

PRARANCANGAN PABRIK ETILBENZENA DARI BENZENA DAN ETILENA DENGAN PROSES MOBIL BADGER MENGGUNAKAN KATALIS ZEOLIT ZSM-5 KAPASITAS 150.000 TON/TAHUN

Anisa Purwanti*, Khairul Fauziah Hanisa

¹Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Lambung Mangkurat
Jalan A. Yani KM 35, Kampus Unlam Banjarbaru, Kalimantan Selatan

*Corresponding Author: f.hanisa28@gmail.com

Abstrak

Etilbenzena (C₈H₁₀) adalah senyawa organik alkil aromatis bercincin tunggal. Nama lain dari senyawa ini adalah phenylethane. Etilbenzena adalah produk intermediat yang dibuat dari benzena dan etilena. Senyawa ini merupakan bahan baku untuk pembuatan monomer stirena. Etilbenzena juga digunakan untuk membuat bahan kimia lainnya, yaitu sebagai pelarut dalam tinta, karet perekat, pernis dan cat. Pabrik etilbenzena yang akan didirikan berkapasitas 150.000 Ton/Tahun dan rencana pendirian pabrik pada 2022.

Pabrik etilbenzena yang dirancang menggunakan reaktor fixed bed bersuhu 400 °C dan tekanan 18,7 atm dengan rasio mol umpan benzena:etilena sebesar 5,5:1. Reaksi berlangsung eksotermis. Untuk menghasilkan etilbenzena dengan kemurnian 99 % dilakukan pemisahan dengan menara distilasi. Pabrik akan didirikan di Cilegon-Banten dimana lokasi pabrik dekat dengan waduk Krenceng, sehingga sumber air untuk unit utilitas berasal dari waduk tersebut. Produk Etilbenzena menggunakan proses Mobil Badger, yakni alkilasi benzena pada fase uap yang menghasilkan etilbenzena sebagai produk utama dan dietilbenzena sebagai produk samping. Dietilbenzena kemudian direaksikan kembali dengan benzena untuk membentuk etilbenzena.

Pemasaran Etilbenzena diutamakan untuk konsumsi dalam negeri dan juga dipasarkan keluar negeri. Bentuk perusahaan berupa Perseroan Terbatas (PT) dengan sistem organisasi line dan staff. Sistem kerja karyawan berdasarkan pembagian menurut jam kerja yang terdiri dari shift dan non shift dengan tenaga kerja yang dibutuhkan sebanyak 167 orang. Adapun hasil analisa ekonomi memberikan hasil penjualan yaitu sebesar 6.701.692.587.095,95. Selain itu diperoleh juga Return of Investment (ROI) sebelum pajak sebesar 53% dan Return of Investment (ROI) sesudah pajak sebesar 35%. Pay Out Time (POT) sebelum pajak yaitu 1,58 tahun dan Pay Out Time (POT) sesudah pajak sebesar 2,24 tahun. Sehingga diperoleh Break Event Point (BEP) sebesar 44% dan Shut down point (SDP) sebesar 31%. Berdasarkan pertimbangan hasil evaluasi tersebut, maka pabrik Etilbenzena dengan kapasitas 150.000 ton/tahun ini layak untuk didirikan.

Kata kunci : Etilbenzena, benzena, etilena, alkilasi, ZSM-5

1. Pendahuluan

Pertumbuhan industri di Indonesia khususnya industri kimia, mengalami peningkatan dari tahun ke tahun cenderung baik dari segi kualitas maupun kuantitas. Sebagai negara berkembang, berbagai kebutuhan kimia Indonesia belum seluruhnya dihasilkan sendiri. Pemenuhan permintaan dalam negeri acap kali masih diimpor dari berbagai negara, terutama permintaan akan bahan-bahan yang merupakan produk *intermediate*.

