

PRARANCANGAN PABRIK CUMENE DARI PROPILLEN DAN BENZENE MENGGUNAKAN KATALIS BETA ZEOLIT DENGAN KAPASITAS 10.000 TON/TAHUN

Muhammad Adzhari Ansari*, Muhammad Ihsan

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

*Corresponding Author: ansariadzhari@gmail.com

Abstrak

Cumene (C_9H_{12}) adalah senyawa yang sangat penting bagi perkembangan industri kimia diantara kegunaannya antara lain sebagai bahan baku pembuatan fenol, aseton, acetophenone, resin, solven dan asam terephthalat sedangkan untuk industri mekanik senyawa cumene digunakan untuk pembuatan zat aditif pada bahan bakar dengan tujuan meningkatkan kemampuan mesin piston pesawat terbang. Pabrik C_9H_{12} berkapasitas 10.000 ton/tahun beroperasi selama 330 hari/tahun dan dibangun tahun 2022 di Kecamatan Cilegon, Kabupaten Serang, Provinsi Banten. Bahan baku yang digunakan adalah propilen (C_3H_6) dan benzene (C_6H_6) menggunakan bantuan katalis beta zeolit.

Reaktor pembuatan cumene (C_9H_{12}) beroperasi pada suhu masuk reaktor $350\text{ }^\circ\text{C}$ dan tekanan 25 atm. Reaktor yang digunakan adalah reaktor *fixed bed multitube* reaksi bersifat eksotermis (mengeluarkan panas). Produk keluaran reaktor yang masih mengandung produk samping DIPB ($C_{12}H_{18}$) selanjutnya akan direaksikan kembali di reaktor kedua *fixed bed multitube* yang beroperasi pada suhu $300\text{ }^\circ\text{C}$ dan tekanan 1 atm kemudian dialirkan ke menara distilasi untuk memisahkan produk dari impuritis. sehingga diperoleh produk cumene (C_9H_{12}) dengan kemurnian 99,5%.

Pemasaran C_9H_{12} diutamakan untuk konsumsi dalam negeri agar tidak mengimpor lagi. Sistem kerja karyawan sebanyak 108 orang dibagi dalam regu dan *shift*. Hasil analisa ekonomi memberikan hasil TCI sebesar Rp 300.396.696.497 dan diperoleh hasil penjualan Rp 4.074.878.248.409,34. Berdasarkan hasil perhitungan analisis ekonomi, yaitu didapatkan nilai POI 7%, ROI 14%, POT 4,46 tahun, NVP Rp 3.436.649.327, IRR 12,27%, BEP 40,45% dan SDP 20,50%.. Berdasarkan pertimbangan hasil analisis kelayakan ekonomi BEP dan SDP memenuhi syarat, maka pabrik C_9H_{12} kapasitas 10.000 ton/tahun layak dibangun.

Kata kunci: *cumene, propilen, benzene, beta zeolit*

1. Pendahuluan

Langkah untuk mendorong kemajuan dan memperkuat perekonomian nasional diantara lain adalah dengan mendorong pembangunan dan perkembangan industri pabrik kimia. Saat ini masih banyak sekali bahan baku ataupun bahan penunjang pada industri-industri kimia dalam negeri yang masih mengandalkan impor dari luar negeri, salah satunya *cumene*, *cumene* merupakan bahan baku utama pembuatan fenol dan aseton. *Cumene* juga merupakan produk menengah yang mempunyai peranan penting dalam menghasilkan produk industri lain seperti : *nylon, polycarbonate, epoxy*, dan lainnya. Kebutuhan *cumene* di Indonesia dari tahun ke tahunnya terus mengalami peningkatan.

Berdasarkan data statistik perdagangan luar negeri Indonesia, jumlah impor *cumene* dari tahun 2008 sampai dengan 2013 menunjukkan peningkatan kebutuhan *cumene*. Bukan hanya didalam negeri saja, kebutuhan cumene sangat dibutuhkan di luar negeri karena kebutuhan cumene dunia mengalami peningkatan dengan kenaikan 4,2 % pertahun (Process-word wide.com).

