

Pra Desain Pabrik Propilen Glikol melalui Proses Hidrogenasi Gliserol

Eka Maulana Idzati¹, Aldilla Bayu Yudhistira¹, Firman Kurniawansyah^{1*}, dan Hikmatun Ni'mah¹

Abstrak— Industri kimia di Indonesia terus mengalami peningkatan dalam bidang inovasi maupun teknologi. Salah satu sektor peningkatan yang signifikan yaitu dibidang bahan penunjang, salah satu contohnya Propilen glikol merupakan suatu senyawa organik yang banyak sekali digunakan dalam industri makanan, kosmetik dan farmasi, baik sebagai pelarut, pelembut pada kosmetik maupun sebagai absorber untuk menghilangkan *excess* air. Bahan baku yang digunakan untuk memproduksi propilen glikol adalah gliserol dari hasil produk samping industri biodiesel yang saat ini sedang dikembangkan di Indonesia. Propilen glikol (PG) dapat diproduksi melalui 2 metode yaitu *acetol pathway* dan *glyceraldehyde pathway*. Proses pembuatan propilen glikol pada parik ini ada 3 tahapan utama, yaitu *pre-treatment*, reaksi dan pemurnian. Proses *pre-treatment* bertujuan untuk menghilangkan kandungan garam organik dan metanol yang terdapat pada crude gliserol. Sedangkan pada tahapan reaksi gliserol murni di hidrogenasi pada reaktor hidrogenasi pada suhu 210°C dan tekanan 13 atm hingga terbentuk propilen glikol. Untuk tahapan pemurnian, propilen glikol dipisahkan dari *waste water* dan sisa *acetol* sebagai produk intermediet dan *propanol* sebagai produk samping menggunakan metode distilasi pada suhu 114°C dan tekanan 1,2 atm hingga kemurnian propilen glikol mencapai 97% dan disimpan ke dalam tangka penampung produk. Pabrik Propilen Glikol akan beroperasi pada tahun 2022 dan didirikan di Ngoro, Mojokerto dengan kapasitas sebesar 20.000 ton/tahun dan Bahan baku Gliserol yang dibutuhkan sebesar 36500 ton/tahun. Harga jual Propilen glikol sebesar \$1,2 per kg Dengan estimasi umur pabrik 10 tahun dan waktu pengembalian pinjaman selama 10 tahun, dapat diketahui *Return Of Investment (ROI)* sebesar 28,37 %, *Pay Out Time (POT)* selama 3.4 tahun dan *break even point (BEP)* sebesar 29,81%. Untuk dapat mendirikan pabrik propilen glikol dari gliserol berkapasitas 20.000 ton/tahun diperlukan total capital investment sebesar Rp. 267.862.525.132,79,- total production cost sebesar Rp. 169.302.685.000,- dengan estimasi hasil penjualan per tahun sebelum kena pajak yaitu sebesar Rp. 329.427.600.000,00,-.

Kata Kunci— *Acetol Pathway*, Gliserol, Hidrogenasi, Propilen Glikol

I. PENDAHULUAN

Pertumbuhan industri di Indonesia dari tahun ke tahun cenderung mengalami peningkatan. Beberapa industri yang dimaksud adalah industri makanan, farmasi, produk kimia, industri kosmetik, dan industri energi yang terbarukan. Salah satu energi terbarukan yang saat ini sedang dikembangkan adalah biodiesel. Biodiesel merupakan bahan bakar alternatif yang dihasilkan melalui transesterifikasi alkohol dan minyak nabati atau lemak hewani. Gliserol adalah produk samping produksi Biodiesel dari reaksi transesterifikasi dan merupakan senyawa alkohol dengan gugus hidroksil berjumlah tiga buah atau lebih tepat dinamai 1,2,3-propanetriol. Aplikasi gliserol biasanya digunakan sebagai bahan aditif pada industri makanan, kosmetik, dan farmasi. Dalam pengaplikasiannya, kebutuhan gliserol sebagai bahan aditif cukup kecil. Sehingga teknologi baru untuk menghasilkan produk berharga dengan pasar yang relatif besar dari gliserol sangat dibutuhkan. Teknologi baru yang dapat dikembangkan pada gliserol yaitu mengkonversi gliserol menjadi beberapa produk atau senyawa turunan. Salah satu senyawa turunan dari gliserol yang berpotensi dalam hal tersebut adalah senyawa propilen glikol.

