

PRARANCANGAN PABRIK PROPILEN GLIKOL DARI GLISEROL DENGAN DISAIN ALAT UTAMA REAKTOR HIDROGENASI

Ulfa Dwi Artha¹⁾, Ahmad Fadli²⁾

¹⁾ulfa.dwi1903@student.unri.ac.id, ²⁾fadliunri@yahoo.com

¹⁾Mahasiswa Program Studi Teknik Kimia, ²⁾Dosen Teknik Kimia
Program Studi Teknik Kimia S1, Fakultas Teknik Universitas Riau
Kampus Bina Widya Jl. HR. Soebrantas KM 12,5 Simpang Baru, Panam
Pekanbaru, 28293

ABSTRACT

Propylene glycol or 1,2-propadienol is an organic compound which has low toxicity and good formulation properties. Propylene glycol can be used as a preservative or solvent in the food industry, softener or moisturizer in the cosmetic industry, drug formulas in the pharmaceutical industry, additives that function as viscosity and color stabilizers in the paint industry, and others. Application of propylene glycol is vast, so that the demand for propylene glycol increases from year to year. However, until now, all propylene glycol needs in Indonesia still rely on imports. Therefore, it is necessary to establish a propylene glycol factory in Indonesia. The pre-design of this plant is carried out in several steps, namely collecting data sources to support the establishment of the plant, calculating mass and energy balances, calculating heat and mass exchange networks, calculating and designing hydrogenation reactors and their supporting accessories, and economic analysis. In the pre-design of this plant, a reactor was designed in the form of a hydrogenation reactor which functions as a reaction site for acetol with hydrogen gas. The type of reactor used is a fixed bed multitube reactor with a temperature of 300 ° C and a pressure of 14 bar. The hydrogenation reactor has 48 tubes, 5,0627 m high, 0,4382 m outside diameter, and uses skirt support.

Keywords: *Propylene glycol, glycerol, hydrogenation reactor, economic analysis*

1. PENDAHULUAN

Propilen glikol atau 1,2-propadienol merupakan suatu senyawa organik yang memiliki sifat toksisitas yang rendah dan sifat formulasi yang baik. Oleh karena itu, propilen glikol dapat menggantikan etilen glikol sebagai bahan utama dalam pasar sebagai cairan antibeku sebanyak 2,4 miliar lb/tahun (Suppes dkk, 2011). Adapun beberapa kegunaan propilen glikol disektor industri adalah bahan pengawet maupun pelarut dalam industri makanan, bahan pelembut atau pelembab dalam industri kosmetik, formula obat dalam industri farmasi, aditif yang berfungsi sebagai penstabil viskositas dan warna dalam industri cat, sebagai pendingin

untuk automobil dan truk bermesin diesel (Knottnerus, 2007).

Proses pembuatan propilen glikol terdiri beberapa jenis proses, salah satunya adalah proses hidrogenasi gliserol. Proses hidrogenasi gliserol merupakan proses reaksi antara gliserol dan gas hidrogen dengan adanya katalis heterogen untuk menghasilkan propile glikol sebagai produk utama. Dipilihnya proses ini karena ketersediaan bahan baku dan yield yang dihasilkan dari proses ini lebih tinggi dibandingkan dengan proses yang lain. Pada tahun 2018, Indonesia memiliki data ekspor gliserol mentah maupun murni sebesar 398.577.705,02 kg/tahun, sedangkan data impor gliserol mentah

maupun murni sebesar 5.505.568 kg/tahun (Badan Pusat Statistik, 2019). Yield yang dihasilkan dari proses hidrogenasi gliserol sebesar 60-92% (Suppes dkk, 2011).

Kebutuhan propilen glikol di Indonesia dari tahun 2015 sampai 2018 masing-masing sebanyak 35.217.807 kg; 36.748.374 kg; 39.816.224 kg; dan 35.092.567 kg (Badan Pusat Statistik, 2019). Seluruh kebutuhan propilen glikol di Indonesia masih mengandalkan pasokan dari impor, dikarenakan belum ada perusahaan dalam negeri yang memproduksi propilen glikol. Oleh karena itu, perlu dilakukan pengembangan dan pembangunan pabrik propilen glikol di Indonesia.

Pabrik propilen glikol dari gliserol direncanakan akan didirikan pada tahun 2025 dengan kapasitas sebesar 70.000.000 kg/tahun dan berlokasi di daerah kawasan industri Dumai (KID), Pelitung, Kota Dumai, Provinsi Riau. Kawasan daerah ini merupakan kawasan industri di Provinsi Riau yang memiliki potensi pemasaran yang baik untuk industri dalam negeri maupun luar negeri, karena Kota Dumai berada di kawasan lintas perdagangan internasional Selat Melaka dan dekat dengan pusat perdagangan Singapura. Selain itu, di Kota Dumai terdapat pabrik pengolahan biodiesel terbesar di Indonesia, yaitu PT. Wilmar Bioenergy yang menghasilkan sebesar 1.300.000 ton/tahun dan adapun beberapa pabrik lain yang menghasilkan biodiesel di Kota Dumai, seperti PT. Ciliandra Perkasa dan PT Cermelang Energi Perkasa masing-masing pabrik menghasilkan 250.000 ton/tahun.