Salah satu produk yang dibutuhkan di industri kimia yaitu etilbenzena. Etilbenzena merupakan salah satu senyawa hidrokarbon aromatis penting di

industri petrokimia sebagai senyawa antara untuk memproduksi stirena. Stirena merupakan bahan utama pembuatan *polystyrena* dan beberapa monomer lainnya. Etilbenzena juga digunakan sebagai pelarut dalam tinta, karet perekat, pernis dan cat. PT. Styrindo Mono Indonesia adalah satu-satunya pabrik etilbenzena di Indonesia. Pabrik tersebut memproduksi etilbenzena dengan proses alkilasi benzena dengan etilena yang dirancang dengan lisensi Mobil/Badger. Etilbenzena yang diproduksi akan digunakan untuk memproduksi stirena dengan kapasitas 340.000 ton/tahun, sehingga etilbenzena untuk produksi bahan kimia



lainnya belum diakomodasi PT. Styrimdo Mono Indonesia.

Didirikannya pabrik etilbenzena di Indonesia, diharapkan dapat memenuhi kebutuhan etilbenzena di Indonesia sekaligus membuka lapangan pekerjaan baru yang akan memicu pembangunan pabrik lain yang memanfaatkan etilbenzena sebagai bahan baku.

Tabel 1 Kebutuhan Impor Etilbenzena di Indonesia

No.	Tahun	Jumlah (ton)	Pertumbuhan (%)
1	2011	623.773	0
2	2012	643.406	3,15
3	2013	723.503	12,45
4	2014	935.987	29,37
5	2015	899.201	-3,93
Pertumbuhan Rata-rata			8,21

Pabrik etilbenzena direncanakan dibangun pada tahun 2022. Berdasarkan perhitungan menggunakan *discounted method* dengan rumus sebagai berikut :

$$m_5 = P (1+i)^n \quad \dots(1.1)$$

$$m_3 = (m_4 + m_5) - (m_1 + m_2) \quad \dots(1.2)$$

peluang kapasitas Etilbenzena yang akan didirikan pada tahun 2022 sebesar 1.560.000 ton/tahun. Berdasarkan pertimbangan bahan baku, maka kapasitas pabrik Etilbenzena yang akan didirikan sebesar 150.000 ton/tahun atau 10% dari kapasitas total.

Pabrik etilbenzena direncanakan dibangun di Kecamatan Citangkil Kabupaten Cilegon Provinsi Banten. Pemilihan lokasi berdasarkan atas ketersediaan lahan yang cukup dan lokasi yang berdekatan dengan pelabuhan, sehingga baku etilena yang diperoleh dari PT. Chandra Asri Petrochemical mudah ditransportasikan. Selain itu dekat dengan daerah perusahaan yang memerlukan bahan etilbenzena di Indonesia, dan memudahkan penjualan etilbenzena ke luar negeri. Bentuk perusahaan yang direncanakan adalah Perseroan Terbatas dengan total karyawan sebanyak 167 orang.

2. Deskripsi Proses

Proses produksi Etilbenzena dapat dilakukan dengan beberapa cara, berikut 3 cara pembuatannya

berdasarkan katalis dan lisensi paten yang digunakan yang digunakan. Perbandingan proses produksi etilbenzena:

Tabel 2 Perbandingan Proses Produksi Etilbenzena

Parameter	Proses Mobil Badger	Proses Friedel Crafts	Proses Lumnus-UOP
Bahan baku	Etilena; Benzena	Etilena; Benzena	Etilena; Benzena
Bahan Pembantu	Katalis Zeolit ZSM-5	Katalis AlCl ₃	Katalis Zeolit Y
Kondisi			
-Tekanan	-18,7 atm	-34 atm	-36 atm
-Suhu	-400 °C	-160-250 °C	-150-175 °C
Produk Samping	-	Polycyclic Aromatic	Naphthene Toluene Alkilbenzena
Yield	99%	98%	99,5

Berdasarkan perbandingan proses pada Tabel 2, proses yang dipilih untuk menghasilkan Etilbenzena adalah alkilasi fase uap dengan katalis zeolite ZSM-5.

