

PRARANCANGAN PABRIK ETILEN GLIKOL DARI ETILEN OKSIDA DENGAN PROSES DOW METEOR DAN DESAIN ALAT UTAMA KOLOM DISTILASI (DC-101)

M. Isnaini Al Rusdy¹⁾, Sunarno²⁾

¹⁾Mahasiswa Program Studi Sarjana Teknik Kimia, ²⁾Dosen Teknik Kimia

Laboratorium Teknik Reaksi Kimia dan Katalisis

Program Studi Teknik Kimia S1, Fakultas Teknik Universitas Riau

Kampus Bina Widya Jl. HR. Soebrantas KM 12,5 Simpang Baru, Panam

Pekanbaru, 28293

E-mail: m.isnaini.al1867@student.unri.ac.id

ABSTRACT

Monoethylene glycol (MEG) is a glycol compound with single bonds. MEG is used as an antifreeze in machinery, as a raw material for the production of polyethylene terephthalate, and as a heat exchange fluid. MEG production process is carried out by reacting the feed in the form of ethylene oxide with water and the obtained production capacity is 250,000 tons/year. The ethylene glycol production process is carried out through the Dow METEOR process which consists of 4 stages, those are the raw material preparation stage, the ethylene glycol formation stage, the ethylene glycol concentration stage, and the product separation stage. The main design is the distillation column DC-101, which is used to separate monoethylene glycol from diethylene glycol and triethylene glycol as by-product. Based on the results of the economic feasibility analysis of the factory, the ethylene glycol plant is feasible to establish with a Payback Period (PBB) obtained of 2 years, an IRR of 22.738%, a Percent Return on Investment (ROI) is 30.59%, and a Break Event Point (BEP) is obtained by 60%.

Keywords: Ethylene glycol, Ethylene Oxide, Dow METEOR, Distillation Column

1. Pendahuluan

Sebagai salah satu negara berkembang, Indonesia memiliki peran penting untuk melakukan pengembangan dalam berbagai bidang, salah satunya di bidang ekonomi yaitu dengan cara membangun sektor industri khususnya industri petrokimia. Kebutuhan produk kimia di Indonesia, belum seluruhnya dapat dipenuhi dan dihasilkan sendiri. Saat ini Indonesia masih bergantung kepada negara lain dalam pemenuhan bahan baku pada industri kimia. Salah satu bahan kimia yang banyak digunakan adalah etilen glikol.

Berdasarkan Badan Pusat Statistik, kebutuhan akan etilen glikol di Indonesia pada tahun 2018 adalah 422.027,982 ton, dan diperkirakan pada tahun 2023 akan terus mengalami kenaikan. Pemenuhan kebutuhan etilenglikol dalam negeri hanya dapat dipenuhi oleh PT Polychem Tbk sebesar 35%, sedangkan sisanya harus diimpor dari berbagai negara, seperti Jepang dan Amerika Serikat. Oleh karena itulah, pendirian pabrik etilen glikol dapat direalisasikan karena memiliki prospektif dan potensi yang cukup besar. Pendirian pabrik etilen glikol diharapkan mampu mendukung upaya penghematan devisa negara melalui substitusi impor etilen

glikol, meningkatkan lapangan pekerjaan, serta membantu industri-industri lain berbahan baku etilen glikol dengan cara menjadi industri pemasok etilen glikol.

Sekitar 42% dari etilen glikol yang diproduksi digunakan sebagai anti-beku pada cairan pendingin kendaraan bermotor. Sejalan dengan kebutuhan anti-beku, kebutuhan poliester juga meningkat. Serat poliester mengkonsumsi 27% etilen glikol yang diproduksi, yang akan digunakan sebagai serat pengisi bantal, sofa, bahan pakaian, gorden, dan lain-lain. Botol dan material kemasan lain dari polietilen tereftalat (PET) mengkonsumsi 12,5%, dan serat film PET mengkonsumsi 6% yang dapat digunakan untuk pembuatan video, audio, dan tape komputer. Resin PET dan industri lain mengkonsumsi 12,5% dari etilen glikol yang tersisa (Kirk-Othmer, 2007).

2. Landasan Teori

2.1 Etilen Oksida

Etilen oksida merupakan gas tidak berwarna yang terkondensasi pada temperatur rendah menjadi cairan. Senyawa ini tidak larut dalam air, alkohol, eter dan pelarut organik lainnya. Pada fasa uap, etilen oksida mudah terbakar dan meledak. Tabel 2.1 menunjukkan sifat fisik dari etilen oksida.