Produksi cumene dibuat dengan mereaksikan propilen (C_3H_6) dan Benzene (C_6H_6) dengan bantuan katalis (Turton *et all*, 1998) . Kebutuhan bahan baku dapat dipenuhi dari PT. Pertamina (Kilang Paraxylene), Cilacap , dan Pabrik PT. Candra Asri, Cilegon. Sehingga dengan membangun pabrik C_9H_{12} (cumene) di Indonesia



dapat memenuhi kebutuhan dalam negeri dan menjadi pemicu berdirinya pabrik dengan bahan baku cumene sehingga tercipta lapangan pekerjaan. Kebutuhan impor cumene di Indonesia pada tahun 2008 sampai dengan 2013 (comtrade.com):

Tabel 1 Kebutuhan Impor Cumene di Indonesia

No.	Tahun	Jumlah (kg)	Pertumbuhan (%)
1	2008	2.785.305	0
2	2009	2.851.382	2,37
3	2010	4.801.985	68,40
4	2011	2.704.290	-43,68
5	2012	2.840.195	5,02
6	2013	3.816.446	34,37
Pertumbuhan Rata-rata			11,08

Pabrik C_9H_{12} 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 C_9H_{12} yang akan didirikan pada tahun 2022 sebesar 9.828 ton/tahun, dengan mempertimbangkan kapasitas minimum produksi dunia sebesar 5.000 ton/tahun (Mc. Ketta, 1998) , maka kapasitas yang akan didirikan sebesar 10.000 ton/tahun.

Pabrik C_9H_{12} direncanakan berlokasi di Kecamatan Cilegon, Kabupaten Serang Provinsi Banten. Pemilihan lokasi berdasarkan atas ketersediaan lahan yang cukup dan area transportasi yang lancar serta dekat dengan sumber bahan baku maupun bahan pendukung. Bentuk perusahaan yang direncanakan adalah Perseroan Terbatas dengan total karyawan sebanyak 161 orang.

2. Deskripsi Proses

Proses produksi C_9H_{12} dapat dilakukan dengan beberapa proses, namun disini yang dicantumkan hanya dua proses yang terbaru yaitu q-max proses yang memakai katalis beta zeolit dan proses UOP yang memakai katalis asam posfat. Perbandingan proses produksi cumene dengan memakai katalis beta zeolit dan asam posfat, antara lain:

Tabel 2 Perbandingan Proses Produksi Cumene

Parameter	Proses	
Bahan baku	$C_3H_6 + C_6H_6$	$C_3H_6 + C_6H_6$
Temperatur	350 °C	350 °C
Tekanan	25 atm	25 atm
Katalis	Beta Zeolit	Asam Posfat
Konversi	99%	90%
Kelebihan	<ul style="list-style-type: none"> • Katalis Beta Zeolit bisa di regenerasi • Lebih Murah • Proses yang digunakan adalah proses terbaru • Lebih Ramah Lingkungan 	-
Kekurangan		<ul style="list-style-type: none"> • Katalis asam sehingga kurang ramah lingkungan • Lebih mahal karena diperlukan tahap pembasuhan katalis dan katalis tidak bisa diregenerasi

Berdasarkan perbandingan proses pada Tabel 2, proses yang dipilih untuk menghasilkan cumene adalah proses dengan menggunakan katalis beta zeolit.

Cumene diproduksi dalam tiga proses sebagai berikut :

1. Proses Persiapan Bahan Baku

propilen (99%) dan Benzene (99%) dalam fase liquid disimpan dalam tangki penyimpanan benzene (30 °C, 1 atm) dan tangki penyimpanan propilen (30 °C 7,5 atm). Kemudian benzene diuapkan di vaporizer dan dinaikan tekanan dan suhu nya menjadi 25 atm dan 350 °C, untuk propilen dinaikan tekanan dan suhunya saja menjadi 25 atm dan 350 °C.

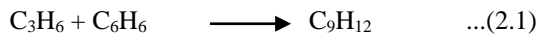
2. Proses Pembentukan Produk

Reaksi propilen dan benzene dengan perbandingan mol 1:2 membentuk cumene

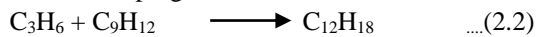


(C₉H₁₂) terjadi dalam reaktor *fixed bed multitube*. Reaksi terjadi pada suhu 350 °C dan tekanan 25 atm. Reaksi pembentukan cumene dibantu dengan penambahan katalis beta zeolit reaksi terjadi didalam *tube-tube* dengan katalis padatan didalamnya dan berlangsung secara eksotermis (Turton *et al*, 1959). Reaksi yang terjadi :

Reaksi Utama



Reaksi Samping



Produk gas reaktor berupa cumene diturunkan tekanan dan suhunya menjadi 0,3 atm dan 86,82 °C menggunakan kondensor dan ekspander kemudian dipisahkan fase uap dan cairnya dengan tangki *flash drum*.