Pada pra-rancangan pabrik propilen glikol dari gliserol ini terdapat disain alat utama berupa reaktor hidrogenasi. Reaktor hidrogenasi yang berfungsi sebagai tempat terjadinya reaksi acetol dengan gas

hidrogen. Kondisi operasi di reaktor adalah suhu 300°C dan tekanan 14 bar. Jenis reaktor yang digunakan adalah reaktor *fixed bed multitube*, dimana tubenya berisi oleh katalis *copper-chromite*.

2. BAHAN DAN URAIAN PROSES

2.1 Bahan Baku dan Penunjang

Proses

2.1.1 Gliserol

Gliserol yang digunakan pada rancangan pabrik ini adalah gliserol yang didapat dari kerjasama dengan pabrik-pabrik pengolahan biodiesel dan turunan asam lemak (*fatty acid*) dari minyak sawit yang berlokasi di Kota Dumai, Riau. Salah satu pabrik yang akan kerjasama adalah PT. Wilmar.

2.1.2 Gas Hidrogen

Gas hidrogen yang digunakan pada rancangan pabrik ini adalah gas hidrogen yang didapat dari kerjasama dengan pabrik-pabrik pengolahan gas alam yang berlokasi di Kota Dumai, Riau. Salah satu pabrik yang akan kerjasama adalah PT. RU II Dumia.

2.1.3 Katalis *Copper-Chromite*

Berdasarkan Paten No. US 7943805 B2, jenis katalis yang digunakan adalah CuO/Cr₂O₃. Adapun spesifikasi katalis yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Spesifikasi Katalis

Sifat	Spesifikasi
Komposisi	
CuO	30-80%
Cr ₂ O ₃	20-60%
Bentuk	<i>Tablets</i>
Ukuran	3,3 mm
Luas area	30 BET, m ² /g
<i>Porous volume</i>	0,2 cm ³ /g
Densitas	0,8 g/cm ³

Berat yang digunakan	0,5% wt of catalyst
----------------------	---------------------

2.2 Uraian Proses Hidrogenasi Gliserol

Adapun beberapa tahap proses hidrogenasi gliserol, yaitu :

2.2.1 Reaksi Dehidrasi

Pertama-tama, gliserol diumpankan ke reaktor (R-101), sehingga terjadilah pelepasan molekul H_2O dari gliserol dengan bantuan katalis Cu/Cr, sehingga menghasilkan produk berupa aseton. Reaksi ini disebut reaksi dehidrasi yang terjadi secara reversibel dan endotermis, sehingga diperlukan penambahan panas untuk menjaga kesetimbangan reaksi pada reaktor. Reaktor yang digunakan adalah reaktor yang non isothermal dan berjenis *packed bed* dengan kondisi operasi adalah suhu $240^{\circ}C$ dan tekanan 1 bar dengan waktu tinggal 30 menit.

2.2.2 Pemurnian Asetol

Produk dari reaktor dehidrasi akan diumpankan ke distilasi (D-101). Di dalam distilasi (D-101) akan terjadi pemisahan antara aseton dengan gliserol yang tidak terkonversi. Kondisi operasi distilasi (D-101) adalah suhu $573^{\circ}K$ dan tekanan 1 bar. Produk keluaran distilasi terdiri dari 2 produk yaitu produk *bottom* dan *top*. Dimana, *bottom* produknya adalah aseton dan akan diteruskan ke reaktor hidrogenasi (R-102), sedangkan *top* produknya adalah gliserol yang tidak terkonversi.

2.2.3 Reaksi Hidrogenasi

Sebelum masuk ke reaktor hidrogenasi (R-102), gas hidrogen murni akan di *mixing* dengan gas hidrogen *recycle* di alat *mix point* (MP-101). Gas hidrogen keluaran *mix point* (MP-101) akan diumpankan ke dalam reaktor (R-102). Di dalam reaktor (R-102) akan terjadi reaksi hidrogenasi antara gabungan

gas hidrogen dan aseton dengan bantuan katalis Cu-Cr. Jenis reaktor yang digunakan adalah reaktor *fixed bed multitube*. Kondisi operasi di reaktor (R-102) adalah suhu $300^{\circ}C$ dan tekanan 14 bar.

2.2.4 Pemurnian Propilen Glikol

Produk dari reaktor hidrogenasi akan diteruskan ke *flash drum* (F-101). Didalam *flash vessel* akan terjadi pemisahan antara propilen glikol dengan gabungan gas hidrogen. Kondisi operasi *flash drum* (F-101) adalah suhu $341^{\circ}K$ dan tekanan 14 bar. Produk keluaran *flash drum* terdiri dari 2 produk yaitu produk *bottom* dan *top*. Dimana, *top* produknya adalah gabungan gas hidrogen yang tidak terkonversi akan di *recycle* ke reaktor (R-102), sedangkan *bottom* produknya adalah propilen glikol yang akan diumpankan kolom distilasi (D-102).

Propilen glikol keluaran dari *flash drum* (F-101) akan diumpankan ke kolom distilasi (D-102). Kolom distilasi (D-102) bertujuan memisahkan antara propilen glikol dengan campuran air dan aseton yang tidak terkonversi. Produk keluaran distilasi (D-102) terdiri dari 2 produk yaitu produk *bottom* dan *top*. Dimana, *top* produk dari kolom distilasi adalah aseton dan air, sedangkan *bottom* produk kolom distilasi adalah propilen glikol dengan tingkat kemurnian 99,75%.