Tabel 2.1 Data Sifat Fisik Etilen Oksida

Spesifikasi	Keterangan
Rumus Molekul	C_2H_4O
Berat Molekul (g/gmol)	44,054
Wujud	Gas
Kenampakan	Tidak berwarna
Titik Leleh ($^{\circ}C$)	-113
Titik Didih ($^{\circ}C$)	10,7
Densitas (g/mL)	0,882

Etilen oksida memiliki beberapa nama lain di antaranya adalah epoksietana, oxirane, dan dimetilenoksida. Kereaktifan dari etilen oksida disebabkan ikatan antar molekulnya tidak stabil sehingga sangat reaktif. Kereaktifannya pun menyebabkan etilen oksida menjadi senyawa kimia yang sangat berbahaya dan beracun (Ullman, 1989).

2.2 Monoetilen Glikol

Monoetilen glikol (MEG) adalah senyawa glikol dengan ikatan rantai tunggal. MEG merupakan senyawa organik yang dapat menurunkan titik beku pelarutnya dengan mengganggu pembentukan kristal es pelarut. Fungsi utama MEG secara luas adalah sebagai antibeku yang mempunyai titik beku yang sangat rendah ketika bercampur dengan air. MEG digunakan sebagai antibeku pada mesin-mesin, sebagai bahan baku produksi polietilen tereftalat, dan sebagai cairan penukar panas. Data fisik MEG disajikan dalam tabel 2.2.

Tabel 2.2 Data Sifat Fisik MEG

Spesifikasi	Keterangan
Rumus Molekul	$C_2H_6O_2$
Berat Molekul (g/gmol)	62,07
Wujud	Cair
Kenampakan	Tidak berwarna
Titik Beku ($^{\circ}C$)	-13
Titik Didih ($^{\circ}C$)	197,6
Suhu Kritis ($^{\circ}C$)	372
Tekanan Kritis (kPa)	6515,73
Viskositas	19,83
Densitas (g/mL)	1,1135

MEG dapat dengan mudah dioksidasi menjadi bentuk aldehid dan asam karboksilat oleh oksigen, asam nitrit, dan agen pengoksidasi lainnya. MEG

bereaksi dengan Etilen Oksida membentuk di-, tri-, tetra-, dan polietilen glikol.

2.3 Dietilen Glikol

Dietilen Glikol (DEG) adalah senyawa glikol dengan ikatan rantai ganda. Sifatnya memiliki banyak kemiripan dengan MEG karena merupakan bentuk polimer dari MEG. Sifat fisik DEG disajikan dalam tabel 2.3.

Tabel 2.3 Data Sifat Fisik DEG

Spesifikasi	Keterangan
Rumus Molekul	$C_4H_{10}O_3$
Berat Molekul (g/gmol)	106,12
Wujud	Cair
Kenampakan	Tidak berwarna
Titik Beku (oC)	-6,5
Titik Didih (oC)	245,8
Suhu Kritis (oC)	681,04
Tekanan Kritis (bar)	45,45
Viskositas	35
Densitas (g/mL)	0,33

DEG dapat larut dalam alkohol, etilen glikol, eter, dan aseton, tetapi tidak larut dalam benzene, toluen, dan karbon tetra klorida. DEG terkondensasi dengan amina primer membentuk struktur siklis. DEG merupakan agen pelunak yang digunakan pada gabus, lem, dan kertas. DEG juga dapat digunakan sebagai solven dan agen *de-icing* pada pesawat terbang maupun bandara.

2.4 Trietilen Glikol

Trietilen Glikol (TEG) adalah senyawa glikol dengan tiga molekul yang berantai. Sifat-sifatnya mempunyai banyak kemiripan dengan MEG dan DEG. Tabel 2.4 menunjukkan data sifat fisik TEG. TEG merupakan agen *humectant* yang juga digunakan sebagai solven, pernis, dan pengering gas. TEG sering digunakan

sebagai *drying agent* pada pengolahan limbah.