3. Tahap Pemurnian Produk

Fase uap yang mengandung DIPB hasil samping dari reaktor pertama direaksikan kembali di reaktor kedua dengan bantuan katalis beta zeolit Fase cair nya di campur dengan keluaran reaktor kedua kemudian dipisahkan dengan menara distilasi pertama, pada tahap ini terjadi pemisahan benzene dan cumene, benzene hasil atas akan direcycle ke *mixer* dan hasil bawah yang sebagian terdiri dari cumene diumpankan lagi ke menara distilasi kedua untuk dimurnikan, adapun hasil atas adalah toluene dan hasil bawah adalah cumene dengan kemurnian 99,5% kemudian disimpan dalam tangki penyimpanan setelah diturunkan suhu nya.

Berdasarkan tinjauan termodinamika, dapat diketahui suatu reaksi bersifat eksotermis atau endotermis dengan data dan perhitungan sebagai berikut (Yaws, 1999):

Tabel 3 Daftar ΔH_{298K} Komponen

Komponen	ΔH ₂₉₈ (kJ/mol)
C ₃ H ₆	19,7
C ₆ H ₆	82,9
C ₉ H ₁₂	4
C ₁₂ H ₁₈	-77,6

Reaksi utama

$$\Delta H_{298} = \sum \Delta H_{\text{produk}} - \sum \Delta H_{\text{reaktan}}$$

$$= [\Delta H_{298} (C_9H_{12})] -$$

$$[\Delta H_{298} (C_6H_6) + \Delta H_{298} (C_3H_6)]$$

$$= [4] - [82,9 + 19,7]$$

$$= -98,6 \text{ kJ/mol}$$

Reaksi Samping

$$\Delta H_{298} = \sum \Delta H_{\text{produk}} - \sum \Delta H_{\text{reaktan}}$$

$$= [\Delta H_{298} (C_{12}H_{18})] -$$

$$[\Delta H_{298} (C_3H_6) + \Delta H_{298} (C_6H_6)]$$

$$= [-77,6] - [4 + 19,7]$$

$$= -101,3 \text{ kJ/mol}$$

Reaksi pembentukan C₉H₁₂ bersifat eksotermis yang ditandai dengan ΔH_f bernilai negatif. Sedangkan untuk mengetahui reaksi berjalan secara *reversible* atau *irreversible* ditentukan dari energi Gibbs yang mempengaruhi kesetimbangan kimia dengan data dan perhitungan sebagai berikut (Yaws, 1999) :

Tabel 4 Daftar ΔG_{298K} Komponen

Komponen	ΔG ₂₉₈ (kJ/mol)
C ₃ H ₆	62,2
C ₆ H ₆	129,8
C ₉ H ₁₂	147,8
C ₁₂ H ₁₈	137,1

Reaksi Utama

$$\Delta G_{298} = \sum \Delta G_{\text{produk}} - \sum \Delta G_{\text{reaktan}}$$

$$= [\Delta G_{298} (C_9H_{12})] -$$

$$[\Delta G_{298} (C_3H_6) + \Delta G_{298} (C_6H_6)]$$

$$= [147,8] - [62,2 + 129,8]$$

$$= -44,2 \text{ kJ/mol}$$

Reaksi Samping

$$\Delta G_{298} = \sum \Delta G_{\text{produk}} - \sum \Delta G_{\text{reaktan}}$$

$$= [\Delta G_{298} (C_{12}H_{18})] -$$

$$[\Delta G_{298} (C_3H_6) + \Delta G_{298} (C_9H_{12})]$$

$$= [137,1] - [62,2 + 147,8]$$

$$= -72,9 \text{ kJ/mol}$$

Berdasarkan perhitungan di atas, maka reaksi pembentukan C₉H₁₂ berlangsung secara spontan (*irreversible*).

