



EVALUASI UNIT HIDRODEALKILASI TOLUENA DENGAN PROSES HDA MENGGUNAKAN ASPEN PLUS

Laporan Penelitian

Disusun untuk memenuhi tugas akhir guna mencapai gelar
Sarjana di bidang Ilmu Teknik Kimia

oleh:

Michael Prasetya (6214013)

Dosen Pembimbing:

Dr. Ir. Budi H. Bisowarno, M.Eng.

Putri Ramadhany, S.T., M.Sc., PDEng.



**JURUSAN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
BANDUNG
2018**

No. Kode	: TK PRA p/18
Tanggal	: 9 Februari 2019
No. Ind.	: 4354 - FTI / Skp 36822
Divisi	:
Hadiah / Cetak	:
Dari	: FTI



LEMBAR PENGESAHAN

Judul : **EVALUASI UNIT HIDRODEALKILASI TOLUENA DENGAN PROSES
HDA MENGGUNAKAN ASPEN PLUS**

CATATAN

Telah diperiksa dan disetujui,

Bandung, 6 Agustus 2018

Pembimbing 1 :

Pembimbing 2 :

Dr. Ir. Budi H. Bisowarno, M.Eng

Putri Ramadhany, S.T., M.Sc., PEng.



**JURUSAN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN**



SURAT PERNYATAAN

Kami, yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Michael Prasetya

NRP : 6214013

Dengan ini menyatakan bahwa laporan penelitian dengan judul:

EVALUASI UNIT HIDRODEALKILASI TOLUENA DENGAN PROSES HDA MENGUNAKAN ASPEN PLUS

adalah hasil pekerjaan kami, dan seluruh ide, pendapat, dan materi dari sumber lain, telah dikutip dengan cara penulisan referensi yang sesuai.

Pernyataan ini kami buat dengan sebenar-benarnya dan jika pernyataan ini tidak sesuai dengan kenyataan, maka kami bersedia menanggung sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Bandung, 6 Agustus 2018

Michael Prasetya
(2014620013)



LEMBAR REVISI

Judul : **EVALUASI UNIT HIDRODEALKILASI TOLUENA DENGAN PROSES
HDA MENGGUNAKAN ASPEN PLUS**

CATATAN

Telah diperiksa dan disetujui,

Bandung, 6 Agustus 2018

Dosen Penguji 1

Dosen Penguji 2

Tedi Hudaya, S.T., M.Eng.Sc., Ph.D.

Yansen Hartanto, S.T., M.T.



KATA PENGANTAR

Segala puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa karena anugerah-Nya telah mengizinkan penulis menyelesaikan laporan penelitian ini tepat waktu. Penelitian berjudul **“Evaluasi Unit Hidrodealkilasi Toluena dengan Proses HDA Menggunakan Aspen Plus”** ini disusun sebagai salah satu bentuk prasyarat kelulusan Jurusan Proses Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Katolik Parahyangan. Penulis menyadari tanpa kehadiran orang-orang di samping penulis, penelitian ini tidak dapat diselesaikan dengan baik. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Dr. Ir. Budi H. Bisowarno, M.Eng selaku dosen pembimbing 1 (pertama) yang telah memberikan pengarahan dalam penyusunan penelitian ini.
2. Putri Ramadhany, S.T., M.Sc., P.D.Eng. selaku dosen pembimbing 2 (kedua) yang telah memberikan pengarahan dalam penyusunan penelitian ini.
3. Orang tua yang penulis banggakan dan sayangi, yang telah mendukung penulis untuk menyelesaikan penelitian.
4. Teman-teman penulis yang telah memberikan semangat, dukungan dan bantuan kepada penulis saat penyusunan penelitian.
5. Pihak-pihak lain yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu, yang telah membantu penulis baik secara langsung maupun tidak langsung dalam proses penyusunan penelitian.