Tabel 2.3 Data Sifat Fisik TEG

Spesifikasi	Keterangan
Rumus Molekul	$C_6H_{14}O_4$
Berat Molekul (g/gmol)	150,17
Wujud	Cair
Kenampakan	Tidak berwarna
Titik Beku (°C)	-4,3
Titik Didih (°C)	288
Suhu Kritis (°C)	712,32
Tekanan Kritis (atm)	32,727
Viskositas	49
Densitas (g/mL)	1,123

3. METODOLOGI

Adapun langkah-langkah dalam perancangan pabrik etilen 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 alat penukar panas dan massa.
4. Perhitungan dan disain setiap unit utama dan utilitas yang akan digunakan. Penentuan spesifikasi setiap unit utama dan utilitas yang akan digunakan.
5. Penambahan sistem pengendalian dan instrumentasi proses yang dibutuhkan dalam pabrik.
6. Analisa dan disain alat utama (menara destilasi pemisahan metanol dan TBA)
7. Analisa ekonomi yang meliputi :
 - a. Analisa pasar, prospek industri dan pemasaran produk.
 - b. Penentuan kapasitas produksi, kebutuhan akan produk yang akan dihasilkan.

- c. Manajemen yang meliputi pemilihan lokasi pendirian pabrik dan pertimbangan-pertimbangan pendukung.
- d. Studi kelayakan pasar, kelayakan teknis, kelayakan manajemen, studi kelayakan budaya, studi kelayakan lingkungan dan studi kelayakan legal.
- e. Tata letak pabrik, tata letak alat dan *master schedule* pendirian pabrik.
- f. Struktur organisasi pabrik yang meliputi sistem kerja karyawan, jumlah karyawan, sistem penggajian karyawan dan kesejahteraan karyawan.
- g. Melakukan perhitungan ekonomi dari penaksiran harga peralatan utama dan utilitas.
- h. Melakukan perhitungan ekonomi dan kelayakan ekonomi dari pabrik yang mencakup :
 - Perkiraan biaya pembangunan pabrik berdasarkan spesifikasi yang telah dibuat dan biaya manufacturing berdasarkan kebutuhan bahan baku dan utilitas pada neraca massa dan energi.
 - Menilai kelayakan ekonomi pabrik dengan memperkirakan aliran kas tahunan (pro-forma) dan kemudian menghitung parameter kelayakan: *Return on Investment* (ROI), *Payout Period* (POP), *Net Payout Time* (NPT), *Net Present Value* (NPV), *Internal Rate of Return* (IRR), dan *Break-Even Point* (BEP).
 - Melakukan analisis sensitivitas untuk mengetahui faktor-faktor yang secara signifikan mempengaruhi kelayakan proyek. Analisis dilakukan terhadap variabel-variabel: harga bahan baku, harga produk, penjualan, dan gaji karyawan. Prosedurnya adalah memvariasikan nilai suatu variabel dengan menjaga variabel variabel

lainnya tetap (*ceteris paribus*) untuk melihat kecenderungan pengaruhnya terhadap keuntungan serta nilai maksimal atau minimalnya agar hasil operasional pabrik memberikan IRR lebih besar dari minimum.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Desain Alat Utama Kolom Distilasi (DC-101)

Kolom distilasi DC-101 berfungsi untuk memisahkan monoetilen glikol (MEG) dari produk samping berupa dietilen glikol (DEG) dan trietilen glikol (TEG). Dimana nantinya MEG yang dihasilkan merupakan top produk serta DEG dan TEG sebagai bottom produk. Perancangan menara destilasi dilakukan atas beberapa tahap yakni:

1. Tentukan tingkat pemisahan yang akan dilakukan.
2. Pilih kondisi operasi yang diperlukan (*batch* atau *continue*).
3. Pilih tipe alat pengontakan (*tray* atau *packing*).
4. Tentukan persyaratan tahap dan refluks.
5. Tentukan spesifikasi alat.
6. Rancang kolom bagian internal dan alat pendukung alat.