Etilbenzena diproduksi dalam tiga tahap, yaitu :

1. Tahap Persiapan Bahan Baku

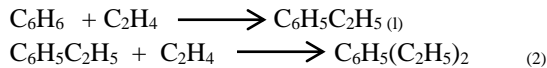
Bahan baku cair Benzena (99%) dan etilena (99,5%) disimpan dalam tangki penyimpanan pada suhu 30 dan 8 °C pada tekanan 1 atm. Kemudian bahan diuapkan dan dipanaskan menjadi 400 °C lalu dikompresi hingga 18,7 atm.

2. Tahap Pembentukan Produk

Pembentukan etilbenzena terjadi dalam 2 reaktor, yang pertama pada reaktor alkilasi dan yang kedua pada reaktor transalkilasi. Reaksi benzena dan etilena dengan perbandingan mol 5,5:1 untuk membentuk etilbenzena terjadi dalam reaktor *fixed bed multitube*. Reaksi berlangsung pada suhu 400 °C dan tekanan 18,7 atm dengan konversi 97,2% pada reaktor alkilasi. Reaksi berlangsung eksotermis. Reaksi pembentukan etilbenzena dibantu dengan penambahan katalis Zeolit ZSM-5. Reaksi yang terjadi pada reaktor alkilasi :



➤ Alkilasi

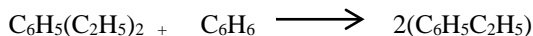


Hasil keluaran reaktor alkilasi yang terdiri dari etilbenzena, benzena, dietilbenzena, dan etilena 400 °C dan tekanan 18,7 atm kemudian dialirkan menuju Ekspander untuk diekspansi, lalu keluaran Ekspander dialirkan menuju Kondensator untuk diembunkan dan suhunya diturunkan menjadi 87 °C. Setelahnya, keluaran Kondensator dialirkan menuju Separator agar fase uap dan cair produk dipisahkan. Aliran uap dialirkan menuju *Waste Treatment Plant* sedangkan yang cair akan dialirkan menuju *Mixing Point 1* sebagai umpan Menara Distilasi 1.

3. Tahap Pemurnian Produk

Etilbenzena, Benzena dan Dietilbenzena yang berupa cairan dialirkan menuju Menara Distilasi 1 untuk proses pemisahan Benzena. Selanjutnya, keluaran bawah Menara Distilasi 1 dialirkan menuju Menara Distilasi 2 untuk proses pemisahan Etilbenzena. Keluaran atas Menara Distilasi 2 berupa produk Etilbenzena, sedangkan keluaran bawah Menara Distilasi 2, dietilbenzena, akan dialirkan sebagai umpan Reaktor Transalkilasi yang beroperasi pada suhu 400 °C dan tekanan 7 atm. Keluaran Reaktor Transalkilasi akan dipertemukan dengan keluaran reaktor Alkilasi di *Mixing Point 2* untuk sama-sama dialirkan sebagai umpan pada Menara Distilasi 1. Reaksi yang terjadi pada Reaktor Transalkilasi:

➤ Transalkilasi



Berdasarkan tinjauan termodinamika, dapat diketahui suatu reaksi bersifat eksotermis atau endotermis dengan data dan perhitungan sebagai berikut (Coulson, 2005):

Tabel 3 Daftar ΔH_{298K} Komponen

Komponen	ΔH_{298} (kJ/mol)
C ₂ H ₄	52,3000
C ₆ H ₆	82,9300
C ₈ H ₁₀	14,8950
C ₁₀ H ₁₄	-21,8400

➤ Reaktor Alkilasi

Reaksi pembentukan Etilbenzena

$$\begin{aligned} \Delta H_{298} &= \sum \Delta H_{\text{produk}} - \sum \Delta H_{\text{reaktan}} \\ &= \Delta H_{298}(\text{C}_8\text{H}_{10}) - \\ &\quad [\Delta H_{298}(\text{C}_2\text{H}_4) + \Delta H_{298}(\text{C}_6\text{H}_6)] \\ &= (14,8950) - [(52,3000) + \\ &\quad (82,9300)] \\ &= 14,8950 - (135,2000) \\ &= -120,3350 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

