

## PRARANCANGAN PABRIK PARAXILEN DARI TOLUEN DENGAN PROSES DISPROPORSIONASI TOLUEN KAPASITAS PRODUKSI 110.000 TON/TAHUN

Muhammad Fazar Setiawan<sup>1\*</sup>, Fitriani<sup>1</sup>

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

\*Corresponding Author: mfazarsetiawan@gmail.com

### ABSTRAK

Produksi dan pemasaran paraxilen secara komersil dijual dalam bentuk larutan cair dengan kadar kemurnian minimal 99,11% dengan kandungan benzen 2%. Paraxilen memiliki kegunaan antara lain sebagai bahan baku pembuatan poliester, *fiber*, *plastisizer* dan tekstil. Untuk memenuhi kebutuhan paraxilen di Indonesia, maka dilakukan prarancangan pabrik paraxilen dengan kapasitas produksi 110.000 ton/tahun dengan bahan baku toluene yang direncanakan akan didirikan di Kawasan Industri Cilegon Banten pada tahun 2023. Pabrik ini menggunakan proses selektif disproporsionasi toluen yang merupakan reaksi katalitik fase gas dengan menggunakan katalis ZSM-5 yang akan memengaruhi ikatan gugus alkil dengan aromatisnya. Reaktor yang digunakan adalah reaktor fixed bed multitube dengan kondisi operasi suhu 445 °C dan tekanan 20 atm. Konversi toluene sebanyak 31% dengan selektivitas paraxilen sebesar 94,7%. Gas keluaran reaktor akan diturunkan tekanannya sebelum memasuki *flash drum* untuk memisahkan H<sub>2</sub> karena H<sub>2</sub> tidak ikut bereaksi di dalam reaktor. Pemurnian poduk dilakukan dalam 2 buah menara distilasi, menara distilasi pertama akan memisahkan benzen yang merupakan produk samping dan menara distilasi kedua akan memisahkan xilen dengan toluene yang tidak terkonversi. Produk paraxilen dipisahkan dari xilen dengan menggunakan *crystallizer* sehingga didapatkan paraxilen dengan kemurnian 99,5%. Pemenuhan air diperoleh dari waduk krenceng sebanyak 1.827.107,4045 kg/jam. Sedangkan kebutuhan listrik untuk operasional pabrik 2.049,2970 kWatt. Bahan bakar untuk generator tersebut terpakai *diesel oil* 23,0355 liter/jam.

Nilai *Return on Investment* (ROI) sesudah pajak untuk pabrik ini adalah sebesar 36% dan waktu pengembalian modal (POT) sesudah pajak adalah 2,18 tahun. Sedangkan kapasitas *Break Even Point* (BEP) adalah 64,68% dan kapasitas *Shut Down Point* adalah 5,71%. Nilai-nilai tersebut menunjukkan bahwa pabrik ini tidak layak untuk dipertimbangkan pendiriannya dan tidak dapat diteruskan ke tahap perencanaan pabrik.

Kata kunci: paraxilen, disproporsionasi, ZSM-5, toluen, benzen.

### 1. Pendahuluan

Pembangunan di bidang industri kimia di Indonesia semakin pesat perkembangannya. Hal ini dibuktikan dengan didirikannya beberapa pabrik kimia di Indonesia. Kegiatan pengembangan industri kimia di Indonesia diarahkan untuk meningkatkan kemampuan nasional dalam memenuhi kebutuhan dalam negeri akan bahan kimia dan juga sekaligus ikut memecahkan masalah ketenagakerjaan.

Salah satu jenis industri kimia yang amat besar pengaruhnya terhadap industri kimia lainnya di Indonesia adalah paraxilen. Paraxilen adalah salah satu isomer xilen yang paling penting. Dewasa ini paraxilen digunakan sebagai bahan baku bagi pabrik penghasil *dimetil terephthalate* (DMT), *terephthalic acid* (TPA) dimana keduanya adalah perantara dalam produksi poliester. Kedua digunakan dalam pembuatan *polyetilen terephthalate* (PET). DMT juga digunakan dalam

*polybutylene terephthalate* (PBT) selain itu paraxilen digunakan untuk bahan *fiber*, *plastisizer film*, resin dan sebagainya.

Selain paraxilen, pabrik ini juga menghasilkan benzen yang juga penting bagi pembuatan bahan kimia, misalnya alkil benzen yang digunakan untuk pembuatan deterjen dan *unadictive* minyak pelumas. Selain alkil benzen masih banyak lagi kegunaan benzen sesuai dengan turunannya.