Adapun hasil perancangan kolom distilasi DC-101 didapatkan spesifikasi alat yang dapat dilihat pada Tabel 4.1 sebagai berikut :

Tabel 4.1 Spesifikasi Menara Distilasi

DC-101	Kolom Distilasi I	
Fungsi	memisahkan monoetilen glikol dari produk samping berupa dietilen glikol dan trietilen glikol	
Suhu Operasi	160°C	
Tekanan Operasi	0,2 bar	
Material	Carbon steel SA-283 grade C	
Tegangan diizinkan, (f)	14600 psi	
Efisiensi Sambungan (E)	0,8	
Faktor Korosi (C)	0,125 in	
Diamter Dalam (ID)	63,6917 in	1,6178 m
Diameter Luar (OD)	66 in	1,6764 m
Tinggi (H)	267,665 in	6,7987 m
Tebal Shell (ts)	0,1875 in	0,0048 m
Tekanan Design	3,2331 psi	0,22 bar
Jenis Head	Torispherical Head	
Tebal Head (th)	0,1875 in	0,0048 m
Sf	2 in	0,0508 m
Icr	4 in	0,1016 m
Tinggi head (OA)	12,7925 in	0,3249 m
PLATE	TOP	BOTTOM
Downcomer Area	0,246 m ²	0,0353 m ²
Active Area	1,5614 m ²	0,2237 m ²
Hole Diameter	4 mm	4 mm
Hole Area	0,1561 m ²	0,0224 m ²
Tinggi Weir	40 mm	
Tebal Plate	5 mm	
Jenis Aliran	Single Pass	
Jumlah hole	12432 lubang	

Tabel 4.2 Spesifikasi Flange

Material Flange	SA 283 Grade C	
Tegangan dari Material Flange	17.000 psi	
Diameter Luar Flange (A)	67,9417 in	1,7257 m
Diameter Dalam Flange (B)	66 in	1,6764 m
Tebal Flange	0,4375 in	0,0111 m
Material Gasket	Asbestos Composition	
Lebar Gasket	0,0625 in	0,0015875 m
Diameter Gasket	66,0625 in	1,6779875 m
Material Baut	SA 193 Grade B6	
Tegangan dari Material Baut	20.000 psi	
Ukuran Baut	0,625 in	0,015875 m
Jumlah Baut	6 buah	

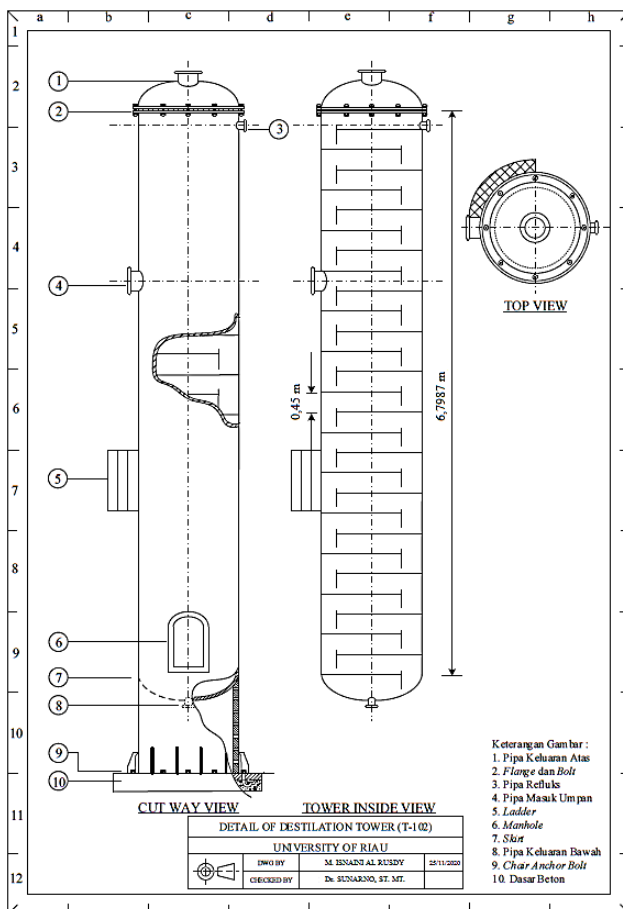
Tabel 4.3 Spesifikasi Nozzle dan Manhole Acces

Pipa Feed, IPS	3 in	0,0762 m
Pipa Keluaran Atas,IPS	20 in	0,508 m
Pipa Keluaran Dasar Menara, IPS	0,125 in	0,003175 m
Pipa Refluks, IPS	4 in	0,1016 m
Diameter Manhole	20 in	0,508 m
Ketebalan Cover Plate	0,375 in	0,009525 m
Bolting-flange after finishing	0,25 in	0,00635 m
Ketebalan Manhole	0,375 in	0,009525 m
Ukuran Fillet Weld A	0,1875 in	0,0047625 m
Ukuran Fillet Weld B	0,625 in	0,015875 m
Approx Radius, R	0,625 in	0,015875 m
Width of Reinforcing Plate	54 in	1,3716 m
Diameter Bolt Circle (DB)	26,25 in	0,66675 m
Diameter of Cover Plate	28,75 in	0,73025 m