3. METODOLOGI

Adapun langkah-langkah dalam perancangan pabrik propilen glikol ini adalah sebagai berikut :

1. Pengumpulan sumber data pendukung pendirian pabrik dan proses produksi yang akan dilakukan.
2. Perhitungan neraca massa dan energi pada setiap unit.

3. Perhitungan jaringan alat penukar panas dan massa.
4. Perhitungan dan disain setiap unit utama dan utilitas yang akan digunakan dalam pabrik.
5. Penambahan sistem pengendalian dan instrumentasi proses yang dibutuhkan dalam pabrik.
6. Disain alat utama.
7. Analisis ekonomi.

4. DISAIN REAKTOR HIDROGENASI

Perancangan reaktor hidrogenasi dilakukan atas beberapa tahapan, yaitu :

4.1 Menentukan Persamaan Laju Reaksi

Menurut Chiu & Suppes, (2006), reaksi hidrogenasi gliserol merupakan reaksi orde nol, sehingga persamaan laju reaksi :

$$-r_A = -\frac{dC_A}{dt} = k_0 \quad \text{..... (4.1)}$$

Dimana, nilai k_0 didapat sebesar $5,2 \times 10^{10} \exp(-25348,2/RT)$ mol/(jam.gram katalis) dari persamaan Arrhenius.

4.2 Menentukan Data Fisis dan Termal Bahan

4.3 Menghitung Massa, Volume, dan Tinggi Katalis

Persamaan untuk menghitung massa katalis, volume total tumpukan katalis, dan tinggi tumpukan katalis keseluruhan pada reaktor berturut-turut sebagai berikut:

$$X = k_0 \frac{W}{F} \quad \text{..... (4.2)}$$

$$V_{katalis} = \frac{W}{\rho_{katalis}} \quad \text{..... (4.3)}$$

$$Z = \frac{4 \times W}{\pi \times ID^2 \times \rho_{katalis}} \quad \text{..... (4.4)}$$

Dimana, X = konversi reaksi (%), W = berat katalis (g), F = laju alir massa umpan (g/jam), $V_{katalis}$ = volume total tumpukan katalis (cm^3), $\rho_{katalis}$ = densitas katalis (g/cm^3), Z = tinggi tumpukan

katalis keluruhan (cm), ID = diameter tube dalam (cm).

4.4 Menghitung dan Mendisain Diameter, Tebal, Susunan, Tinggi, dan Jumlah Tube

Diameter tube dipilih berdasarkan pertimbangan perpindahan panas agar dapat berjalan baik. Menurut Colburn's dalam buku Smith (1981) Hal. 511, terdapat pengaruh rasio D_p/D_t terhadap hw/h dan nilai hw/h tertinggi adalah 7,80 sehingga D_p/D_t yang digunakan untuk menghitung diameter tube sebagai berikut:

$$\frac{\text{diameter partikel}}{\text{diameter tube}} = 0,15 \quad \text{..... (4.5)}$$

Setelah diameter tube didapat, maka dipilih spesifikasi tube berdasarkan ketersediaan yang dapat dilihat pada Tabel 11 buku Kern (1965). Selanjutnya, pemilihan susunan tube. Pada prarancangan ini, susunan tube yang digunakan adalah pola *triangular pitch*. Tebal tube dan jarak antar pusat pipa (P_t) dan jarak antar pipa (C) perlu dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$\text{Tebal tube} = \frac{OD-ID}{2} \quad \text{..... (4.6)}$$

$$P_t = 1,25 \times OD \quad \text{..... (4.7)}$$

$$C' = P_t - OD \quad \text{..... (4.8)}$$

Pada prarancangan ini, tinggi tube dicari dengan menggunakan aplikasi polymatch, supaya konversi reaksi yang dirancang tercapai dan menentukan tinggi tumpukan katalis per tube dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$Z = 80\% \times L \quad \text{..... (4.9)}$$

Setelah itu, menghitung jumlah tube yang dibutuhkan dengan menggunakan persamaan berikut :

$$N_t = \frac{\text{tinggi tumpukan katalis keseluruhan}}{\text{tinggi tumpukan katalis per tube}} \quad \text{..... (4.10)}$$

4.5 Menghitung dan Mendisain Diameter, Tebal, dan Volume Shell

Diameter dalam *shell* (ID_s) dapat ditentukan berdasarkan jumlah tube yang

dapat dilihat pada Tabel 9 Hal. 842 buku Kern (1965). Tebal shell (t_s) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$t_s = \frac{P_d \times r}{f \times E - 0,6 \times P} + C_A \dots\dots\dots (4.11)$$

Dimana : t_s = tebal shell (in), P_d = tekanan desain (psi), r = jari-jari shell (in), f = tekanan yang diizinkan (psi), E = efisiensi sambungan (%), C_A = korosi yang diizinkan (in).