Reaksi pembentukan C₉H₁₂ merupakan reaksi orde 2 dengan data-data kinetika sebagai berikut (Turton *et al*, 2003):

Dalam pembentukan reaksi utama,

$$K = 2,8 \times 10^7 \exp(-12,530/T), E = 10414 \quad \dots(2.3)$$



Dalam pembentukan reaksi samping,

$$K = 2,32 \times 10^9 \exp(-17,650/T), E = 146742 \dots(2.4)$$

Dengan,

K = Konstanta Kecepatan reaksi satuan
(liter/mol.s)

E = Energi Aktivasi satuan (kJ/kmol)

T = Temperatur (K)

Tabel 5 Neraca Massa Reaktor

Komponen	Aliran Masuk (kg/jam)	Aliran Keluar (kg/jam)
Propana	10,200	10,200
Propilen	462,037	15,016
Toluene	17,302	17,302
Benzene	1712,873	899,259
Cumene	0,126	1245,197
DIPB	-	15,564
TOTAL	2202,538	2202,538

Daftar harga bahan baku dan produk tersaji dalam Tabel 6.

Tabel 6 Harga Bahan Baku dan Produk

Komponen	Harga (per kilogram)
C ₃ H ₆	Rp 9.365
C ₆ H ₆	Rp 14.658
Beta Zeolit	Rp 12.215
C ₉ H ₁₂	Rp 42.209

Sumber : www.molbase.com
www.alibaba.com

3. Utilitas

Utilitas merupakan unit penunjang utama dalam suatu pabrik untuk menyediakan kebutuhan air pendingin, steam, bahan bakar, listrik serta air. Sumber air untuk pabrik C₉H₁₂ diperoleh dari Sungai Cidanau dengan debit air sebesar 2000 liter/jam. Pembangkit listrik utama pabrik menggunakan generator yang bahan bakarnya diperoleh dari PT. Pertamina dan ketersediaan listrik disuplai dari PLTGU Cilegon dengan daya sebesar 700 MW. Kebutuhan yang diperlukan dalam kegiatan operasi pabrik C₉H₁₂ dapat dilihat pada Tabel 7.