Tabel 4.4 Spesifikasi Skirt

Diameter Luar Skirt (OD)	91,2129 in	3,43 m
Tebal Skirt	0,1875 in	0,0047625 m
Ukuran Baut	0,75 in	0,01905 m
Lebar Base Ring	1,9375 in	0,0492125 m
Ketebalan Base Ring	0,62 in	0,015748 m

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



4.2 Analisa Kelayakan Ekonomi

Dalam pra rancangan pabrik diperlukan analisa ekonomi untuk mendapatkan perkiraan tentang kelayakan investasi modal dalam suatu kegiatan produksi dari suatu pabrik, dengan meninjau kebutuhan modal investasi, besarnya keuntungan yang diperoleh, lamanya modal investasi dapat dikembalikan dan terjadinya titik impas

dimana total biaya produksi sama dengan keuntungan yang diperoleh.

4.2.1 Total Capital Investment (TCI)

Total capital investment merupakan perkiraan ekonomi pendirian suatu pabrik hingga pabrik tersebut beroperasi. Biasanya disebut dengan istilah modal investasi. Modal investasi terdiri dari biaya pendirian pabrik yaitu investasi modal tetap (*fixed capital investment*) dan biaya pengoperasian pabrik pada jangka waktu tertentu yaitu modal kerja (*working capital investment*). Jumlah dari investasi modal tetap dan modal kerja dikenal sebagai total investasi modal (*Total capital investment*) (Peter dkk, 2003).

Modal investasi yang dibutuhkan untuk membiayai pendirian pabrik dapat diperoleh dari beberapa investor maupun pribadi, dengan perkiraan 40% dari modal keseluruhan berasal dari investor atau pribadi, sedangkan 60% merupakan modal pinjaman dari bank.

4.2.2 Fixed Capital Investment (FCI)

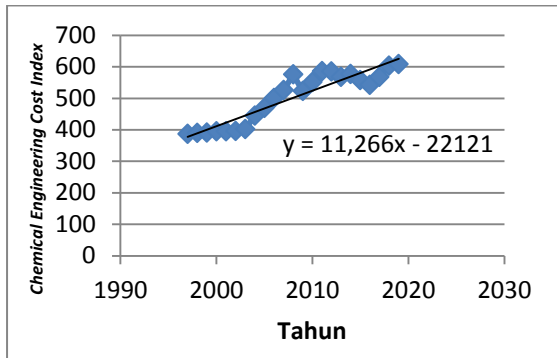
Fixed Capital Investment merupakan perkiraan ekonomi pendirian suatu pabrik hingga pabrik tersebut beroperasi. FCI merupakan modal yang digunakan untuk penyediaan fasilitas pabrik. FCI dikelompokkan menjadi 2 yaitu Biaya langsung dan biaya tak langsung. Biaya langsung merupakan biaya yang terlibat secara langsung dengan material maupun tenaga kerja.

Biaya langsung terdiri dari penaksiran harga peralatan. Harga peralatan pada tahun pendirian pabrik ditentukan dengan menggunakan indeks harga CEPCI (*Chemical Engineering Plant Cost Index*). Pabrik beroperasi selama satu tahun produksi adalah 330 hari dan tahun evaluasi pada tahun 2025. Untuk

mencari harga pada tahun analisa, maka dicari *index* pada tahun analisa. Penentuan harga peralatan pada kapasitas yang sama pada tahun yang berbeda, dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$C_p = C_o \frac{I_p}{I_o} \text{ (Peter dkk, 2003)}$$

Asumsi kenaikan harga dianggap linier, dengan menggunakan program *excel* dapat dicari persamaan linier, yaitu:



Gambar 4.2 Hubungan Tahun terhadap *Chemical Engineering Plant Cost Index* dengan Metode Linear

Berdasarkan metode linier dapat diperoleh persamaan sebagai berikut:

$$y = 11,266x - 22121$$

Dengan menggunakan persamaan di atas dapat dicari harga indeks pada tahun perancangan, dalam hal ini pada tahun 2025 adalah:

$$y = 11,266x - 22121 = 692,65$$

Berdasarkan data-data diatas, maka total harga peralatan pada pabrik ini, baik peralatan proses ataupun peralatan utilitas, dapat dihitung.