Setelah mendapatkan nilai tebal shell (t_s), selanjutnya dapat dilihat pada Tabel 5.7 buku Brownell & Young (1959) Hal. 89 untuk mendapatkan ukuran diameter luar shell standar (ODs). Menghitung volume shell (V_s) dapat menggunakan persamaan berikut :

$$V_s = \frac{\pi}{4} \times ID_s^2 \times H_s \dots\dots\dots (4.12)$$

Dimana : ID_s = diameter shell (m), H_r = Tinggi shell = tinggi tube (m)

4.6 Menghitung dan Mendisain Jenis, Tebal, Tinggi, dan Volume Head dan Bottom

Pada prarancangan ini dipilih jenis penutup atas dan bawah berbentuk *elliptical flanged and dished head* dengan pengelasan jenis *double-welded butt joint*. Tebal head (t_h) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$t_h = \frac{P_d \times ID_s}{2 \times f \times E - 0,2 \times P} + C \dots\dots\dots (4.13)$$

Dimana, t_h = tebal head (in), P_d = tekanan desain (psi), ID_s = diameter shell (in), f = tekanan yang diizinkan (psi), E = efisiensi sambungan (%), C_A = korosi yang diizinkan (in).

Sebelum menghitung tinggi head (OA), diperlukan data *inside corner radius* (icr) dan *radius of dish* (r) yang dapat dilihat Brownell & Young (1959) Tabel 5.7 Hal. 101, serta data *straight flange* (sf) yang dapat dilihat Brownell & Young (1959) Tabel 5.6 Hal. 100. Setelah itu,

menghitung tinggi head (OA) dapat menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$b = r - \sqrt{(r - icr)^2 - \left(\frac{ID}{2} - icr\right)^2} \dots\dots\dots (4.14)$$

$$AB = ID/2 - icr \dots\dots\dots (4.15)$$

$$BC = r - icr \dots\dots\dots (4.16)$$

$$AC = \sqrt{BC^2 - AB^2} \dots\dots\dots (4.17)$$

$$OA = t_h + b + sf \dots\dots\dots (4.18)$$

Dimana, b = *depth of dish* (in), ID = *inside diameter* (in), r = jari-jari (in), icr = *inside-corner radius* (in), sf = *straight flange length* (in), OA = tinggi head (in).

Menghitung volume head jenis *elliptical dished head* menggunakan persamaan berikut :

$$V_{hb} = 0,000076 \times ID_s^3 \dots\dots\dots (4.19)$$

Dimana : V_{hb} = volume head (m^3), ID_s = diameter shell (m).

4.7 Menghitung Tinggi dan Volume Total Reaktor

Menghitung tinggi reaktor (H_r) dan volume reaktor (V_r) dapat menggunakan persamaan berikut :

$$H_r = H_s + (2 \times OA) \dots\dots\dots (4.20)$$

$$V_r = (2 \times V_h) + V_s \dots\dots\dots (4.21)$$

Dimana, H_r = tinggi reaktor (m), H_s = tinggi shell (m), OA = tinggi head (m), V_r = volume reaktor (m^3), V_{hb} = volume head (m^3), V_s = volume shell (m^3).

4.8 Menghitung dan Mendisain Perpipa dan Nozzle

Menghitung nozzle menggunakan persamaan berikut :

$$d_{optimum} = 293 \times G^{0,53} \times \rho^{-0,37} \dots\dots\dots (4.22)$$

Dimana, $d_{optimum}$ = diameter optimum dalam pipa (mm), G = kecepatan aliran massa fluida (kg/s), ρ = densitas fluida (kg/m^3).

Setelah itu, lihat spesifikasi pipa menggunakan Tabel 11 Kern (1965) dan Appendix F item 1 dan 2 Brownell & Young (1959).

4.9 Menentukan Manhole

Manhole yang digunakan berukuran standar 20 in berdasarkan rekomendasi API Standard 12 C (Brownell & Young, Appendix F item 4, 1959).

4.10 Menghitung Tumpukan Katalis (Bed atau Grid Support)

Tebal *perforated plate* dapat di hitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$t = d \sqrt{C' \left(\frac{P}{f} \right)} \dots\dots\dots (4.23)$$

Dimana, t = tebal minimum *plate* (in), d = diameter *plate* (in), C' = konstanta dari Appendix H Brownell & Young, 1959 (0,162), f = maksimum *allowable stress* berdasarkan jenis bahan yang digunakan dan didapat dari Tabel 13.1 Brownell & Young, 1959 (psi), P = tekanan total perancangan (psi), N_t = jumlah tube, a_t = area tube (in²).

4.11 Menghitung Flange, Bolt, dan Gasket

1. Gasket

Lebar *gasket* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$\frac{d_o}{d_i} = \sqrt{\frac{y - P m}{y - [P (m+1)]}} \dots\dots\dots (4.24)$$

Dimana, d_o = diameter luar *gasket* (in), d_i = diameter dalam *gasket* (in), P = tekanan *design* (psi), y = *yield stress* didapat dari Gambar 12.11 Brownell & Young, 1959 (lb/in²), m = faktor *gasket* didapat dari Gambar 12.11 Brownell & Young, 1959.