Reaksi pembentukan Dietilbenzena

$$\begin{aligned} \Delta H_{298} &= \sum \Delta H_{\text{produk}} - \sum \Delta H_{\text{reaktan}} \\ &= \Delta H_{298}(\text{C}_{10}\text{H}_{14}) - \\ &\quad [\Delta H_{298}(\text{C}_2\text{H}_4) + \Delta H_{298}(\text{C}_8\text{H}_{10})] \\ &= (-21,8400) - [(52,3000) + \\ &\quad (14,8950)] \\ &= -21,8400 - (68,1950) \\ &= -90,0350 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

➤ Reaktor Transalkilasi

Reaksi pembentukan Etilbenzena

$$\begin{aligned} \Delta H_{298} &= \sum \Delta H_{\text{produk}} - \sum \Delta H_{\text{reaktan}} \\ &= \Delta H_{298}(\text{C}_8\text{H}_{10}) - \\ &\quad [\Delta H_{298}(\text{C}_{10}\text{H}_{14}) + \Delta H_{298}(\text{C}_6\text{H}_6)] \\ &= (29,7900) - [(-21,8400) + \\ &\quad (82,9300)] \\ &= 29,7900 - (61,09) \\ &= -1,51 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

Reaksi pembentukan Etilbenzena bersifat eksotermis yang ditandai dengan ΔH_f bernilai negatif.

Tabel 4 Komposisi Masuk dan Keluar Reaktor Alkilasi

Komponen	Aliran Masuk (kg/jam)	Aliran Keluar (kg/jam)
C ₆ H ₆	79.603,2668	65.534,9986
C ₂ H ₄	5.197,6036	103,8437
C ₂ H ₆	26,1186	26,1186
C ₈ H ₁₀	-	18.963,0912
C ₁₀ H ₁₄	-	198,9370
TOTAL	84.826,9891	84.826,9891



Tabel 5 Komposisi Masuk dan Keluar Reaktor Transalkilasi

Komponen	Aliran Masuk (kg/jam)	Aliran Keluar (kg/jam)
C ₆ H ₆	756,2598	674,6548
C ₈ H ₁₀	15,3587	237,1836
C ₁₀ H ₁₄	233,6992	93,4794
TOTAL	1.005,3178	1.005,3178

Daftar harga bahan baku dan produk dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6 Harga Bahan Baku dan Produk

Komponen	Harga (per kilogram)
Benzena	Rp 11.810
Etilena	Rp 9.910
ZSM-5	Rp 1.629.000
Etilbenzena	Rp 44.119

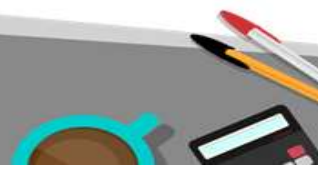
Sumber : www.molbase.com

3. Utilitas

Utilitas adalah unit penunjang dalam suatu pabrik yang berfungsi menyediakan kebutuhan steam, air pendingin, listrik serta air. Sumber air pabrik Etilbenzena diperoleh dari waduk Krenceng yang berkapasitas 5.000.000 m³/hari. Pembangkit listrik utama pabrik menggunakan suplai listrik dari PLTU Suralaya yang memiliki daya sebesar 3400 MW dan di-back up PLTU Banten yang memiliki daya sebesar 600 MW. Untuk mengantisipasi adanya pemadaman, maka disiapkan generator yang bahan bakarnya diperoleh dari PT. Pertamina. Kebutuhan rutin dalam kegiatan operasi pabrik Etilbenzena dapat dilihat pada Tabel 7.