Sehingga didapatkan, total biaya peralatan yaitu Rp. 121.094.717.511. Biaya tak langsung merupakan biaya yang tidak terlibat secara langsung dengan material maupun tenaga kerja. Dengan demikian FCI diperoleh yaitu Rp. 659.597.661.296.

4.1.2 Working Capital Investment (WCI)

WCI adalah jumlah biaya yang harus dikeluarkan setelah pabrik berdiri dan

mulai beroperasi, seperti gaji karyawan, listrik, dana sosial dan sebagainya. Pada industri kimia perhitungan WCI yaitu 10-20% dari *total capital investment*. Rentang yang digunakan yaitu 15% dari TCI. Oleh karena itu, biaya WCI diperoleh sebesar Rp. 116.399.587.288.

4.2 Total Product Cost

Total Product Cost adalah seluruh biaya yang berkaitan dengan proses produksi suatu produk baik yang berhubungan secara langsung atau tidak. Biaya ini umumnya dibagi ke dalam kategori *manufacturing costs* dan *general expenses*. Biaya produksi juga dikenal sebagai biaya operasi atau biaya produksi. *Total manufacturing cost* yang diperoleh sebesar Rp 3.764.994.305.024/tahun. Total biaya *general expenses* yang dibutuhkan adalah Rp 628.243.489.089/tahun. Oleh karena itu, total biaya produksi pada pabrik etilen glikol dengan proses Dow METEOR sebesar Rp. 4.487.453.493.525.

4.3 Analisa Aspek Ekonomi

Analisa Aspek Ekonomi suatu pabrik layak didirikan dilakukan menggunakan perhitungan *return of investment* (ROI), *pay back period* (PBB), *break even point* (BEP), dan *internal rate of return* (IRR).

4.3.1 Return of investment (ROI)

Return of Investment (ROI) merupakan cara paling sederhana untuk menentukan keuntungan dari sebuah investasi. Nilai ROI merupakan perbandingan antara persen *net income* terhadap investasi total. Nilai minimal *acceptable Rate of Investment* (ROI) yang dapat diterima adalah sama dengan atau lebih besar dari 16-24% tetapi tidak melebihi 50%. Nilai ROI yang diperoleh adalah 30,59% artinya pabrik sudah layak

untuk didirikan. Persamaan yang digunakan adalah (Peter dkk, 2003).

$$ROI = \frac{Np_{average}}{TCI} \times 100\%$$

4.3.2 Pay Back Period (PBP)

Payback period (PBP) menunjukkan seberapa cepat proyek dapat mengembalikan investasi awalnya (*break event point*, BEP). Nilai PBP mengindikasikan suatu pabrik layak atau tidak untuk didirikan, rentang waktu untuk pengembalian modal hendaknya kurang dari 5 tahun masa operasi. Nilai PBP dari pabrik ini adalah 2,43 tahun, artinya pabrik sudah layak untuk didirikan. Persamaan yang digunakan adalah (Peter dkk, 2003):

$$PBP = \frac{FCI}{A_{j,average}}$$

4.3.3 Internal Rate of Return (IRR)

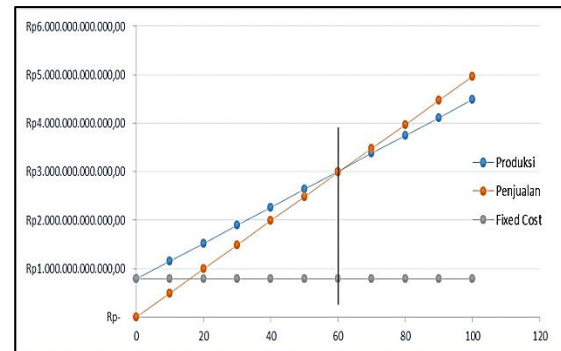
Metode *interest rate of return* merupakan analisis kelayakan ekonomi yang berdasarkan aliran uang masuk selama masa usia ekonomi pabrik. Nilai *interest rate of return* merupakan suku bunga yang menghasilkan harga *net present value* pada akhir umur pabrik sama dengan nol, nilai IRR harus dibawah 30%, Nilai IRR yang diperoleh pada prarancangan pabrik ini adalah 22,738%. artinya pabrik sudah layak untuk didirikan (Peter dkk, 2003).