Berdasarkan data statistik jumlah impor paraxilen dari tahun 2012-2016 berdasarkan data statistik dapat dilihat pada Tabel 1 (BPS, 2017):



**Tabel 1** Data Impor Paraxilen di Indonesia

No.	Tahun	Jumlah (ton)	Pertumbuhan (%)
1	2012	643.406	0
2	2013	723.503	12,45
3	2014	935.987	29,34
4	2015	899.201	-3,93
5	2016	547.800	-39,08
Pertumbuhan Rata-rata			-0,238

Pabrik paraxilen direncanakan akan didirikan pada tahun 2023. Perkiraan jumlah paraxilen pada tahun 2023 menggunakan *discounted method* dengan rumus (Ulrich, 1984):

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

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

berdasarkan hasil perhitungan dan pertimbangan pabrik paraxilen yang telah ada di beberapa negara, maka kapasitas produksi pabrik paraxilen yang akan didirikan tahun 2023 yaitu 110.000 ton/tahun.

## 2. Deskripsi Proses

### 2.1 Jenis-Jenis Proses

Proses produksi paraxilen dapat dilakukan tiga cara, yaitu transalkilasi toluen, disproporsionasi toluene, dan metilasi toluene dapat dilihat pada Tabel 2 berikut:

**Tabel 2** Perbandingan Proses Produksi Paraxilen

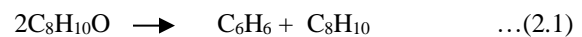
	Karakteristik		
	Konversi & Selektiviti	Proses	Kondisi Operasi
<b>Transalkilasi Toluena</b>	40% & -	Dengan katalis mordenite dan alumina	T= 520 °C P=100 atm
<b>Disproporsionasi Toluena</b>	31% & 94,7%	Dengan katalis ZSM-5	T=445 °C P= 20 atm
<b>Metilasi Toluena</b>	29,1% & 82,6%	Dengan katalis ZSM-5	T= 600 °C P= 40 atm

Berdasarkan uraian Tabel 2 di atas, maka proses yang dipilih untuk produksi paraxilen adalah disproporsionasi toluene dengan katalis ZSM-5.

### 2.2 Uraian Proses

Toluen sebagai bahan baku dipompa dari tangka bahan baku (F-110) menuju *vaporizer* (V-120) untuk diuapkan. Kemudian gas keluaran *vaporizer* (V-120) ditambahkan gas hidrogen dengan perbandingan 0,5 mol hidrogen dengan 1 mol toluen yang tekanannya sudah dinaikkan dengan kompresor (G-131). Lalu gas proses dipanaskan dengan *heater-01* (E-141) untuk menyesuaikan suhu dan tekanan dalam reaktor (R-210). Gas proses dimasukkan secara kontinyu ke dalam reaktor *fixed bed multitube* (R-210) yang menggunakan katalis zeolite tipe ZSM-5.

Reaktor bereaksi pada fase gas-padat. Reaktor beroperasi dengan kondisi operasi tekanan 20 atm dan suhu 445 °C dan berlangsung secara endotermis. Bahan baku toluen diumpangkan ke reaktor dalam fase gas. Konversi yang dihasilkan adalah 31%. Reaksi pembentukan paraxilen di reaktor (R-210) adalah:



Produk keluaran reaktor dialirkan menuju *flash drum* (S-220) untuk memisahkan fluida proses yang sudah dirubah fasenya dengan *kondensor-01* (E-212) menjadi cair dengan hidrogen. Fluida cair kemudian dimurnikan menggunakan menara distilasi 1 (D-310) untuk memisahkan benzen dari toluen dan xilen, toluen dan xilen kemudian diumpangkan menuju menara distilasi 2 (D-320) untuk memisahkan toluen dari xilen.

Xilen yang sudah dimurnikan menggunakan menara distilasi 2 (D-320) kemudian diumpangkan menuju *crystallizer* (X-330) untuk memisahkan paraxilen dari metaxilen dan ortoxilen. Campuran xilen tersebut kemudian diumpangkan menuju *centrifuge* (H-340) untuk memisahkan paraxilen yang sudah menjadi *slurry* dengan *mother liquor*. *Mother liquor* dialirkan menuju *waste water treatment* dan paraxilen dialirkan menuju *melter* (T-410) untuk menghasilkan produk dengan fase cair. Produk paraxilen disimpan dalam tangki penyimpanan (F-440) dengan kemurnian 99,50%.