Penulis menyadari bahwa proposal penelitian ini masih jauh dari sempurna, oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun demi kesempurnaan laporan penelitian ini. Akhir kata, penulis mengharapkan melalui laporan penelitian ini dapat membantu memperluas pengetahuan para pembaca.

Bandung, 6 Agustus 2018

Penulis



DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	i
SURAT PERNYATAAN.....	ii
KATA PENGANTAR.....	iv
LEMBAR REVISI.....	iii
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR TABEL.....	x
INTISARI.....	xi
<i>ABSTRACT</i>	xii
BAB I.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tema Sentral Masalah.....	2
1.3 Identifikasi Masalah.....	2
1.4 Premis-premis.....	2
1.5 Hipotesis Penelitian.....	3
1.6 Tujuan Penelitian.....	3
1.7 Manfaat Penelitian.....	4
BAB II.....	5
2.1 Benzena.....	5
2.2 Proses Produksi Benzena.....	8
2.2.1 Proses Produksi Benzena dari Batu Bara.....	8
2.2.2 Proses Produksi Benzena dari Petroleum.....	10
2.3 Metode Peningkatan Produksi.....	11
2.3.1 Hidrodealkilasi.....	11
2.3.1.1 Proses Detol (Proses Katalitik).....	15

2.3.1.2	Proses Hydeal (Proses Katalitik)	16
2.3.1.3	Proses THD (Proses Termal)	17
2.3.1.4	Proses HDA (Proses Termal)	18
2.3.2	Disproporsionasi	19
BAB III		22
3.1	Penentuan Persamaan Keadaan	22
3.2	Studi Simulasi <i>Aspen Plus</i>	23
3.3	Validasi Data	24
3.4	Penelitian Utama: <i>Base Case</i>	25
3.5	Penelitian Utama: <i>Sensitivity Analysis</i>	26
3.6	Penelitian Utama: Daur Ulang <i>Diphenyl</i>	27
3.7	Jadwal Kerja Penelitian	28
BAB IV		29
4.1	Validasi Awal Reaktor	29
4.2	Validasi dengan Proses Lengkap	32
4.3	Penelitian Utama	34
4.3.1	Rasio	34
4.3.2	Temperatur	35
4.3.3	Tekanan	36
4.2	Penelitian Kedua	40
BAB V		42
5.1	Kesimpulan	42
5.2	Saran	42
Daftar Pustaka		43
LAMPIRAN A		45
LAMPIRAN B		51
B.1	Validasi Reaktor	51

B.2. Validasi Proses Lengkap	51
B.3. Penelitian Utama	52
B.3.1. Rasio Toluena	52
B.3.2. Rasio Hidrogen	55
B.4. Penelitian Kedua	119
LAMPIRAN C.....	120
C.1. Konversi Reaktor	120
C.1.1. Konversi pada 450 psia.....	120
C.1.2. Konversi pada 500 psia.....	120
C.1.3. Konversi pada 550 psia.....	121
C.1.4. Konversi pada 600 psia.....	121
C.2. Perolehan Benzena	122
C.2.1 Perolehan Benzena pada 450 psia	122
C.2.2. Perolehan Benzena pada 500 psia	122
C.2.3. Perolehan Benzena pada 550 psia	123
C.2.4. Perolehan Benzena pada 600 psia	123
C.3. Kebutuhan Energi.....	124
C.3.1 Kebutuhan Energi pada 450 psia	124
C.3.2 Kebutuhan Energi pada 500 psia	124
C.3.3 Kebutuhan Energi pada 550 psia	125
C.3.4 Kebutuhan Energi pada 600 psia	125