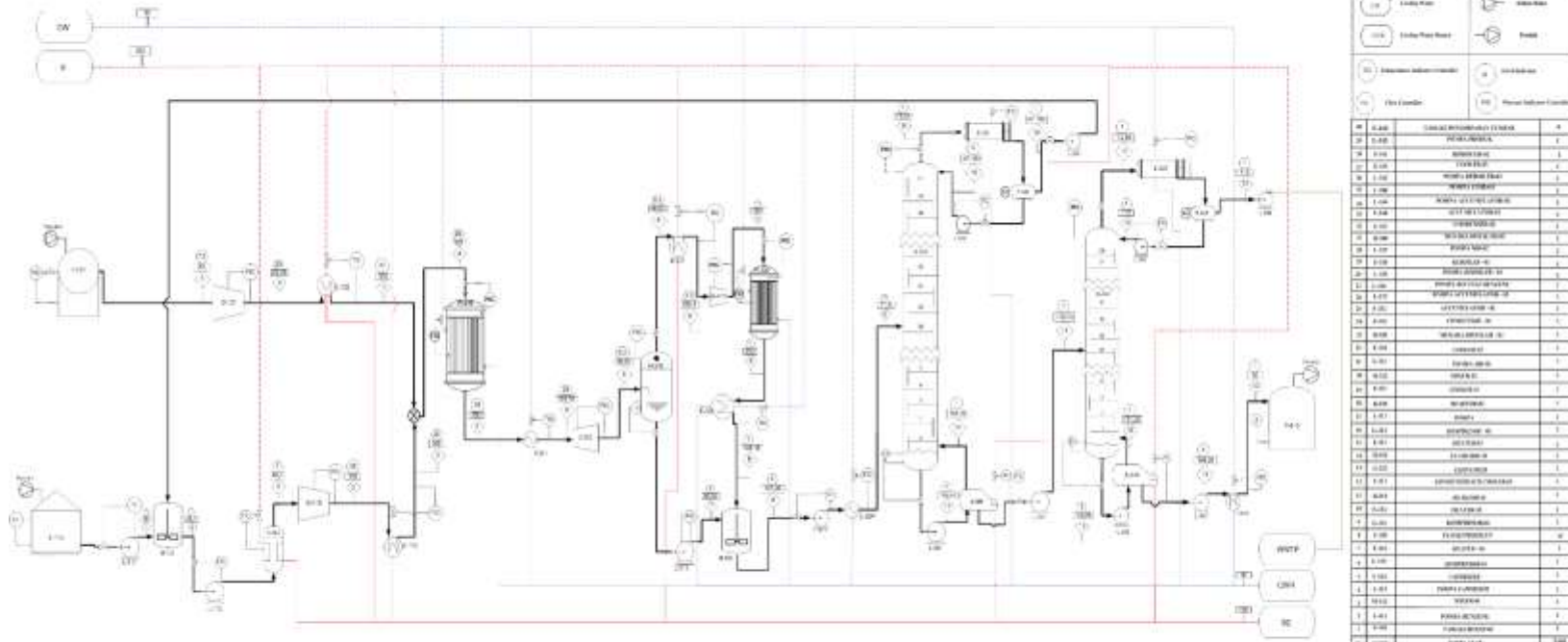
Tabel 7 Kebutuhan Utilitas Pabrik C₉H₁₂

Kebutuhan	Jumlah (kg/jam)
Steam	18.675,655
Air Pendingin	38.269,443
Air Sanitasi	4.380,8507
Bahan bakar	249,970





PRARANCANGAN PABRIK CUMENE DARI PROPILLEN DAN BENZENE DENGAN KATALIS BETA ZEOLIT KAPASITAS 10.000 TON/TAHUN



Komponen	Aliran Massa Kg/jam												
	Arus 1	Arus 2	Arus 3	Arus 4	Arus 5	Arus 6	Arus 7	Arus 8	Arus 9	Arus 10	Arus 11	Arus 12	Arus 13
Propilena	-	7,95	2,24	10,2	10,2	0,02	10,18	0,02	10,2	7,954	2,24	2,24	-
Toulene	17,302	17,302	-	17,302	17,302	1,914	15,388	1,914	17,302	0,000	17,302	15,57	17,302
Propilena	-	15,013	447,023	462,036	15,016	1,117	13,899	1,117	15,016	15,013	0,0030	0,003	-
Benzene	819,404	1712,873	-	1712,873	899,259	42,034	857,244	36,315	893,559	893,470	0,089	0,089	-
DIPB	-	-	-	-	15,564	12,25	3,044	0,665	3,709	0,00	3,709	3,709	3,709
Cumene	-	0,126	-	0,126	1245,197	382,949	862,248	400,504	1262,752	0,126	1262,626	0,631	1261,994
Total	836,706	1769,628	447,028	2216,656	2216,656	440,559	1716,097	440,559	2216,656	932,922	1283,734	16,30	1267,4334

Gambar 1 Flow Diagram Process Prarancangan Pabrik Cumene Dari Propilena dan Benzene Menggunakan Katalis Beta Zeolit Dengan Kapasitas 10.000 Ton/Tahun

4. Analisis Ekonomi

Analisa ekonomi dilakukan untuk mengetahui apakah pabrik yang dirancangakan menguntungkan atau tidak. Pabrik C_9H_{12} memerlukan modal seperti pada Tabel 8.

Tabel 8 Jumlah Biaya Pendirian Pabrik C_9H_{12}

Jenis Biaya	Jumlah (Rp)
FCI	222.270.715.465
WC	69.163.452.183
TCI	300.396.696.497
TPC	356.139.420.843

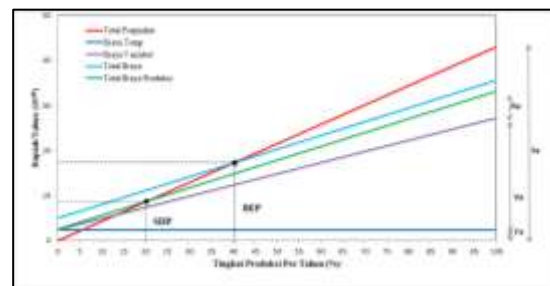
suatu pabrik dikatakan sehat jika dapat memenuhi kewajiban finansial kedalam dan keluar serta dapat mendatangkan keuntungan yang layak bagi perusahaan dan pemiliknya. Analisa ekonomi bertujuan untuk menganalisa dan melihat apakah pabrik *cumene* ini layak berdiri atau tidak. Berdasarkan analisis tersebut dapat diambil keputusan untuk menjalankan proyek, menunda atau tidak menjalankannya (Prasetya at al., 2014). Beberapa faktor yang harus ditinjau dalam menganalisa kelayakan pendirian pabrik antara lain *percent profit on sales* (POS), *percent return on investment* (ROI), *pay out time* (POT), *net present value* (NVP), *interest rate of return* (IRR), *break event point* (BEP) dan *shut down point* (SDP).