Diasumsikan bahwa diameter dalam *gasket* di sama dengan diameter luar *shell* untuk mendapatkan nilai diameter luar *gasket* (d_o). Selanjutnya menghitung lebar *gasket* minimum (N) dan diameter *gasket* rata-rata (G) dengan menggunakan persamaan berikut :

$$N = \frac{d_o - d_i}{2} \dots\dots\dots (4.25)$$

$$G = d_i + \text{lebar } gasket \dots\dots\dots (4.26)$$

2. Bolt

Perhitungan berat beban *bolt* pada kondisi tanpa tekanan dan beban baut agar tidak bocor saat operasi (H_p) dapat menggunakan persamaan berikut :

$$W_{m2} = H_y = \pi \times b \times G \times y \dots\dots (4.27)$$

$$H_p = 2 \times b \times \mu \times G \times m \times p \dots\dots (4.28)$$

Dimana, H_y = berat beban *bolt* maksimum (lb), W_{m2} = beban berat *bolt* pada kondisi tanpa tekanan dalam (lb), b = efektif *gasket* (in), G = diameter *gasket* rata-rata (in), y = *yield stress* (lb/in²), H_p = beban *joint tight* (lb), m = faktor *gasket* (Fig.12.11), p = tekanan operasi (psi).

Kemudian, menghitung berat dari tekanan dalam (H) dan total berat beban pada kondisi operasi (W_{m1}) dengan menggunakan persamaan berikut :

$$H = \frac{\pi G^2 P}{4} \dots\dots\dots (4.29)$$

$$W_{m1} = H + H_p \dots\dots\dots (4.30)$$

Selanjutnya, menghitung total luas *bolt* pada kondisi operasi (A_{m1}) dengan menggunakan persamaan berikut :

$$A_{m1} = \frac{W_{m1}}{fb} \dots\dots\dots (4.31)$$

Dimana, fb = tekanan dari *bolting material* (psi)

Spesifikasi ukuran *bolt* yang akan digunakan berdasarkan Brownell & Young (1959) Tabel 10.4 Hal. 188. Setelah itu, hitung jumlah *bolt* minimum (N_{bolt}) dan diameter lingkaran baut (*bolt circle diameter*, BC) dengan persamaan berikut :

$$N_{bolt} = \frac{A_{m1}}{\text{root area}} \dots\dots\dots (4.32)$$

$$BC = ID_{shell} + 2 \times (1,415 \times t_s + R) \dots\dots (4.33)$$

Dimana, t_s = tebal *shell* (in), R = *minimal radian distance* dari Tabel. 10.4 Hal. 188 Brownell & Young, 1959 (in).

3. Flange

Diameter luar *flange* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$\text{Flange OD (A)} = BC + 2E \dots\dots (4.34)$$

Dimana, E = *edge distance* yang didapat dari Tabel. 10.4 Hal. 188 Brownell & Young, 1959 (in). Kemudian dilakukan pengecekan lebar gasket aktual yang dipilih dengan cara :

$$A_{\text{actual}} = N_{\text{bolt}} \times \text{Root area} \dots (4.35)$$

Selanjutnya, hitung lebar gasket minimum aktual ($N_{\text{min,actual}}$) dengan menggunakan rumus :

$$N_{\text{min,act}} = \frac{A_{\text{actual}} \times f_{\text{allow}}}{2 \times y \times \pi \times G} \dots (4.36)$$

Apabila nilai $N_{\text{min,act}} < N_{\text{min}}$, maka pemilihan *bolt* tepat.

4.12 Menghitung dan Mendisain Sistem Penyangga Reaktor Berupa Skirt Support, Anchor Bolt, dan Base Ring

1. Design Skirt Support

Ada beberapa langkah untuk menghitung *skirt support* yang terdapat pada di Megyesy (1972) Hal. 58 dan 76, yaitu :

- a. Menghitung moment pada base

$$M = P_W \cdot D \cdot H \cdot h_1 \dots (4.37)$$

- b. Menghitung volume *shear*

$$V = P_W \cdot D \cdot H \dots (4.38)$$

- c. Menghitung momen pada batas penyambungan *skirt*

$$M_T = M - h_T(V - 0.5 \cdot P_W \cdot D \cdot h_T) \dots (4.39)$$

- d. Menghitung diameter luar *skirt*

$$OD_{\text{skirt}} = OD_{\text{shell}} + \frac{OD_{\text{shell}}}{24} + (2 \times sf) + \left(\frac{2}{3} \times icr\right) \dots (4.40)$$

- e. Menghitung tebal *skirt*

$$t = \frac{12MT}{R^2 \times \pi \times S \times E} + \frac{W}{D \times \pi \times S \times E} \dots (4.41)$$

Dimana, t = tebal *skirt* (in), R = radius luar dari *skirt* = $OD_{\text{skirt}}/2$ (in), S = nilai *stress* dari head atau material *skirt* (psi), W = berat kolom (lb), P_W = *wind pressure* (Tabel 9.1 Brownell dan Young, 1959), D = diameter luar *shell* (ft), H = tinggi menara total (ft), h_1 = level arm = $H/2$ (ft), M_T = Momen pada penyambungan *skirt* (ft lb), h_T = ketinggian *skirt* (ft), V = total *shear* (lb).

2. Design Anchor Bolt

Ada beberapa langkah untuk menghitung *anchor bolt* yang terdapat di Megyesy (1972) Hal. 78

- a) Menghitung maksimum *tension*

$$T = \frac{12M}{A_B} - \frac{W}{C_B} \dots (4.42)$$

- b) Menghitung dan menentukan area *bolt*

$$B_4 = \frac{TC_B}{S_B N} \dots (4.43)$$

Dimana, T = *maximum tension* (lb/lin in), S_B = *maximum allowable stress* dari material (psi), N = jumlah *anchor bolt* (Tabel B Megyesy, 1972), M = momen pada *base ring* berdasarkan tekanan angin (psi), A_B = area di dalam lingkaran *bolt* (in²), C_B = *circumference* pada lingkaran *bolt* (in).