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Struktur Molekul Benzena	5
Gambar 2. 2 Struktur Molekul Toluena	6
Gambar 2. 3 Perkiraan Produksi dan Permintaan Benzena	7
Gambar 2. 4 Beberapa Produk yang Dihasilkan dari Benzena	8
Gambar 2. 5 Pemulihan Fraksi Ringan dari Gas Oven-Kokas	9
Gambar 2. 6 Proses Reforming Kontinu a)Regenerasi katalis; b)Reaktor; c)Pemisahan Produk; d)Stabilizer	11
Gambar 2. 7 Struktur Molekul Diphenyl.....	12
Gambar 2. 8 Proses Detol a)Reaktor 1; b)Reaktor 2; c)Furnace; d)Separator; e)Penjernihan hidrogen; f)Stabilizer; g)Treatment Tanah	15
Gambar 2. 9 Proses HDA a)Heater ;b)Reaktor; c)Separator; d)Stabilizer; e)Treatment Tanah; f)Distilasi	18
Gambar 2. 10 Proses Tatoray untuk kombinasi Toluena disproporsionasi dan C ₉ -transalkilasi aromatik a)Preaheater; b)Reaktor; c)Separator	20
Gambar 3. 1 Seleksi Properti berdasarkan kategori senyawa yang digunakan.....	22
Gambar 3. 2 Diagram Alir Proses HDA Secara Umum	25
Gambar 3. 3 Diagram Alir Proses HDA Simulasi Kedua.....	27
Gambar 4. 1 Reaktor PFR dan reaktor Gibbs.....	30
Gambar 4. 2 Konfigurasi alat proses hidrodealkilasi	33
Gambar 4. 3 Hasil perolehan benzena vs Temperatur pada Tekanan 500 psia.....	36
Gambar 4. 4 Penrolean Benzena vs Temperatur pada 550 psia.....	37
Gambar 4. 5 Perolehan Benzena vs Temperatur pada 600 psia.....	37
Gambar 4. 6 Energi vs Temperatur pada 550 psia.....	38
Gambar 4. 7 Energi vs Temperatur pada 600 psia.....	39
Gambar 4. 8 Proses hidrodealkilasi dengan recycle diphenyl.....	41
Gambar A. 1 Komponen-komponen proses hidrodealkilasi.....	45
Gambar A. 2 Model termodinamika proses hidrodealkilasi	45
Gambar A. 3 Konfigurasi alat proses hidrodealkilasi.....	46
Gambar A. 4 Spesifikasi reaktor PFR.....	46
Gambar A. 5 Dimensi reaktor PFR.....	46
Gambar A. 6 Pressure drop reaktor PFR	47

Gambar A. 7 Reaksi yang terjadi pada reaktor PFR.....	47
Gambar A. 8 Kinetika reaksi pada reaktor PFR	47
Gambar A. 9 Spesifikasi reaktor Gibbs	47
Gambar A. 10 Komponen yang tidak bereaksi pada reaktor Gibbs	48
Gambar A. 11 Spesifikasi Flash.....	48
Gambar A. 12 Spesifikasi Splitter	48
Gambar A. 13 Spesifikasi Kompresor	49
Gambar A. 14 Spesifikasi separator 1	49
Gambar A. 15 Spesifikasi separator 2	49
Gambar A. 16 Spesifikasi separator 3	50
Gambar A. 17 Konfigurasi proses hidrodealkilasi dengan recycle toluena	50
Gambar C. 1 Konversi vs temperatur pada tekanan 450 psia.....	120
Gambar C. 2 Konversi vs temperatur pada tekanan 500 psia.....	120
Gambar C. 3 Konversi vs temperatur pada tekanan 550 psia.....	121
Gambar C. 4 Konversi vs temperatur pada tekanan 600 psia.....	121
Gambar C. 5 Perolehan Benzena vs temperatur pada tekanan 450 psia.....	122
Gambar C. 6 Perolehan Benzena vs temperatur pada tekanan 500 psia.....	122
Gambar C. 7 Perolehan Benzena vs temperatur pada tekanan 550 psia.....	123
Gambar C. 8 Perolehan Benzena vs Temperatur pada tekanan 600 psia.....	123
Gambar C. 9 Kebutuhan Energi vs Temperatur pada 450 psia.....	124
Gambar C. 10 Kebutuhan Energi vs Temperatur pada 500 psia.....	124
Gambar C. 11 Kebutuhan Energi vs Temperatur pada 550 psia.....	125
Gambar C. 12 Kebutuhan Energi vs Temperatur pada 600 psia.....	125



DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Sifat kimia benzena.....	5
Tabel 2. 2 Sifat Kimia Toluena.....	6
Tabel 2. 3 Sifat Kimia Diphenyl.....	12
Tabel 2. 4 Nilai ΔH°_f dan ΔG° untuk $C_6H_5CH_3$, C_6H_6 , CH_4 , dan $C_6H_5-C_6H_5$	13
Tabel 2. 5 Nilai A dan E_a untuk Setiap Reaksi.....	14
Tabel 3. 1 Spesifikasi Plug Flow Reaktor In dan Out.....	24
Tabel 3. 2 Rencana Kerja Penelitian.....	28
Tabel 4. 1 Data kondisi reaktor pada Luyben.....	29
Tabel 4. 2 Hasil validasi reaktor.....	31
Tabel 4. 3 Perbandingan hasil simulasi dengan literatur.....	32
Tabel 4. 4 Data hasil validasi proses hidrodealkilasi.....	33
Tabel 4. 5 Perbandingan variasi hidrogen dan variasi toluena pada perolehan benzena.....	34
Tabel 4. 6 Perbandingan antar rasio pada T,P konstan.....	35
Tabel 4. 7 Perbandingan hasil benzena, konversi, dan selektivitas.....	41



INTISARI

Semakin banyaknya kebutuhan akan produk turunan benzena menyebabkan permintaan benzena semakin meningkat, tidak sebanding dengan jumlah produksi benzena yang semakin berkurang. Oleh karena itu, benzena menjadi salah satu bahan kimia yang berpotensi untuk dikembangkan tingkat produksinya. Salah satu cara peningkatan produksi benzena dengan proses hidrodealkilasi yang berbahan dasar toluena karena dianggap memiliki nilai ekonomis yang lebih rendah dibandingkan dengan benzena. Prinsip reaksi hidrodealkilasi adalah memutus ikatan alkil (ikatan C-C) dari toluena dengan menggunakan hidrogen yang dilakukan pada *plug flow reactor*.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh dari perubahan temperatur, tekanan, rasio umpan, dan daur ulang produk samping *diphenyl* terhadap selektivitas, konversi serta energi yang dibutuhkan. Aspen Plus® merupakan *software* yang digunakan untuk melakukan analisis dalam penelitian ini. *Plug Flow Reactor* dipilih untuk proses hidrodealkilasi. Temperatur reaktor akan divariasikan pada rentang 600-700 °C, tekanan reaktor akan divariasikan pada rentang 3,4-6,9 MPa. Sedangkan, variasi rasio umpan akan divariasikan pada rentang 3:1 – 6:1.

Hasil penelitian menunjukkan konversi, perolehan benzena, dan energi dipengaruhi oleh rasio umpan temperatur, dan tekanan. Penelitian diperoleh hasil dari proses hidrodealkilasi yang sesuai dengan validasi memiliki nilai yield sebesar 74,34% , perolehan benzena sebesar 170,71 kmol/hr dan kebutuhan energi sebesar 175,05 kW sebelum dilakukan variasi untuk menentukan kondisi proses terbaik. Nilai terbaik pada proses hidrodealkilasi diperoleh dengan yield sebesar 80,46%, perolehan benzena sebesar 177,98 kmol/h, dan kebutuhan energi sebesar 187,1 kW. Kenaikan pada rasio umpan, temperatur dan tekanan dapat menyebabkan konversi, perolehan benzena semakin meningkat, namun seiring dengan kenaikan rasio umpan, temperatur dan tekanan akan relatif berbeda pada kebutuhan energi.