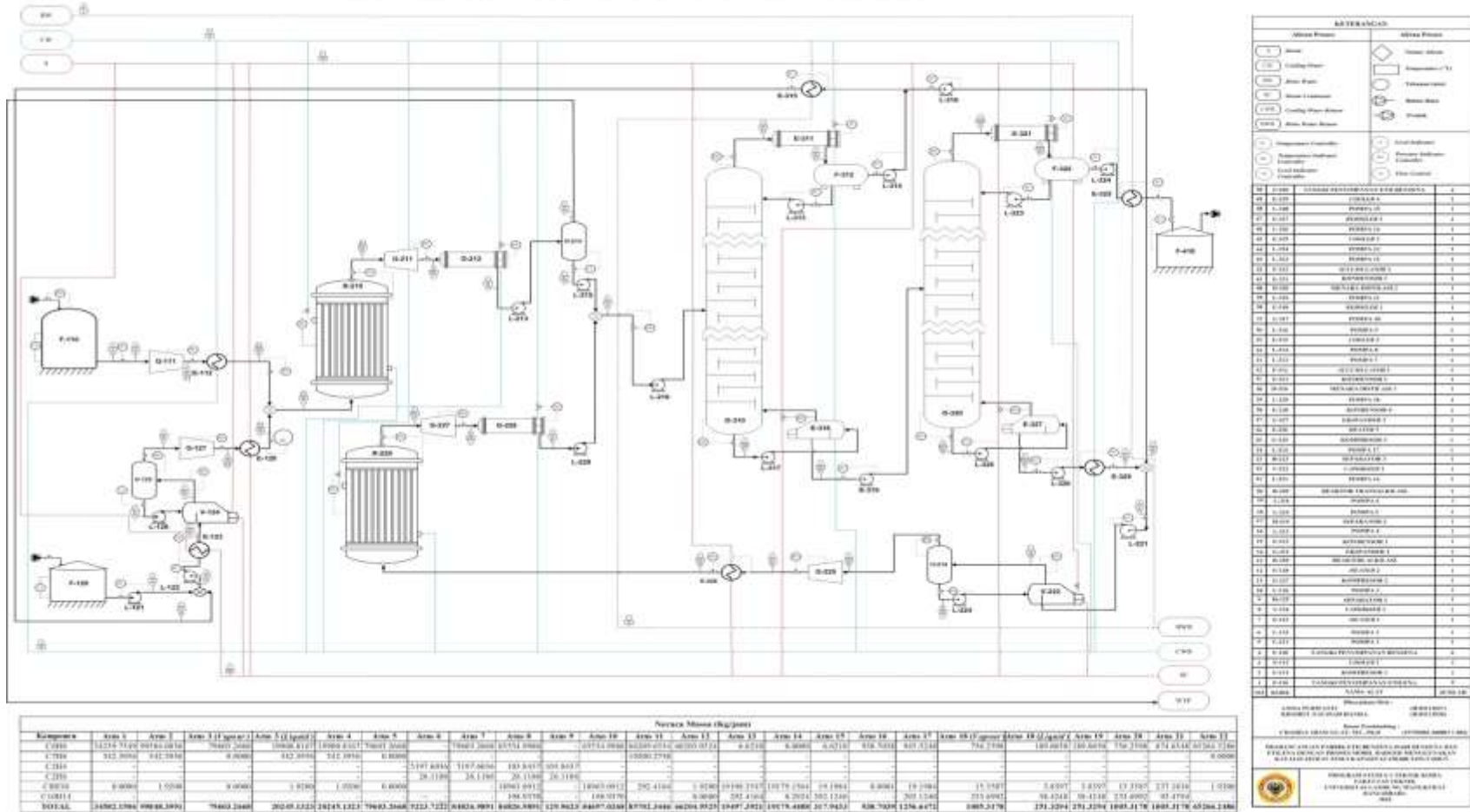
Tabel 7 Kebutuhan Utilitas Pabrik Etilbenzena

Kebutuhan	Jumlah (kg/jam)
Steam	858.283,9763
Cooling water	4.289.798,1062
Brine water	60.587.840,7329
Bahan bakar	725,1566





PROCESS ENGINEERING FLOW DIAGRAM
PRARANCANGAN PABRIK ETILBENZENA DARI BENZENA DAN ETILENA DENGAN PROSES MOBIL BADGER
MENGUNAKAN KATALIS ZEOLIT ZSM-5 KAPASITAS 150.000 TON/TAHUN



Gambar 1 Flow Diagram Process Prarancangan Pabrik Etilbenzena Dari Benzena Dan Etilena Dengan Proses Mobil Badger Menggunakan Katalis Zeolit ZSM-5 Kapasitas 150.000 Ton/Tahun

4. Analisis Ekonomi

Pabrik Etilbenzena memerlukan modal dengan seperti pada Tabel 8.