Tinjauan termodinamika untuk mengetahui apakah reaksi bersifat eksotermis atau endotermis. Data perhitungan dapat dilihat pada Tabel 3 berikut (Yaws, 1999):

**Tabel 3** Nilai  $\Delta H_f^0$  (298K) Komponen

Komponen	$\Delta H_f^0$ (298K) (kJ/mol)
Toluen	50
Benzen	82,93
Paraxilen	17,95
Metaxilen	17,24
Ortoxilen	19





$$\begin{aligned}\Delta H_{R(298K)} &= \sum(n \times H_f)_{\text{produk}} - \sum(n \times H_f)_{\text{reaktan}} \\ &= (50,4115) - (50) \\ &= 0,4115 \text{ kJ/mol}\end{aligned}$$

Reaksi pembentukan xilen bernilai positif, sehingga reaksi bersifat endotermis. Untuk mengetahui apakah reaksi pembentukan xilen dapat berjalan atau tidak dapat dilihat dari tinjauan energi bebas Gibbs pada Tabel 4 berikut:

**Tabel 4** Nilai  $\Delta G_f^0(298K)$  Komponen

Komponen	$\Delta G_f^0(298K)$ (kJ/mol)
Toluen	121,68
Benzen	120,32
Paraxilen	113,72
Metaxilen	115,55
Ortoxilen	118,39

$$\begin{aligned}\Delta G_{R(298K)} &= \sum(n \times G_f)_{\text{produk}} - \sum(n \times G_f)_{\text{reaktan}} \\ &= ((117,23) - (121,68)) \\ &= -4,45 \text{ kJ/mol}\end{aligned}$$

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa nilai  $\Delta G_{R(298K)}$  bernilai negatif, sehingga reaksi berlangsung dengan spontan atau dapat terjadi.

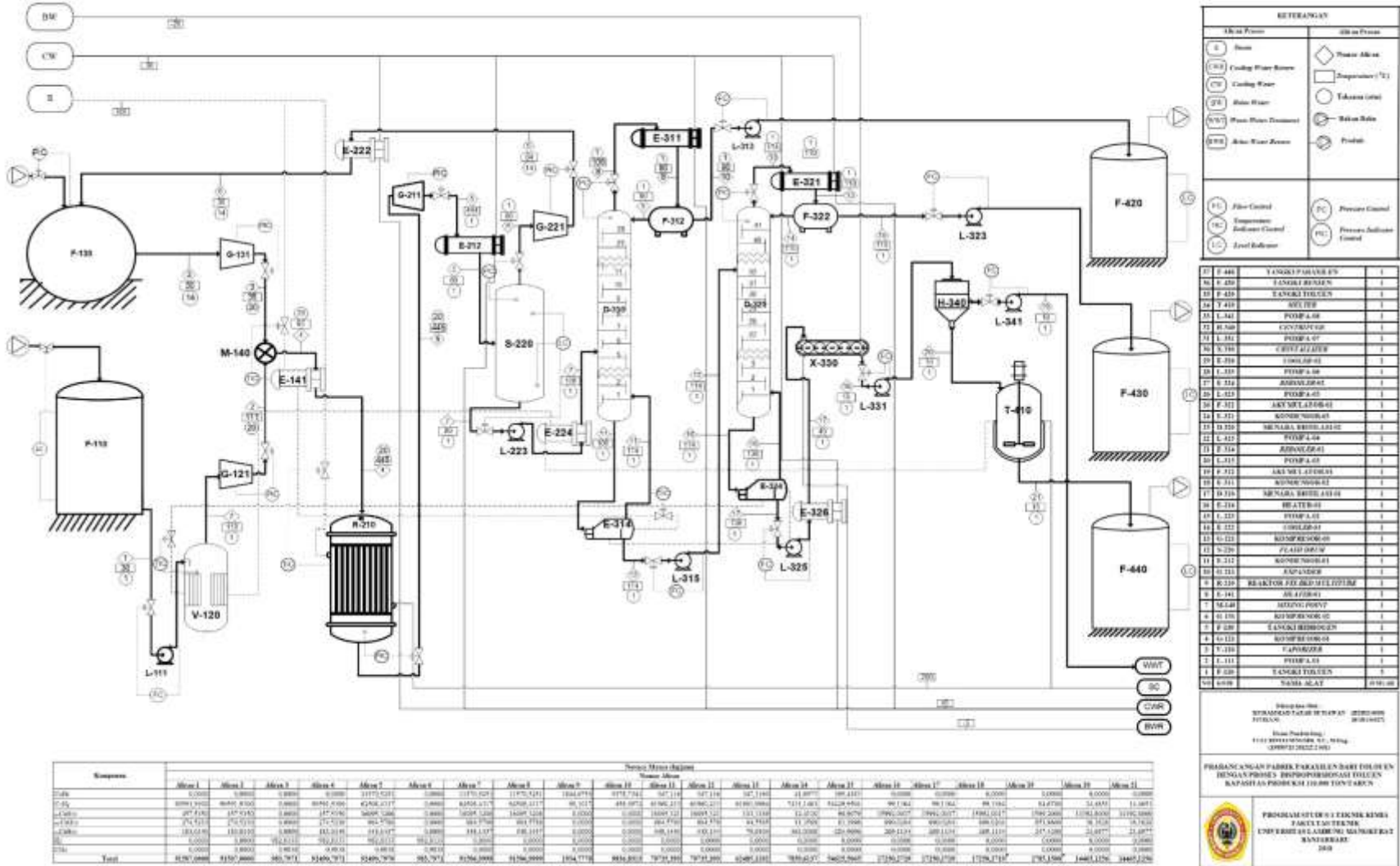
Perhitungan neraca massa reaktor ditunjukkan pada Tabel 5 berikut:

**Tabel 5** Neraca Massa Reaktor (R-210)

Komponen	Aliran masuk (kg/jam)	Aliran keluar (kg/jam)
Toluen	90591,9300	62508,4317
Benzen	0	11570,5251
Paraxilen	457,5350	16095,3206
Metaxilen	274,5210	984,5788
Ortoxilen	183,0140	348,1437
Hidrogen	982,8133	982,8133
Metana	0,9838	0,9838
<b>Total</b>	<b>92490,7971</b>	<b>92490,7971</b>



**PRARANCANGAN PABRIK PARAXILEN DARI TOLUEN DENGAN PROSES DISPROPORSIONASI  
TOLUEN KAPASITAS PRODUKSI 110.000 TON/TAHUN**



Gambar 1. Diagram Alir Proses

### 3. Utilitas

Salah satu faktor penting yang mempengaruhi operasi pabrik dan menunjang proses produksi adalah unit utilitas. Unit utilitas menyediakan kebutuhan akan air, uap (*steam*), listrik, bahan bakar dan pengolahan limbah. Sumber air untuk pabrik paraxilen berasal dari air waduk krenceng dengan debit air 1.827.107,4045 m<sup>3</sup>/jam. Kebutuhan listrik disuplai dari generator berbahan bakar solar. Kebutuhan utilitas pabrik paraxilen secara keseluruhan ditunjukkan pada Tabel 6.

**Tabel 6.** Kebutuhan Utilitas

Kebutuhan	Jumlah
Steam	37.638,1178 kg/jam
Air	17.551.313,74 kg/jam
Bahan Bakar	6.561,3355 L/jam
Listrik	2.049,2970 kW

### 4. Analisis Ekonomi

Mengetahui apakah pabrik yang dirancang menguntungkan atau tidak, maka dilakukan analisa ekonomi. Untuk mendirikan pabrik paraxilen memerlukan biaya yang dapat dilihat pada Tabel 7 berikut:

**Tabel 7.** Tota Biaya Pendirian Pabrik Paraxilen

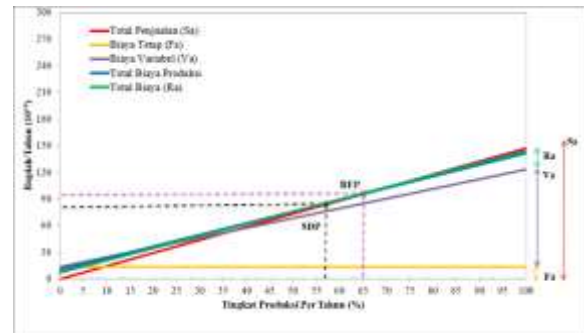
Jenis Biaya	Jumlah (Rp)
FCI	1.651.122.336.263
TCI	6.921.694.850.396
WC	5.152.635.204.400
TPC	26.892.895.624.621

Analisa ekonomi juga bertujuan untuk mengetahui apakah pabrik yang dirancang layak untuk didirikan atau tidak. Hal-hal yang perlu ditinjau dalam analisa ekonomi seperti *percent return of investment* (ROI), *pay out time* (POT), *interest rate of return* (IRR), *break event point* (BEP) dan *shut down point* (SDP) dapat dilihat pada Tabel 8 berikut:

**Tabel 8.** Analisis Ekonomi

Analisa Kelayakan	Nilai	Batasan	Ket
ROI	36%	Minimal 11%	Layak
POT	2,1 thn	Maksimal 5 thn	Layak
IRR	1,65%	>12%	Tidak Layak
BEP	64,68%	40%-60%	Tidak Layak
SDP	56,71%	20%-40%	Tidak Layak

ROI adalah rasio laba atau keuntungan yang didapatkan berdasarkan jumlah uang yang diinvestasikan. Nilai ROI ditunjukkan dalam presentase, semakin tinggi presentasinya, keadaan perusahaan semakin baik. POT adalah waktu pengembalian modal yang dihasilkan berdasarkan profit yang dicapai. IRR adalah indikator tingkat efisiensi dari suatu investasi modal. Investasi layak dilakukan jika nilai IRR lebih besar daripada suku bunga di bank. Nilai IRR diperoleh sebesar 1,65% untuk melunasi modal pinjaman di bank dalam waktu 10 tahun. BEP adalah titik impas, dimana kondisi suatu pabrik menunjukkan tidak untung atau rugi. Sedangkan SDP adalah titik dimana aktifitas produksi diberhentikan, salah satunya karena tidak menguntungkan (Aries and Newton, 1955). Grafik BEP dan SDP pabrik paraxilen dapat dilihat pada Gambar 2 berikut.



**Gambar 2.** Grafik BEP dan SDP Pabrik Paraxilen

### 5. Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh dari hasil perhitungan analisa ekonomi adalah prarancangan pabrik paraxilen dari toluen dengan katalis ZSM-5 melalui proses disproporsionasi toluen kapasitas produksi 110.000 ton/tahun tidak layak untuk didirikan, karena IRR, BEP dan SDP tidak memenuhi syarat.

### Ucapan Terimakasih

- Terima Kasih Kepada Ibu Yuli Ristianingsih, S.T., M.Eng. sebagai Dosen Pembimbing.
- Terima Kasih Kepada seluruh Dosen dan Staff Teknik Kimia ULM.
- Terima Kasih kepada teman-teman angkatan 2014.
- Terima Kasih kepada seluruh pihak yang membantu selama pengerjaan tugas akhir ini.





## DAFTAR PUSTAKA

- Business, I. C. 2012. *Chemical Profile: Benzene* [Online]. www.icis.com: Trantech. [Accessed 20 Februari 2018].
- 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.
- Coulson, J.M and J. F Richardson. 1999. *Chemical Engineering Design Volume 6*. Department of Chemical Engineering: Butterworth-Heinemann.
- Gary David. 2002. *Hydrocarbon Conversion Process Using A Zeolite Bound Zeolite Catalyst*. ExxonMobil Chemical : Texas.
- Geankoplis, Christie John. 1997. *Transport Processes and Unit Operation Third Edition*. New Jersey: Prentice Hall.
- Himmeblau, David M and James B.Riggs. 2004. *Basic Principles and Calculations in Chemical Engineering Seventh Edition*. New Jersey: Prentice Hall.
- Hosheng Tu. 1980. *Transalkylation Process*. UOP Inc : Des Plaines
- 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.
- Kirk-Othmer. 1981. *Encyclopedia of Chemical Technology Vol.19*. John Wiley & Sons inc. New York.
- Perry, R.H. & Don Green. 1984. *Chemical Engineer's Hand Book, 6th ed*. McGraw-Hill Book Co. Tokyo.
- STATISTIK, B. P. 2017. *Data Impor Paraxilen* [Online]. www.bps.go.id: Badan Pusat Statistik Republik Indonesia. [Accessed 8 Januari 2018].
- Stephen H. 2002. *Selective Para-xylene Production by Toluene Methylation*. ExxonMobil Oil Corporation : New York.
- Smith, J.M, H.C Van Ness and M.M Abbott. 2005. *Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics Seventh Edition*. New York: Mc Graw Hill.
- 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.
- Ulrich, G.D. 1984. *A Guide to Chemical Engineering Process Design and Economics*. New York: John Willey and Sons.
- Yaws, Carl L. 1999. *Chemical Properties Handbook: Physical, Thermodynamic, Environmental, Transport, Safety, and Health Related Properties for Organic and Inorganic Chemicals*. Mc Gwar-Hill. New York.