$$IRR = i_1 + \left[\frac{NPV_1}{NPV_1 - NPV_2} \right] (i_2 - i_1)$$

4.3.4 Break Even Point (BEP)

Break even point (BEP) merupakan titik dimana hasil produksi pabrik tidak memberikan keuntungan, tapi juga tidak rugi atau titik dimana kapasitas produksi yang dihasilkan agar menutupi seluruh biaya produksi tanpa adanya keuntungan maupun kerugian. Nilai BEP merupakan persentase kapasitas pabrik terhadap

kapasitas penuhnya. Nilai BEP tidak boleh dibawah 20% dan tidak boleh juga diatas 60% Pada pabrik ini nilai BEP yang diperoleh adalah sebesar 60%, artinya pabrik sudah layak untuk didirikan (Peter dkk, 2003). BEP terdapat pada Gambar 4.2



Gambar 4.3 BEP Pabrik Etilen Glikol

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Pusat Statistik. (2019). Statistik Perdagangan luar negeri jilid 1. Badan Pusat Statistik, Jakarta.
- Brown, G. G. (1950). *Unit Operations, Modern Asia Edition*, New York, John Wiley and Sons, Inc.
- Brownell, L. E. and Young, E. H. (1959). *Process Equipment Design*, New York, John Willey & Sons.
- Coulson, J. M. and Richardson, J. F., (1999). *Chemical Engineering Design*, New York, Pergamon Press Inc.
- Fogler, H. S. (1999). *Element of Chemical Reaction Engineering*, London, Prentice Hall International.
- Geankoplis, C. J. (1993). *Transport Processes and Unit Operations, 3rd Edition*, London, Prentice Hall International.
- Kern, D. Q. (1983). *Process Heat Transfer*, New York, McGraw-Hill.
- Kirk, R.E. and Othmer, D.F. (2004). *Encyclopedia of Chemical Technology 4 rd ed. Vol. 12. The*

- Inter Science Encyclopedia. Inc. New York.
- Kirk, R.E. and Othmer, D.F. (2004). Encyclopedia of Chemical Technology 4rd ed. Vol. 09. The Inter Science Encyclopedia. Inc. New York.
- Levenspiel, O. (1976). *Chemical Reaction Engineering*, 2nd ed., New York, John Wiley and Sons, inc.
- Metcalf and Eddy. (1991). *Waste Water and Engineering*, 3rd ed., Singapore, Mc Graw Hill International Engineering.
- Megyesy E. F. (1983). *Pressure Vessel Handbook*, USA, Pressure Vessel Handbook Publishing Inc.
- Perry, R.H., and Green, D.W. (1983). *Perry's Chemical Engineering Handbook*, 6th ed., Mc Graw Hill International Book Co., Singapore.
- Peter, M.S., K.D. Timmerhaus. (1991). *Plant Design and Economics for Chemical Engineers, Fourth Edition*. McGraw-Hill Companies, New York.
- Peter, M.S., K.D. Timmerhaus., dan R.E. West. (2003). *Plant Design and Economics for Chemical Engineers, Fifth Edition*. McGraw-Hill Companies, New York.
- www.icispricing.com. ICIS PRICING Ethylene Glycol. diakses pada 15 Oktober 2019.
- www.icispricing.com. ICIS PRICING Ethylene Oxide. diakses pada 15 Oktober 2019.
- Rebbsdat et al. (1982). Process For The Manufacture Of Extremely Pure Monoethylene Glycol. US.Pat. 4,349,417.
- Rivai, H. (1995). *Asas Pemeriksaan Kimia*. Jakarta : UI-Press.
- Ullman. (1989). Ullman's Encyclopedia of Industrial Chemistry, Vol. A-16, Interscience Encyclopedia, Inc., New York.
- Ulrich, G.D. (1984). *A Guide To Chemical Engineering Process Design and Economics*, Canada, John Wiley and Sons Inc,
- Walas, M. S. (1988). *Chemical Process Equipment Selection and Design*, 3rd edition London, Betterworth-Heinemann.
- Yaws, C. L. (1999). *Chemical Properties Handbook: Physical, Thermodynamic, Environmental, Transport, Safety, and Health Related Properties for Organic and Inorganic Chemicals*, New York, McGraw-Hill.