Kata Kunci: Benzena, hidrodealkilasi, rasio umpan, temperatur reaktor, tekanan reaktor, *diphenyl*



ABSTRACT

The growing need for benzene derivative products causes benzene demand to increase, not in proportion to the reduced amount of benzene production. Therefore, benzene becomes one of the chemicals that have the potential to be developed its production level. One way of increasing the production of benzene by toluene-based hydrodealkylation process because it is considered to have a lower economic value compared with benzene. The principle of hydrodealkylation reaction is to break the alkyl bond (C-C bond) from toluene by using hydrogen carried out at plug flow reactor.

The purpose of this study was to determine the effect of changes in temperature, pressure, feed ratio, and recycling of diphenyl byproducts on selectivity, conversion and energy required. Aspen Plus® is a software used to perform analysis in this research. Plug Flow Reactor is selected for hydrodealkylation process. The reactor temperature will be varied in the range 600-700 °C, the reactor pressure will be varied in the range of 3.4-6.9 MPa. Whereas, the feed ratio variation will be varied in the range 3:1 - 6:1.

The results showed the conversion, benzene recovery, and energy were affected by temperature, pressure and feed ratio. The results obtained from the hydrodealkylation process in accordance with the validation have a yield value of 74.34%, benzene acquisition of 170.71 kmol/h and an energy requirement of 175.05 kW before variations are made to determine the best process conditions. The best value in the hydrodealkylation process is obtained with a yield of 80.46%, benzene recovery of 177.98 kmol/h, and energy requirements of 187.1 kW. The increase in feed ratio, temperature and pressure can cause conversion, the increase in benzene increases, but along with the increase in feed ratio, temperature and pressure will be relatively different in energy requirements.

Keywords: Benzene, hydrodealkylation, feed ratio, reactor temperature, reactor pressure, diphenyl

BAB I

PENDAHULUAN



1.1 Latar Belakang

Perkembangan industri saat ini sangat tinggi khususnya di bidang kimia (Ansori, 2013). Produk bahan kimia seperti *Styrene* (bahan untuk membuat plastik atau karet sintesis), *Nitrobenzene* (pewangi pada sabun), *Fenol*, asam tereftalat (bahan serat sintetik polyester) saat ini banyak dihasilkan dari industri kimia. Bahan kimia tersebut mengalami peningkatan konsumsi yang sangat tinggi pada beberapa tahun belakangan ini sehingga dibutuhkan dalam jumlah yang cukup banyak. Semua produk kimia tersebut, bahan dasar yang dibutuhkan adalah benzena.

Benzena dikenal dengan rumus kimia C_6H_6 atau benzol merupakan senyawa kimia berbentuk cincin tunggal dengan ikatan rangkap. Benzena dan sejenisnya, seperti toluene dan xilena, ditemukan dalam minyak mentah dan pengolahan batu bara namun dalam jumlah yang kecil sehingga pemisahan secara fisik umumnya tidak layak secara ekonomi. Semakin bertambahnya jumlah permintaan benzena mendorong industri untuk mengembangkan cara meningkatkan produksi benzena.

Proses peningkatan produksi benzena dengan cara yang lain dapat dibuat dari bahan kimia lain seperti toluena, xilena, atau naftalena. Secara ekonomi, produk turunan toluene lebih sedikit jika dibandingkan dengan benzena, sehingga produk hasil turunan benzena lebih banyak dibuat secara komersil. Peningkatan produksi benzena dapat dilakukan dengan beberapa cara, diantaranya hidrodealkilasi dan disporposionasi. Proses hidrodealkilasi dipilih karena lebih mudah diterapkan dalam industri dan secara proses tidak memerlukan reaksi yang sulit untuk pembuatan produk benzena.

1.2 Tema Sentral Masalah

Untuk memahami pengaruh perubahan berbagai variabel (tekanan, temperatur, dan rasio umpan) terhadap peningkatan produksi benzena melalui proses hidrodealkilasi HDA.