Setelah mendapatkan nilai B_A dari perhitungan maka dapat dilihat pada tabel A Megyesy, 1972 untuk mendapatkan nilai B_A yang digunakan serta nilai I_2 dan I_3 .

3. Design Base Ring

Ada beberapa langkah untuk menghitung *base ring* yang terdapat di Megyesy (1972) Hal. 79, yaitu :

- a. Menghitung ID_{skirt}

$$ID_{\text{skirt}} = OD_{\text{shell}} - (2 \times \text{tebal skirt}) \dots (4.44)$$

- b. Menghitung jari-jari dalam *skirt*

$$R = ID_{\text{skirt}}/2 \dots (4.45)$$

- c. Menghitung area dalam *skirt* (A_s)

$$A_s = \pi \times R_{\text{skirt}}^2 \dots (4.46)$$

- d. Menghitung *circumference* pada OD *skirt* (C_s)

$$C_s = \pi \times OD_{\text{skirt}} \dots (4.47)$$

- e. Menghitung maksimum kompresi *base ring*

$$P_c = \frac{12M}{A_s} + \frac{W}{C_s} \dots (4.48)$$

Dimana, P_c = kompresi maksimum pada *base ring* (psi), W = berat *vessel* (lb), M = momen pada *base ring* berdasarkan tekanan angin (psi), A_s =

luas area di dalam skirt (in²), C_s = *circumference* pada OD skirt (in).

f. Menghitung lebar *base ring*

$$l = \frac{P_c}{f_b} \dots\dots\dots (4.49)$$

Dimana, f_b = *safe bearing load* pada *concrete* (Tabel E Megyesy, 1972).

g. Menghitung ketebalan *base ring*

$$t_B = 0,32 \times I_i \dots\dots\dots (4.50)$$

Dimana,

$$I_i = I_2 + I_3 \dots\dots\dots (4.51)$$

Dan nilai I_2 dan I_3 didapat dari Tabel A Megyesy (1972) Hal. 77.

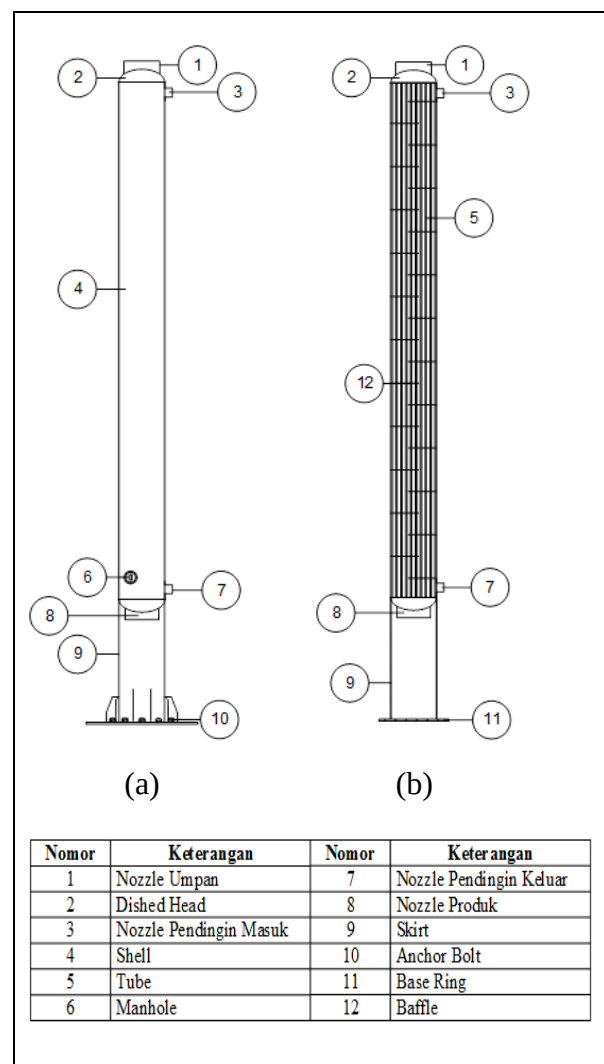
Adapun hasil perancangan reaktor hidrogenasi didapatkan spesifikasi alat yang dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Spesifikasi Reaktor Hidrogenasi

Spesifikasi Alat		
Nama alat	Hidrogenasi	
Kode alat	R-102	
Jenis	Reaktor <i>fixed bed multitube</i>	
Katalis	Cu-Cr	
Material konstruksi	Carbon steel SA 212 Grade B	
Media pendingin	Cooling water	
Kondisi Operasi		
Tekanan	14 bar	203,053 psi
Suhu	Input	Output
Aliran umpan dan produk	573°K	573°K
Aliran pendingin	303°K	317..°K
Laju alir massa umpan dan produk	10870,68 kg/jam	
Laju alir massa pendingin	20370,5751 kg/jam	
Hasil Perancangan Shell		
Inside diameter	0,4382 m	17,25 in
Outside diameter	0,4516 m	17,78 in
Tebal	0,0067 m	0,26 in
Tinggi	5,0627 m	202 in
Tekanan desain	15,4 bar	223,36 psi
Jumlah <i>Baffle</i>	48 buah	
Hasil Perancangan Tube		
Jumlah <i>tube</i>	48	
Inside diameter	0,0266 m	1,049 in
Outside diameter	0,0262 m	1,32 in
Tebal	0,0034 m	0,13 in
Hasil Perancangan Head dan Bottom		
Tipe	Elliptical flanged and dished head	
Tinggi	0,1307 m	5,15 in
Tebal	0,0067 m	0,26 in
Tinggi reaktor	total 5,3877 m	212,11 in
Katalis		