Pada tahun 2018 produksi tahunan biodiesel secara global sebesar 8.7 milyar galon dan Indonesia menduduki peringkat ke 3 sebagai produsen biodiesel sebesar kurang lebih 1,05 milyar galon (T Wang, 2019). Seiring dengan keberhasilan industri biodiesel global, produksi gliserol sebagai produk sampingan dari produksi biodiesel juga akan meningkat. Peningkatan gliserol mentah sangat mempengaruhi harga pasar gliserol yang turun dari \$ 0,43

/ kg pada tahun 2003 menjadi \$ 0,18 / kg pada tahun 2010 untuk gliserol murni, dan hanya menjadi \$ 0,02 / kg untuk minyak mentah gliserin. Meskipun berbagai produk bisa berasal dari gliserol untuk aplikasi yang berbeda, permintaan untuk produk ini masih belum cukup untuk menangani meningkatnya pasokan gliserol mentah (Maglinao, 2011).

Gliserol pada pabrik produksi propilen glikol didapatkan dari industri biodiesel yang produksi biodiesel di Indonesia menduduki nomor 3 di Dunia. Sedangkan dari impor propilen glikol yang sangat banyak ini menyebabkan demand propilen glikol semakin meningkat dari tahun ke tahun. Peningkatan akan permintaan propilen glikol diproyeksikan dari tahun 2013 sampai 2018 sebesar 1,2% per tahun (UNData,2019). Namun, hingga saat ini belum ada satu pun perusahaan Indonesia yang memproduksi propilen glikol, sehingga seluruh kebutuhan untuk industri dalam negeri masih mengandalkan impor. Hal ini menyebabkan harga jual propilen glikol meningkat, sehingga pembuatan pabrik propilen glikol di Indonesia sangat diperlukan mengingat permintaan propilen glikol meningkat sebagai bahan baku pada industri farmasi, kosmetik, dan makanan di Indonesia. Oleh karena itu, pembangunan pabrik propilen glikol sangat diperlukan.

Propilen glikol (1,2-propadienol, 1,2-dihydroxypropane atau 1,2-propilen glikol) adalah cairan jenuh, kental, dan tidak berwarna yang memiliki sedikit bau, rasa yang pahit manis dan tekanan uap rendah. Propilen glikol merupakan suatu senyawa organik yang aplikasinya banyak dalam industri makanan, kosmetik dan farmasi, baik sebagai pelarut, pelembut pada kosmetik maupun sebagai absorber untuk menghilangkan *excess* air. Senyawa ini juga dapat

¹ Departemen Teknik Kimia, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya, 60111, Indonesia.
*Email: fk_pustaka@yahoo.com.

dijadikan sebagai *wetting agent* yang sempurna untuk *natural gum* dan dapat menjadi katalis dalam proses penyederhanaan persenyawaan sitrus dan emulsi perasa lainnya. Propilen glikol taraf industri merupakan perantara penting pada produksi resin alkil untuk cat dan *furnace*. Kegunaan lain dari propilen glikol adalah sebagai pendingin untuk automobile dan truk bermesin diesel. Propilen glikol memiliki sifat toksisitas yang rendah dan sifat formulasi yang baik, sehingga propilen glikol seringkali digunakan sebagai bahan baku pada produk makanan, kosmetik dan obat-obatan. Selain merupakan antimikroba dan pengawet makanan yang efektif, propilen glikol dapat dimanfaatkan secara luas sebagai pelarut bahan organik dan dapat larut dengan sempurna dalam air. Propilen glikol merupakan pelarut penting untuk senyawa aromatic pada industri konsentrat perasa.