Tabel 8 Jumlah Biaya Pendirian Pabrik Etilbenzena

Jenis Biaya	Jumlah (Rp)
FCI	1.198.228.573.576,62
TPC	5.927.537.940.453,33
TCI	2.438.869.042.529,67
WC	1.155.052.713.697,58

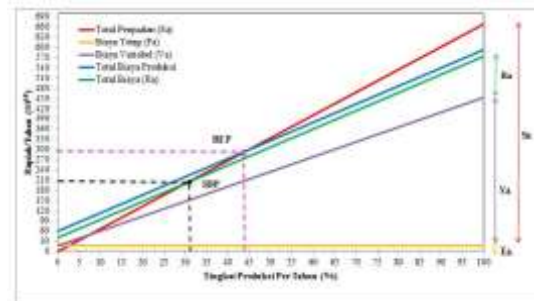
Suatu pabrik dikatakan sehat jika dapat memberikan keuntungan yang layak bagi perusahaan. Kelayakan pembangunan pabrik dapat diketahui melalui analisa ekonomi. Berdasarkan analisis tersebut, keputusan untuk menjalankan proyek, menunda atau tidak menjalankannya dapat diambil (Prasetya at al., 2014). Beberapa faktor yang harus ditinjau dalam menganalisa kelayakan pendirian pabrik antara lain *percent return on investment (ROI)*, *pay out time (POT)*, *interest rate of return (IRR)*, *break event point (BEP)* dan *shut down point (SDP)*.

Tabel 8 Analisis Ekonomi

Analisa Kelayakan	Nilai	Batasan	Ket
ROI	35%	Minimal 11%	Layak
POT	2,24th	Maksimal 5 th	Layak
IRR	15,87%	> 12%	Layak
BEP	44%	40% - 60%	Layak
SDP	31%	20%-40%	Layak

ROI merupakan perkiraan keuntungan yang dapat diperoleh setiap tahun, berdasarkan pada kecepatan pengembalian modal industri yang diinvestasikan (Alimah, 2013). Semakin besar persentasenya, maka keadaan perusahaan semakin baik (Simamora, 2002). POT merupakan jangka waktu pengembalian dana investasi (Alimah, 2013). IRR adalah tingkat bunga yang dapat membuat besarnya *net present value (NPV)* sama dengan nol. Pabrik layak diusahakan dan akan memberikan keuntungan jika nilai IRR lebih besar dari bunga bank (Haryadi, 2012). Berdasarkan hasil perhitungan, nilai bunga bank yang diperoleh untuk melunasi modal pinjaman bank dalam waktu 10 tahun adalah 12%. BEP merupakan titik

impas, di mana nilai total *output* pendapatan atau total *output* penjualan sama dengan total biaya yang telah dikeluarkan, suatu kondisi di mana perusahaan tidak dalam keadaan untung maupun rugi (Haryadi, 2012). SDP adalah suatu titik penentuan aktivitas produksi lebih baik dihentikan daripada dilanjutkan beroperasi (Sari, 2016). Grafik kelayakan analisis ekonomi pabrik Butil Oleat dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 Grafik SDP dan BEP Pabrik Etilbenzena Kapasitas 150.000 Ton/Tahun

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan Prarancangan Pabrik Etilbenzena Dari Benzena Dan Etilena Dengan Proses Mobil Badger Menggunakan Katalis Zeolit ZSM-5 Kapasitas 150.000 Ton/Tahun, dapat disimpulkan bahwa pabrik layak untuk dibangun. Kelayakan pembangunan pabrik dapat dilihat dari beberapa faktor hasil perhitungan analisis ekonomi, yaitu didapatkannya nilai ROI 35%, POT 2,24 tahun, IRR 14,74%, BEP 44% dan SDP 31%.