1.3 Identifikasi Masalah

- a. Bagaimana pengaruh perubahan temperatur operasi terhadap selektivitas keluaran benzena, konversi toluena, dan energi yang dihasilkan?
- b. Bagaimana pengaruh perubahan tekanan operasi terhadap umpan reaktan dan selektivitas keluaran benzena konversi toluena, dan energi yang dihasilkan?
- c. Bagaimana pengaruh perubahan rasio bahan baku dalam operasi terhadap selektivitas keluaran benzena konversi toluena, dan energi yang dihasilkan?
- d. Bagaimana pengaruh daur ulang produk samping *Diphenyl* terhadap selektivitas keluaran benzene, konversi toluena, dan energi yang dihasilkan?

1.4 Premis-premis

- Temperatur operasi untuk menghasilkan benzena yang optimum dengan proses termal berada pada 550-800 °C (Weissermel & Arpe, 1997)
- Tekanan operasi untuk menghasilkan benzena yang optimum dengan proses termal berada pada rentang 3,45 – 6,9 MPa (34,5 – 69 bar) (Ullmann, 1995).
- Rasio umpan antara hidrogen dan toluena pada proses HDA adalah 5:1. (Luyben, Tyreus, & Luyben, 1977)
- Proses katalitik pada pembuatan benzena jarang digunakan dalam industri dengan alasan regenerasi katalis yang membutuhkan waktu lama dan biaya yang besar. (McKetta, 1993)
- Konversi yang dihasilkan dari proses hidrodealkilasi toluena sebesar 75% (Seider, Seader, Lewin, & Widagdo, 2009) (Weissermel & Arpe, 1997)
- Selektivitas yang dihasilkan dari proses hidrodealkilasi toluena sebesar 95% (Weissermel & Arpe, 1997)
- Energi yang dihasilkan dari proses hidrodealkilasi sebesar $5,84 \times 10^6$ Btu/hr (Seider, Seader, Lewin, & Widagdo, 2009)

1.5 Hipotesis Penelitian

- Temperatur operasi semakin tinggi, maka selektivitas produk benzena meningkat.
- Temperatur operasi semakin tinggi, maka konversi toluena meningkat.
- Temperatur operasi semakin tinggi, maka energi yang dibutuhkan dalam operasi meningkat.
- Tekanan operasi semakin tinggi, maka selektivitas produk benzena meningkat.
- Tekanan operasi semakin tinggi, maka konversi toluena meningkat.
- Tekanan operasi semakin tinggi, maka energi yang dibutuhkan dalam operasi meningkat.
- Semakin besar rasio hidrogen, maka semakin banyak produk benzena yang dihasilkan.
- Semakin besar rasio hidrogen, maka semakin banyak toluena yang terkonversi.
- Semakin besar rasio hidrogen, maka semakin besar energi yang dibutuhkan.
- Daur ulang produk samping *diphenyl* ke dalam reaktor, maka selektivitas produk Benzena dapat meningkat.
- Daur ulang produk samping *diphenyl* ke dalam reaktor, maka konversi toluena meningkat.
- Daur ulang produk samping *diphenyl* ke dalam reaktor, maka energi yang dibutuhkan dapat berkurang.

1.6 Tujuan Penelitian

- Mengetahui pengaruh perubahan kondisi operasi pada proses hidrolealkilasi toluena terhadap selektivitas Benzena dan kebutuhan energi proses.
- Mengetahui pengaruh perubahan kondisi umpan pada proses hidrolealkilasi toluena terhadap selektivitas Benzena dan kebutuhan energi pada proses.
- Mengetahui pengaruh daur ulang produk samping *diphenyl* terhadap selektivitas Benzena dan kebutuhan energi proses.

1.7 Manfaat Penelitian

- **Bagi Industri**

Manfaat bagi industri adalah membuka peluang untuk mengoptimasi kondisi proses hidrodealkilasi toluena menjadi benzena.

- **Bagi Pemerintah**

Manfaat bagi pemerintah adalah memberikan peluang bagi perkembangan industri berbahan dasar benzena.

- **Bagi Peneliti**

Manfaat bagi peneliti adalah dapat mempelajari simulasi proses hidrodealkilasi toluene dan mengetahui kondisi proses untuk meningkatkan produksi benzena