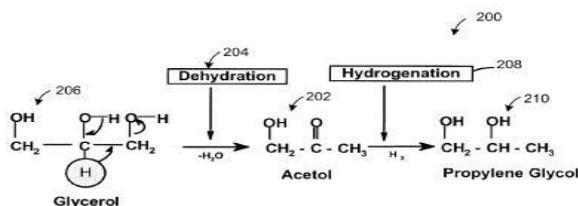
II. SELEKSI DAN URAIAN PROSES

Dalam memproduksi propilen glikol dengan menggunakan bahan baku gliserol dapat dilakukan dengan bermacam metode. Akan tetapi, pada prinsipnya pembuatan propilen glikol dilakukan dengan cara menghilangkan salah satu gugus utama dari gliserol dengan menggunakan proses hidrogenasi dengan bantuan katalis logam, dan ada efek samping dari reaksi hidrogenasi yaitu menghasilkan produk seperti etilen glikol yang memiliki titik didid yang mendekati propilen glikol.

Namun pada pemilihan proses tersebut, diperlukan beberapa pertimbangan aspek seperti bahan baku, konversi, dan kondisi operasi. Pemilihan proses sangat penting dilakukan untuk memperoleh produk bernilai jual tinggi dengan bahan baku yang murah dan biaya produksi yang relatif rendah.

A. Acetol Pathway

Proses pembuatan propilen glikol dari gliserol melalui acetol *pathway* merupakan proses yang paling sering diterapkan. Berdasarkan teori acetol *pathway*, gugus hydroxyl yang kedua didehidrasi menjadi acetol lalu diikuti oleh reaksi hidrogenasi katalitik menjadi propilen glikol. Proses dehidrasi merupakan proses awal untuk mengkonversi gliserol menjadi produk intermediet berupa acetol (hidroxyacetone) dengan cara memecah molekul air. Penggunaan acetol sebagai feedstock dalam proses hidrogenasi bertujuan untuk menurunkan reaksi samping, contohnya pembentukan etilen glikol (Maglinao, 2011). Acetol merupakan prekursor pada propilen glikol, yang dapat di hidrogenasi untuk mencapai selektivitas produk yang tinggi. Pada proses ini biasanya menghasilkan reaksi samping berupa senyawa alcohol seperti methanol, etanol, n-propanol, dan isopropanol (Maglinao, 2012). Acetol

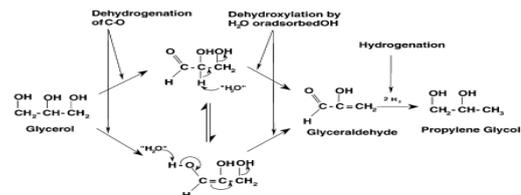


Pathway dapat dilihat pada **Gambar 1** :

Gambar 1. Proses Pembuatan Propilen Glikol melalui Acetol *Pathway*

B. Glyceraldehyde Pathway

Proses pembuatan propilen glikol dari gliserol melalui *glyceraldehyde pathway* terdapat dua mekanisme yaitu dehidrogenasi dan dehidroksilasi. Dehidrogenasi gliserol dapat menyebabkan untuk aldehida gliserik dalam kesetimbangan dengan tautomer enolnya. Reaksi dehidroksilasi, reaksi nukleofilik dari air atau spesies OH yang teradsorpsi kemudian diikuti oleh hidrogenasi dari aldehida tak jenuh menengah untuk membentuk glycol (1,3 propandiol, 1,2 propandiol, etilen glikol) (Dasari,

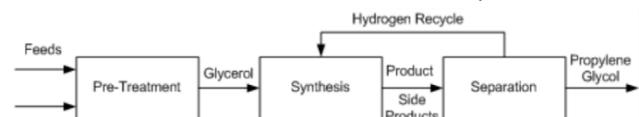


2004). *Glyceraldehyde Pathway* dapat dilihat pada **Gambar 2** :