Tabel 8 Analisis Ekonomi

Analisa Kelayakan	Nilai	Batasan	Ket
POI	7%	Maksimal 10%	Layak
ROI	14%	Minimal 11%	Layak
POT	4,46 th	Maksimal 5 th	Layak
NVP	3.436.649.327	Harus Positif	Layak
IRR	12,27%	> 12%	Layak
BEP	40,45%	40% - 60%	Layak
SDP	20,50%	20%-40%	Layak

POI merupakan salah satu metode untuk menyatakan tingkat keuntungan dari produk yang dijual. ROI adalah tingkat keuntungan yang dapat dihasilkan setiap tahun, didasarkan pada kecepatan pengembalian modal industri yang diinvestasikan (Alimah, 2013). Semakin besar persentasenya, maka keadaan perusahaan semakin

baik (Simamora, 2002). POT merupakan jangka waktu pengembalian modal yang dihasilkan berdasar keuntungan yang dicapai (Alimah, 2013). NPV merupakan metode yang termasuk *discountedcashflow* penganut nilai waktu dan *proceeds* selama total usia. IRR adalah tingkat bunga tertentu yang dapat membuat besarnya *net present value* (NPV) sama dengan nol. Pabrik layak untuk diusahakan dan memberikan keuntungan jika nilai IRR lebih besar dari bunga bank (Haryadi, 2012). Berdasarkan hasil perhitungan, nilai bunga bank yang diperoleh untuk melunasi modal pinjaman pada bank dalam waktu 10 tahun adalah 12,27%. BEP merupakan titik impas (suatu kondisi dimana pabrik menunjukkan biaya dan penghasilan jumlahnya sama atau tidak untung atau tidak rugi) (Haryadi, 2012). SDP adalah suatu titik atau saat penentuan suatu aktivitas produksi harus dihentikan karena lebih murah untuk menutup pabrik dan membayar *Fixed Expanse* (Fa) dibandingkan harus produksi (Sari, 2016). Grafik kelayakan analisis ekonomi pabrik C_9H_{12} dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 Grafik SDP dan BEP Pabrik C_9H_{12} Kapasitas 10.000 Ton/Tahun

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan prarancangan pabrik *cumene* dari propilena dan benzena dengan katalis beta zeolit kapasitas 10.00 ton/tahun, dapat disimpulkan bahwa pabrik layak untuk dibangun. Kelayakan pembangunan pabrik dapat dilihat dari beberapa faktor hasil perhitungan analisis ekonomi, yaitu didapatkan nilai POI 7%, ROI 14%, POT 4,46 tahun, NVP Rp 3.436.649.327, IRR 12,27%, BEP 40,45% dan SDP 20,50%.