Massa	87,0127 kg	191,83 lb
Tinggi	4,0502 m	161,46 in
Hasil Perancangan Nozzle		
Aliran Umpan		
Inside diameter	13,25 in	
Outside diameter	14 in	
Luas area	138 in ²	
Aliran Produk		
Inside diameter	12,09 in	
Outside diameter	12,75 in	
Luas Areaa	115 in ²	
Aliran Pendingin	Input	Output
Inside diameter	2,469 in	2,469 in
Outside diameter	2,88 in	2,88 in
Luas area	4,79 in ²	4,79 in ²

Adapun bentuk dari menara destilasi dapat dilihat dari Gambar 4.1 berikut ini :



Gambar 4.1 Detail Reaktor Hidrogenasi

(a) Tampak Depan ;
(b) Tampak Dalam

Spesifikasi dari alat pendukung reaktor hidrogenasi dapat dilihat pada Tabel 4.2 berikut ini :

Tabel 4.2 Spesifikasi Alat Pendukung

Manhole		
Diameter <i>menhole</i>	0,508 m	20 in
Ketebalan <i>cover plate</i>	0,0079 m	0,3125 in
Ukuran <i>fillet weld A</i>	0,0048 m	0,1875 in
Ukuran <i>fillet weld B</i>	0,0079 m	0,3125 in
Approx radius	0,0079 m	0,3125 in
Length of side	1,0731 m	42,25 in
Width of reinforcing plate	1,3716 m	54 in
Max diameter of hole in shell	0,6223 m	24,5 in
Inside diameter of manhole Min ID	0,508 m	20 in
Inside diameter of manhole Min ID	0,5683 m	22,375 in
Diameter bolt circle pipa	0,6675 m	26,25 in
Diameter of cover plate	0,7302 m	28,75 in
Perforated Plate		
Material	Carbon Steel SA 212 Grade B	
Luas area	0,0137 m ²	20,736 in ²
Diameter	0,4382 m	17,25 in
Tebal	0,0254 m	1 in
Tebal pemegang pipa	0,00635 m	0,25 in
Flange Vessel		
Material	Carbon steel SA-240 Grade A	
Outside diameter	0,64676 m	25,4631 in
Tebal	0,05715 m	2,25 in
Bolt Vessel		
Material	Carbon steel SA-193 Grade B	
Ukuran	0,01587 m	0,625 in
Root area	0,00130 m ²	0,202 in ²
Jumlah	18 buah	
Circle diameter	0,50469 m	19,87 in
Gasket Vessel		
Material	<i>Soft steel</i>	
Inside diameter	0,45161 m	17,78 in
Outside diameter	0,45441 m	17,89 in
Lebar	0,00199 m	0,0784 in
Berat Reaktor		
Pada kondisi operasi	44.270,4357 kg	97599,6040 lb
Pada kondisi ereksi	12.942,1679 kg	28532,5961 lb
Skirt Supoport		
Diameter luar	0,59102 m	23,2686 in
Diameter dalam	0,44203 m	17,4029 in
Tebal	0,00476 m	0,1875 in

Anchor Bolt		
Jumlah <i>anchor bolt</i>	4 buah	
<i>Bolt circle</i>	0,762 m	30 in
Base Ring		
Lebar	0,05903 m	2,3241 in
Tebal	0,01981 m	0,78 in

5. Analisis Ekonomi

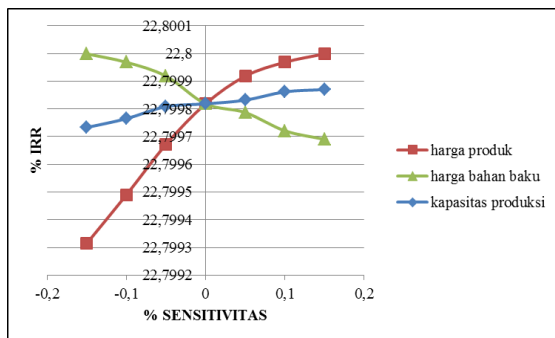
Suatu pabrik yang akan didirikan diperlukan dilakukan analisis ekonomi terlebih dahulu, sehingga pabrik tersebut layak didirikan atau tidak. Pabrik propilen glikol dari gliserol melakukan analisis ekonomi berupa *plant cost estimation*, *production estimation cost*, dan kelayakan ekonomi pabrik. *Plant cost estimation* pada prarancangan pabrik ini diperoleh dari investor dan pinjaman di bank dengan masing-masing persentase sebesar 60% dan 40%. Hasil perhitungan prarancangan pabrik ini diperoleh *production estimation cost* sebesar Rp 3.261.858.483.889.