Gambar 2. Proses Pembuatan Propilen Glikol melalui *Glyceraldehyde Pathway*

C. Proses Hidrogenasi

Pada dasarnya proses pembuatan propilen glikol dari gliserol melalui proses hidrogenasi. Proses hidrogenasi propilen glikol merupakan proses bereaksinya gliserol dengan gas hidrogen. Proses hidrogenasi bekerja pada kondisi operasi temperatur sekitar 150°C-240°C, dan tekanan sekitar 20-80 atm. Reaksi hidrogenasi bekerja didalam reaktor *fixed bed*. Dimana reaktor *fixed bed* (reaktor unggun tetap) merupakan reaktor yang paling sering digunakan pada reaksi multifase. Reaktor *fixed bed* menghasilkan reaksi dengan konversi yang tinggi. Reaktor *fixed bed* juga beroperasi pada kondisi temperature dan tekanan yang tinggi. Katalis yang digunakan misalnya Raney Nikel, tembaga kromat, Cu-ZnO/Al₂O₃, Ru/C, dan golongan VIIIA. Waktu reaksi yang dibutuhkan untuk reaksi hidrogenasi sekitar 0,1 jam – 6 jam yang terukur sebagai *residence time*. Konversi gliserol yang dihasilkan sebesar 90% - 100% dan selektivitas propilen glikol yang dihasilkan sekitar 90% - 98% (Godavarthy et al, 2011).



Secara umum proses hidrogenasi dapat dilihat pada **Gambar 3** :

Gambar 3. Diagram Alir Proses Hidrogenasi

D. Pemilihan Proses Pembuatan Propilen Glikol

Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam pemilihan proses adalah pemilihan bahan baku, konversi reaksi, kuantitas produk, serta kondisi operasi mengenai temperatur dan tekanan operasi. Dari kriteria-kriteria dan uraian proses pembuatan propilen glikol di atas. Dapat dilihat keuntungan dan kerugian dari masing-masing proses seperti terlihat dalam **Tabel 1** di bawah ini

TABEL 1.
PERBANDINGAN PEMILIHAN PROSES PEMBUATAN PRODUK PROPILLEN
GLIKOL

Parameter	Proses Hidrogenasi Berdasarkan Produk Intermediate	
	Acetol Pathway	Glyceraldehyde Pathway
Bahan Baku	- Gliserol - Gas Hidrogen	- Gliserol - Gas Hidrogen
Konversi	90 - 99,9%	48,9%
Yield	98,7%	33,8%
Selektivitas	90 - 98%	69,1%
Katalis	- Copper Chromite - Raney Nickel - Cu-ZnO/Al ₂ O ₃	- Ru/C - Pt/C
Tekanan (psi)	200	200
Temperatur (°C)	150-240	180-200
Byproduct	- N-Propanol - Isopropanol - Air	- 1,3 propanediol - Etilen Glikol
Ekonomi	1. Konversi gliserol tinggi 2. Selektivitas propilen glikol tinggi 3. Biaya operasi lebih ekonomis	1. Konversi gliserol rendah 2. Selektivitas propilen glikol rendah 3. Biaya operasi lebih mahal

Pada pendirian pabrik propilen glikol, dipilih *acetol pathway* yang diikuti dengan proses hidrogenasi. Beberapa pertimbangan pemilihan sebagai berikut:

1. Konversi dan selektivitas propilen glikol yang dihasilkan lebih tinggi
2. *Capital cost* produksi lebih rendah ketika memakai gabungan dari kondisi operasi proses hidrogenasi secara *acetol pathway* daripada hanya menggunakan *acetol pathway*

E. Uraian Proses

Proses produksi propilen glikol dari gliserol dan gas hidrogen dengan proses hidrogenasi terbagi menjadi tiga tahapan proses utama, yaitu:

1. Tahap *Pre-Treatment*
2. Tahap Reaksi Hidrogenasi
3. Tahap *Refinery* (pemurnian)

1) Tahap *Pre-Treatment*

Tahapan *pre treatment* ini merupakan proses *refinery* dari crude gliserol. Pada tahapan ini *crude gliserol* dari tanki penampung *Crude Gliserol* (F-111), bahan baku dipompa menuju Elektrodeionisasi (H-113) kondisi operasi P=2 atm, T=30 C, alat ini bertujuan untuk menghilangkan kandungan garam organik dalam *crude gliserol*. *Feed* yang keluar dari (H-113) terbagi menjadi 2 yaitu aliran larutan garam dan aliran *crude gliserol* dengan campuran air dan methanol. Aliran *crude gliserol* kemudian dipompa melewati *Heater* (E-115) untuk mendapatkan kondisi operasi T= 150 °C P= 2,04 atm untuk masuk ke *Flash Drum* (F-110), dimana *Flash Drum* (F-110) berfungsi untuk memisahkan air dan *methanol* yang terkandung dalam *Crude Gliserol*. *Bottom product* dari *Flash Drum* (F-110) yang berupa Gliserol murni T=150°C

dan P=1 atm dipompakan menuju *Pure Glycerol Storage Tank* (F-211)