DAFTAR PUSTAKA

- Brown, George G. 1956. *Unit Operations*. CBS Publishers & Distributors. New Delhi.
- Brownell, Lloyd E., Edwin H. Young. 1959. *Process Equipment Design*. John Wiley & Sons. USA.
- Considine, Douglas M. 1985. *Instruments and Controls Handbook 3rd Edition*. USA: Mc.Graw-Hill, Inc.
- Coulson, J.M. and Richardson, J.F. 1983. *An Introduction to Chemical Engineering*. Allyn and Bacon Inc., Massachusetts.





- Coulson, R. K. 2005. *Chemical Engineering Design Volume 6 4th Edition*. Elsevier Butterworth-Heinemann. Oxford
- Degnan, T. F., C. M. Smith, et al. 2001. "Alkylation of aromatics with ethylene and propylene: recent developments in commercial processes." *Applied Catalysis A: General* 221(1): 283-294.
- Geankoplis, Christie J. 1997. *Transport Process and Unit Operations 3rd Edition*. Prentice-Hall International, Inc. New Jersey.
- Hesse, H. C. 1945. *Process Equipment Design*. D. Van Nostrand Company, Inc. New Jersey.
- Kern, Donald Q. 1950. *Process Heat Transfer*. McGraw-Hill International Book Company, Inc. Japan.
- Kirk, R. E. and D. F. Othmer 1996. *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology*, John Wiley and Sons, Inc., Universitas Michigan, Canada.
- Lummus UOP. 2004. *Ethylbenzene Process*. Process Technology and Equipment. USA.
- Mc. Ketta, J. J. and W. A. Cunnigham 1983. *Encyclopedia of Chemical Processing and Design*, Marcel Dekker Inc., New York.
- Olson, D.H. dan W.O. Haag, *Structure-selectivity relationship in xylene isomerization and selective toluene disproportionation*, *Am. Chem. Soc. Symp. Ser.*, 248 (1984) 275-307.
- Perry, Robert H and Don W Green. 1999. *Perry's Chemical Engineering Handbook*. New York: McGraw-Hill.
- Peters, Max S and Klaus D. Timmerhaus. 1991. *Plant Design and Economics for Chemical Engineers Fourth Edition*. Mc Graw Hill International. Singapore.
- Petushkov, A., Yoon, S., dan Larsen, S.C., 2011. *Synthesis of Hierarchicalnanocrystalline ZSM-5 with Controlledparticle Size and Mesoporosity*. *Micropor. Mesopor. Mater.*, 137, 92-103.
- Purnamasari, Ika & Prasetyoko, Didik. 2011. *Sintesis & Karakterisasi ZSM-5 Mesopori serta Uji Aktivitas Katalitik pada Reaksi Esterifikasi Asam Lemak Stearin Kelapa Sawit*. FMIPA, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Smith, J. M. H. C. Van Ness, dan M. M. Abbott. 2005. *Intoduction to Chemical Engineering Thermodynamics 6th Edition*. McGraw-Hill International. New York.
- Septiana, B & Prasetyoko, D. 2012. *Sintesis ZSM-5 Berbahan Dasar Kaolin Menggunakan Metode Hidrotermal*, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya. 1(1), 1-4.
- Ullman, Fritz. 1985. *Ullman's Encyclopedia of Industrial Chemistry Vol. 3*. John Willey and Sons Inc. New York.
- Ulrich, G.D. 1984. *A Guide to Chemical Engineering Process Design and Economics*. New York: John Willey and Sons.
- Welch, V. A., K. J. Fallon, et al. 2012. "Ethylbenzene." *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry* 13.
- Yadina, Alifah. 2013. *Makalah Proses Industri Kimia II*. Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Sriwijaya.
- Yang, W., Z. Wang, et al. 2016. "Advances in development and industrial applications of ethylbenzene processes." *Chinese Journal of Catalysis* 37(1): 16-26.
- Yaws. 1999. *Chemical Properties Handbook: Physical, Thermodynamics, Environmental, Transport, Safety, and Health Related Properties for Organic and Inorganic Chemicals*. Mc-Graw-Hill. USA
- You, H., W. Long, et al. 2006. "The mechanism and Kinetics for the Alkylation of Benzene with Ethylene." *Petroleum Science and Technology* 24.

