunjukkan bahwa harga jual propilen glikol merupakan variabel yang paling sensitif terhadap kelayakan ekonomi pada kondisi yang dianalisis. Perubahan harga jual secara langsung memengaruhi pendapatan penjualan, sedangkan perubahan harga bahan baku terutama memengaruhi biaya produksi.

Hasil sensitivitas tersebut memberikan implikasi bahwa pengendalian biaya bahan baku tetap diperlukan, tetapi strategi mempertahankan harga jual dan pasar produk memiliki pengaruh yang lebih besar terhadap keberlanjutan ekonomi pabrik. Pada kondisi penurunan harga produk yang relatif kecil, kelayakan masih dapat dipertahankan, sedangkan penurunan yang lebih besar dapat menyebabkan proyek berada di bawah kriteria investasi yang digunakan.

Secara keseluruhan, hasil simulasi menunjukkan bahwa proses dua tahap mampu mengonversi gliserol menjadi propilen glikol dengan kemurnian produk sebesar 99,88%. Konversi 85% pada tahap dehidrasi dan 89% pada tahap hidrogenolisis masih menghasilkan sejumlah reaktan yang belum bereaksi, tetapi keberadaan sistem pemisahan dan *recycle* memungkinkan komponen tersebut dimanfaatkan kembali. Perbedaan kebutuhan volume dan katalis pada kedua reaktor juga menunjukkan bahwa setiap tahap memiliki kebutuhan proses yang berbeda sesuai dengan beban reaksinya. Dari aspek ekonomi, kondisi dasar memberikan NPV positif dan IRR yang lebih tinggi daripada MARR, sedangkan analisis sensitivitas menunjukkan bahwa harga jual produk menjadi faktor yang paling menentukan perubahan kelayakan ekonomi. Hasil ini menunjukkan prospek proses yang baik pada kondisi dasar, dengan tetap diperlukan validasi lebih lanjut apabila proses dikembangkan menuju skala komersial.

4. SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, produksi propilen glikol dari gliserol melalui proses

hidrogenolisis dua tahap berhasil disimulasikan menggunakan *Aspen HYSYS V14* dengan kapasitas 26.000 ton/tahun. Proses menghasilkan kemurnian propilen glikol sebesar 99,88%, dengan konversi gliserol sebesar 85% dan asetol sebesar 89%. Hasil evaluasi ekonomi menunjukkan nilai IRR sebesar 24,05%, NPV sebesar Rp359,96 miliar, dan PBP selama 4,10 tahun, sehingga pabrik dinilai layak secara ekonomi pada kondisi dasar. Analisis sensitivitas menunjukkan bahwa harga jual produk menjadi faktor yang paling berpengaruh terhadap kelayakan ekonomi pabrik. Dengan demikian, produksi propilen glikol dari gliserol berpotensi dikembangkan untuk mengurangi ketergantungan impor di Indonesia.

Penelitian selanjutnya disarankan untuk melakukan validasi hasil simulasi melalui pengujian eksperimental serta optimasi kondisi operasi dan katalis untuk meningkatkan efisiensi proses. Selain itu, analisis ekonomi lebih lanjut perlu dilakukan sebelum pengembangan pabrik pada skala komersial.

5. DAFTAR PUSTAKA

[1] Arsya Maharani Julia Putri, Hana Aulia Maysani, Indah Fitriana, Maryana Salma, Salsabila Nur Fadhilah, and Naerul Edwin Kiky Aprianto, "Landasan Pembangunan Industri Di Indonesia Studi Kasus PT Kimia Farma," *Journal Economic Excellence Ibnu Sina*, vol. 2, no. 4, pp. 97–110, Dec. 2024, doi: 10.59841/excellence.v2i4.2059.

[2] D. Sagita Fitri *et al.*, "PENGARUH PENGEMBANGAN SEKTOR INDUSTRI TERHADAP PERTUMBUHAN EKONOMI DI INDONESIA," vol. 2, no. 1, pp. 204–215, 2025, doi: 10.61722/jrme.v2i1.3432.

[3] P. Bauduin, W. Kunz Adjudicators, and W. W. Kunz Barry Ninham Claudia Steinem, "Characterization of short polypropylene glycol monoalkylethers and design of enzymatic reaction media," 2005.

[4] M. J. Biddy, C. Scarlata, and C. Kinchin, "Chemicals from Biomass: A Market Assessment of Bioproducts with Near-Term Potential," 2016. [Online]. Available: www.nrel.gov/publications.

[5] "Data Ekspor Impor - Badan Pusat Statistik Indonesia." Accessed: Oct. 09, 2026. [Online]. Available: https://www.bps.go.id/id/exim

[6] G. Wirama Murti, A. Darmawan, N. Adelia, and dan Dorit Bayu Islam Nuswantoro Pusat Teknologi Sumberdaya Energi dan Industri Kimia Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi, "KAJIAN TEKNO EKONOMI PRODUKSI BAHAN PROPILENA GLIKOL BERBASIS BIOMASSA VIA HIDROGENOLISIS GLISEROL Techno-Economic Study on the Production of Biomass-based Propylene Glycol via Glycerol Hydrogenolysis."

[7] M. J. M. Khabibulloh, N. Suhartatik, and A. Mustofa, "Masa Depan dan Pengembangan Bioetanol di Indonesia," *AGRITEKNO: Jurnal Teknologi Pertanian*, vol. 13, no. 2, pp. 210–223, Dec. 2024, doi: 10.30598/jagritekno.2024.13.1.210.

[8] M. Anshari, "PRODUKSI DAN PEMANFAATAN GLISERIN PITCH DARI INDUSTRI OLEOKIMIA BERBASIS KELAPA SAWIT," 2026. Accessed: Oct. 09, 2026. [Online]. Available: https://warta.iopri.org/index.php/Warta/article/view/236

[9] G. Wirama Murti, A. Darmawan, N. Adelia, and dan Dorit Bayu Islam Nuswantoro Pusat Teknologi Sumberdaya Energi dan Industri Kimia Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi, "KAJIAN TEKNO EKONOMI PRODUKSI BAHAN PROPILENA GLIKOL BERBASIS BIOMASSA VIA HIDROGENOLISIS GLISEROL Techno-Economic Study on the Production of Biomass-based Propylene Glycol via Glycerol Hydrogenolysis."

[10] A. Cahyaningrum, "PEMBUATAN 1,2 PROPANDIOL DARI GLISEROL MELALUI PROSES HIDROGENOLISIS MENGGUNAKAN KATALIS Cu/ZnO DENGAN METODE CATALYTIC TRANSFER HYDROGENATION," 1977.

[11] E. Maulana Idzati, A. B. Yudhistira, F. Kurniawansyah, and H. Ni'mah, "Pra Desain Pabrik Propilen Glikol melalui Proses Hidrogenasi Gliserol," 2020.

[12] M. Theona Kaban *et al.*, "Jurnal Sains dan Teknolog Potensi Berbagai Bahan Baku Biodiesel Berbasis Tanaman dan Limbah serta Mekanisme Transesterifikasi: Sebuah Narrative Literature Review," *Jurnal Sains Dan Teknologi*, vol. 03, no. 1, 2026.

[13] A. Cahyaningrum, "PEMBUATAN 1,2 PROPANDIOL DARI GLISEROL MELALUI PROSES HIDROGENOLISIS MENGGUNAKAN KATALIS Cu/ZnO DENGAN METODE CATALYTIC TRANSFER HYDROGENATION," 1977.