2) Tahap Reaksi Hidrogenasi

Sebelum *Pure Gliserol* Dimasukkan ke Dalam Reaktor (R-210). Nitrogen di injeksikan ke Reaktor (R-210) sebagai *Purging* untuk menghilangkan Gas O₂ di dalam reaktor (R-210), kemudian dari *Pure Glycerol Storage Tank* (F-211) T=150 °C P=1 atm Bahan Baku dipompakan menuju ke Reaktor (R-210) melewati *Heater* (E-213), Kemudian, Hidrogen dimasukkan ke Reaktor (R-210) dan meningkatkan tekanan dengan Kompresor (G-214). Reaktor dioperasikan pada suhu operasi T=210 °C dan P=13atm untuk terjadinya proses Reaksi Hidrogenasi di dalam Reaktor (R-210). Keluaran atas Reaktor berupa Produk Propilen Glikol dari Reaktor Hidrogenasi (R-210) T=210°C P=13atm dialirkan dan didinginkan di *Condenser* (E-311 A) agar suhu turun ke T=114,3°C untuk masuk ke *Flash Vessel* (F-312) untuk memisahkan gas dan Produk Propilen Glikol, Pada flash vessel keluaran gasnya ditampung di penampungan gas.

3) Tahap *Refinery* (Pemurnian)

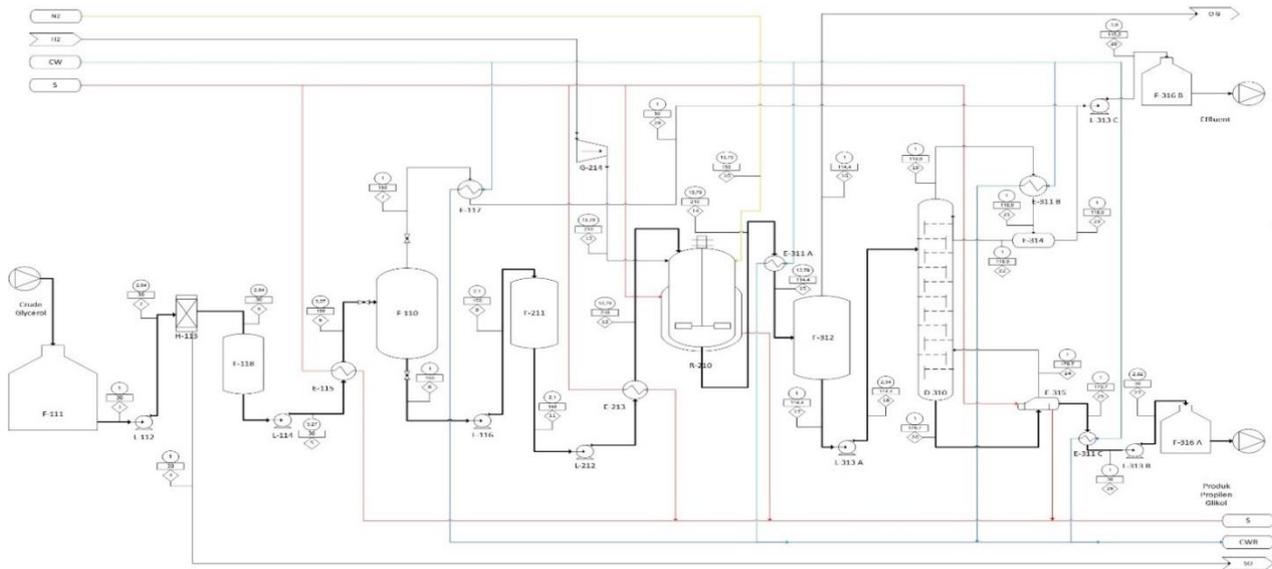
Keluaran *flash vessel* yang berupa liquid dipompakan (L-312) menuju kolom distilasi (D-310) beroperasi pada T= 114,3 C dan P= 1,2 atm untuk memisahkan propilen glikol dengan campuran produk samping hasil reaksi. Distilat dari proses ini berupa air dan campuran produk samping yang kemudian di alirkan menuju penampung *waste water* (F-316B), sedangkan *bottom* produk berupa propilen glikol dan sisa air dialirkan ke tanki penampung produk (F-316A). Sebelum ditampung produk di didinginkan terlebih dahulu sesuai dengan temperatur ruang T= 30 C dan P= 1 atm