Analisis kelayakan ekonomi pada prarancangan pabrik propilen glikol dari gliserol terdiri dari :

1. *Pay back period* (PBB) menunjukkan seberapa cepat suatu proyek dapat mengembalikan investasi awalnya. Pada prarancangan pabrik ini PBB selama 1,39 tahun.
2. *Internal rate of return* (IRR) adalah tingkat suku bunga proyek dalam jangka waktu tertentu. Pada prarancangan pabrik ini, nilai IRR diperoleh sebesar 22,79%.
3. *Return of investment* (ROI) adalah pengembalian modal tiap tahun. Pada prarancangan pabrik ini, nilai ROI diperoleh sebesar 57%.
4. *Break even point* (BEP) merupakan titik dimana hasil produksi tidak memberikan keuntungan akan tetapi juga tidak memberikan kerugian (titik impas). Pada prarancangan pabrik ini, nilai BEP sebesar 42%

dengan kapasitas produksi awal sebesar 80%.

5. Analisis sensitivitas bertujuan untuk mengetahui besarnya pengaruh perubahan persentase bahan baku, investasi, penjualan dan kapasitas produksi terhadap nilai IRR dalam perhitungan ekonomi pra-rancangan pabrik ini dengan metode *trial and error*. Adapun grafik sensitivitas dapat dilihat pada Gambar 5.1.



Gambar 5.1 Analisis Sensitivitas Terhadap IRR

Berdasarkan Gambar 5.1 diatas terlihat bahwa parameter harga produk, harga bahan baku, dan kapasitas produksi berpengaruh terhadap pendapatan atau ekonomi pabrik. Kapasitas produksi dan harga produk memperlihatkan trane peningkatan ketika terjadi perubahan kapasitas dan harga sedikit saja. Ketika kapasitas naik dan harga produk naik maka nilai IRR juga akan naik. Namun berbanding terbalik dengan harga bahan baku. Ketika terjadi peningkatan pada harga bahan baku maka nilai IRR akan menurun.

6. KESIMPULAN

Disain alat utama pada prarancangan Pabrik Propilen Glikol dari Gliserol berupa reaktor hidrogenasi yang berfungsi untuk mereaksikan asetol dengan gas hidrogen menjadi propilen glikol. Jenis reaktor yang digunakan

adalah reaktor *fixed bed multitube*. Kondisi operasi reaktor adalah suhu 300°C dan tekanan 14 bar. Reaktor hidrogenasi memiliki jumlah tube 48 buah, tinggi 5,0627 m, diameter luar 0,4382 m, dan menggunakan jenis penyangga *skirt*.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Pusat Statistik. (2019). diakses dari <https://www.bps.go.id/pada tanggal 12 Oktober 2019 pada pukul 10.00 WIB>.
- Brownell, L. E. dan Young, E. H. (1959). *Process Equipment Design*. USA: John Wiley & Sons, Inc.
- Chatterjee, K., Kelsey, H., & Samuel, T. (2011). *Glycerol to Propylene Glycol. Senior Design Reports*. University of Pennsylvania.
- Chiu, C-W. dan Suppes, G.J. (2006). *Catalytic Conversion of Glycerol to Propylene Glycol : Synthesis and Technology Assessment* [Dissertation]. Columbia: University of Missouri.
- Coulson, J.M. dan Richardson, J.F. (2005). *Chemical Engineering Design* 4 Ed. Oxford: Butterworth Heinemann.
- Fogler, H.S . (1999). *Elements of Chemical Reaction Engineering* 3 Ed. Prentice-Hall Inc.
- Froment, G. F. dan Bishoff, K. B. (1979). *Chemical Reactor Analysis and Design*. New Yorkhy: Willey.
- Kern, D. Q. (1965). *Process Heat Transfer*. McGraw-Hill International Book Company.
- Knottnerus, J.A. (2007). *Propylene glycol (1,2-Propanediol)*. Den Haag:Health Council of the Netherlands.
- Megyesy, E. F. (1972). *Pressure Vessel Handbook Twelfth Ed*. Pressure

- Vessel Publishing Inc:United States of America.
- Peters, MS., Timmerhouse, KD., & West, RE. (2003). *Plant Design and Economic for Chemical Engineering*. New York:Mc Graw Hill Book Co.
- Rase, F.H. (1977). *Chemical Reactor Design for Process Plants*. New York: John Wiley and Sons, Inc.
- Reklaitis, G.V, . (1983). *Introduction to Material and Energy Balance*. New York : Mc.Graw Hill Book Company.
- Sinnott, R. K. (2005). *Chemical Engineering Design Vol. 6; 4 Ed*. Oxford: Elsevier Butterworth-Heinemann.
- Smith, J. M. (1970). *Chemical Engineering Kinetics 2 Ed*. USA: McGraw-Hill, Inc.
- Sud-Chemie. *Copper Chromite & Supported Copper Ctalysts HDH-5412*. Diakses pada 22 Agustus 2020 dengan URL :
<https://www.indiamart.com/proddetail/copper-catalyst-2294083662.html>
- Suppes, G.J., Sutterlin, W. R., dan Dasarl, M. (2011). *Method Of Producing Lower Alcohols From Glycerol*. United States, Patent No. US 7943805 B2.
- Wallas, S. M. (1990). *Chemical Process Equipment Selection and Design*. United States of America: Butterworth-Heinemann.
- Yaws, C.L. (1999). *Chemical Properties Handbook*. USA: McGraw-Hill, Inc.