DAFTAR PUSTAKA

- Aries, R.S. and Newton, R.D., 1955. *Chemical Engineering Cost Estimation*. New York: MC Graw Hill Book Company inc.
- Bondiera, J. and Nacchache, C. 1991. *Kinetic of Methanol Dehydration on Dealuminated H-Mordenite Model with Acid and Basic Active Centres*. *Applied Catalysis* 69 (1991) 139-148.
- Branan, 2005. *Rule of Thumbs For Chemical Engineer*, 4th, Ed, Prentice Hall
- Brown, G. G et all. 1956. *Unit Operations*. New York : John Wiley & Sons, Inc.
- Brownell, Llyod E and Edwin H.Y. 1959. *Process Equipment Design*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Chemical Engineering Plant Cost Index-CE PCI 2016.
[http://www.Chemengque.eensu.ca./CEP\(1_2016\)Pdf](http://www.Chemengque.eensu.ca./CEP(1_2016)Pdf).
- Considine, Douglas M. 1985. *Instruments and Controls Handbook 3rd Edition*. USA: Mc.Graw-Hill, Inc.
- Coulson, J.M and J. F Richardson. 1999. *Chemical Engineering Design Volume 6*. Department of Chemical Engineering: Butterworth-Heinemann.
- Departemen Kesehatan Republik Indonesia. 2002. *Standar Kualitas Air Bersih*.
- Farsi, M. Eslamiouyan and A Jahanmiri. 2011. *Modeling, Simultion and Control Dimethyl Ether Synthesis in an Industrial Fixed-Bed Reactor*. *Chemical Engineering Processing* 650 (2011) 85-94.
- Fessenden, R.J., dan Fessenden, J.S., 1986. *Kimia Organik Jilid 2*. Erlangga. Jakarta.
- Foust, Alan S, Leonard A.W, Curtis W.C, Louis M and L. Bryce Andersen. 1980. *Principles of Unit Operation Second Edition*. USA: John Willey and Sons.
- Geankoplis, Christie John. 1997. *Transport Processes and Unit Operation Third Edition*. New Jersey: Prentice Hall.
- Gordon, M, Fair. 1968. *Water and Waste Water Engineering Volume 2*. New York: John Willey& Sons Inc.
- Gupta, et all. 2015. *Synthesis of Cumene By Transalkylation Over Modified Beta Zeolite: A kinetic Study*.
- Hesse, H.C. 1945. *Process Equipment Design*. New Jersey: D. Van Nostrand Company, Inc.
- Himmeblau, David M and James B.Riggs. 2004. *Basic Principles and Calculations in Chemical Engineering Seventh Edition*. New Jersey: Prentice Hall.
- Kern, D.Q. 1965. *Process Heat Transfer*. New York: Mc.Graw Hill.
- Ketta, John, 1990. *Encyclopedia Chemical Process and Design*. Marchell Dekker Inc., New York.
- Khandan, N.Mohammad. K, et.al. 2008. *Determining an Optimum Catalyst for Liquid-Phase Dehydration Methanol to Dimethyl Ether*. *Applied Catalysis A: General* 349 (2008): 6 -12.
- Kirk-Othmer. 1981. *Encyclopedia of Chemical Technology Vol.19*. John Wiley & Sons inc. New York.
- Kualitas Air, 2001 PP No. 8 Tahun 2001.
[http://www.hpli.org/reg/P/PP%2008%201001\\$20 kualitas air Pdf](http://www.hpli.org/reg/P/PP%2008%201001$20 kualitas air Pdf).
- Luyben. L Wiliam, 1999, *Desing and Control Cumene*, 1999
- Mitschke, P. et al. 2012. *Manufacturing of Dimethyl Ether from Crude Methanol*. US Patent Application Publication. United Satet. PCT/EP10/06498.
- Mc.Cabe.JF.Walls. A. 1993. *Applied Dental Material*. Singapore: Blackwell Publishing.
- Perry, R.H. & Don Green. 1984. *Chemical Engineer's Hand Book, 6th ed*. McGraw-Hill Book Co. Tokyo.
- Rase, Howard F and Holmes J. R. 1977. *Chemical Reactor Design for Process Plants Volume One : Principles and Techniques*. New York: John Wiley and Sons.
- Smith, J.M, H.C Van Ness and M.M Abbott. 2005. *Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics Seventh Edition*. New York: Mc Graw Hill.
- Sutarto. 2002. *Dasar-dasar Organisasi*. Yogyakarta: Gajah Mada University Press.
- Ogawa. 2003. *Direct Dimethyl Ether Synthesis*. *Journal of Natural Gas Chemistry* 12 (2003) 219-227.
- Technical Information and Safe Handling Guide for Methanol*. 2006.





- Timmerhaus, Klaus D and Max S.P. 1991. *Plant Design and Economics for Chemical Engineers Fourth Edition*. Singapore: Mc Graw Hill.
- Treybal, R.E. 1981. *Mass Transfer Operation Third Edition*. Singapore: McGraw Hill Book Company.
- Trisnadi, Arifiansyah, Putra Sugili dan SuryoRantjono. 2009. *Optimasi Tawas Dan Kapur untuk Koagulasi Air Keruh dengan Penanda 1-131*. Seminar Yogyakarta: Nasional V SDM Teknologi Nuklir.
- Turton, R., 1998. *Analysis, Synthesis, and Design of Chemical Process*. 2nd ed. New Jersey: Upper Saddle River.
- Turton, R., Bailie, R.C., Whiting, W.B., 2009, *Analysis, Synthesis, and Design of Chemical Processes*, 3ed., Prentice-Hall Inc., New Jersey.
- Ulrich, G.D. 1984. *A Guide to Chemical Engineering Process Design and Economics*. New York: John Willey and Sons.
- Vakili, R., E. Pourazadi, et al. 2011. *Direct Dimethyl Ether (DME) Synthesis Through a Thermally Coupled Heat Exchanger Reactor*. *Applied Energy* 88 (2011) 1211-1223.
- Walas, S.M. 1959. *Chemical Process Equipment (Selection and Design)*. USA: Butterworth-Heinemann. Mc Graw-Hill Company. New York.