III. NERACA MASSA

Berdasarkan hasil perhitungan neraca massa pada pabrik Propilen Glikol ini, maka dibutuhkan bahan baku *Crude Gliserol* sebesar 36.500 ton/tahun, dengan kapasitas produksi sebesar 20.000 ton/tahun.

IV. ANALISA EKONOMI

Dari perhitungan analisis ekonomi, dengan harga jual Propilen Glikol sebesar \$1,2 per kg diperoleh dengan estimasi umur pabrik 10 tahun dan waktu pengembalian pinjaman selama 10 tahun, dapat diketahui *Return of Investment* (ROI) sebesar 28,37 %, *Pay Out Time* (POT) selama 3.4 tahun dan *break even point* (BEP) sebesar 29,81%. Untuk dapat mendirikan pabrik propilen glikol dari gliserol berkapasitas 20.000 ton/tahun diperlukan total capital investment sebesar Rp. 267.862.525.132,79,- total production cost sebesar Rp. 169.302.685.000,- dengan estimasi hasil penjualan per tahun sebelum kena pajak yaitu sebesar Rp. 329.427.600.000,00,-. Sehingga pendirian pabrik propilen glikol dari gliserol ini layak untuk direalisasikan pembangunannya.



Gambar 4. Process Flow Diagram Pra Desain Pabrik Propilen Glikol melalui Proses Hidrogenasi

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dari perhitungan, didapatkan bahwa Pabrik Propilen Glikol ini akan beroperasi secara semi kontinyu, selama 24 jam, 330 hari/tahun operasi dengan perencanaan sebagai berikut :

Proses terpilih	: Acetol Pathway dengan Proses Hidrogenasi
Kapasitas produksi	: 20.000 ton/tahun
Kebutuhan Gliserol	: 36.500 ton/tahun
Umur pabrik	: 10 tahun
Masa konstruksi	: 2 tahun

Secara singkat evaluasi perencanaan pendirian pabrik tersebut dapat disajikan sebagai berikut:

Lokasi pabrik : Ngoro, Mojokerto, Jawa Timur

Analisis Ekonomi :

a. *Internal Rate of Return* (IRR) : 28,37%

b. *Pay Out Time* (POT) : 3,4 tahun

c. *Break Even Point* (BEP) : 29,81%

Berdasarkan hasil uraian diatas, ditinjau dari segi ekonomis maupun teknis, pabrik Propilen Glikol dari *Crude* Gliserol dengan proses Hidrogenasi ini layak didirikan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Arredondo et all, "Process for conversion the glycerol to propylene glycol and amino alchokol," United State Patent, Nov. 2009.
- [2] M. A. Dasari, "Low Hydrogenolysis of Glycerol to Propylenene Glycol," Columbia, USA. Elsevier: Science Direct, 2005.
- [3] K. Hall, dkk, "Glycerine to Propylene Glycol," Senior Design Report (CBE), Apr. 2011.
- [4] D.Q. Kern, "Process Heat Transfer," New York: Mc. Graw-Hill, 1983.
- [5] R. L. Maglinao, "Verification of Propylene Glycol Preparation from Glycerol via the Acetol Pathway by in situ Hydrogenolysis," Future Science, 2012.
- [6] G. Suppes, "Improved Process for Converting Glycerine to Propylene Glycol," Annual Report, Sep. 2006.
- [7] C. L. Yaws, "Chemical Propertise Handbook," Texas, United States of America: Mc. Graw-Hill, 1999.