

DESAIN REAKTOR DEHIDROGENASI PADA PRAPRANCANGAN PABRIK LINIER ALKIL BENZEN (LAB) DARI BENZEN DENGAN PROSES UOP/CEPSA (DETAL PROCESS)

Khalya Fathonah

¹⁾Mahasiswa Program Studi Teknik Kimia

Program Studi S1 Teknik Kimia, Fakultas Teknik Universitas Riau
Kampus Bina Widya Jl. HR. Soebrantas KM 12,5 Simpang Baru, Panam
Pekanbaru, 28293

Email : khalya.fathonah2474@student.unri.ac.id

ABSTRACT

Linear Alkyl Benzene (LAB) is one of the organic chemicals in the form of clear liquids with the formula of $C_6H_5C_nH_{2n+1}$. LAB is used as raw material in detergent industry. LAB is chosen because it has a high rate of degradation so it is environmentally friendly (biodegradable). In 1995, UOP/CEPSA introduced a method of creating LAB using solid catalysts, called Detal Process. Due to higher yields, product quality and lower production costs, this process is considered better. Lab factory design capacity is 80,000 tons/year with the flow rate of incoming feeds and products of 4,5243.298 kg/h, in order to meet the needs of LAB in Indonesia which is 20% still exporting from abroad. One of the main tools used to produce LAB is a dehydrogenation reactor with a type of fixed bed multi-tube that serves to convert di-olefin into mono-olefin. The process is carried out at a temperature of 450°C and a pressure of 300 kPa (abs) with the help of platinum catalysts (Pt) in the liquid phase. The conversion rate of the reaction is 18% and the product is a mixture of mono-olefin, di-olefin, aromatic, hydrogen and paraffin. The type of reactor used is fixed bed multi-tube with lid and base elliptical head, and the buffer in the form of skirt support. The reactor is designed with a height of 9.76 m and a diameter of 6.08 m. In addition, the dehydrogenation reactor is equipped with steam as its internal heater.

Keywords : Dehydrogenation, Elliptical Head, Fixed Bed Multitube, Linear Alkyl Benzene, Platina Catalyst

1. PENDAHULUAN

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi yang semakin pesat mengakibatkan semakin pesatnya pertumbuhan berbagai industri. Perkembangan industri surfaktan dimulai sejak awal tahun 1940 saat ditemukannya Alkil Benzen Sulfonat (LAS). Surfaktan tersebut mempunyai karakteristik lebih baik dari pada sabun natural (Kocal, 2001).

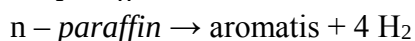
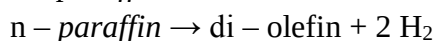
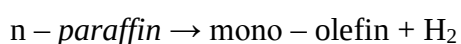
Linier Alkil Benzen (LAB) adalah salah satu bahan kimia organik yang

berbentuk cairan jernih dengan rumus $C_6H_5C_nH_{2n+1}$. LAB digunakan sebagai bahan baku pada industri deterjen. LAB memiliki keunggulan yaitu laju degradasinya yang tinggi sehingga ramah lingkungan (*biodegradable*). Dengan semakin meningkatnya penggunaan deterjen dalam kehidupan manusia, maka industri LAB juga semakin berkembang (Rude, 2012).

Di Indonesia, dengan semakin berkembangnya industri deterjen maka

kebutuhan LAB dari tahun ke tahun semakin meningkat. Sampai saat ini kebutuhan LAB yang terus meningkat baru dipenuhi oleh PT. Unggul Indah Cahaya, Tbk, Merak Provinsi Banten dengan kapasitas produksi 60.000 ton pertahun. Pabrik ini merupakan satu-satunya pabrik penghasil LAB di Indonesia dengan 80% dari total kapasitas tersebut digunakan untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri, sedangkan 20% lagi diekspor ke kawasan Asia Pasifik diantaranya Malaysia, Vietnam, Singapura, Australia dan Selandia Baru. Dengan adanya peningkatan kebutuhan LAB di dalam negeri dan baru satu pabrik penghasil LAB yang dapat memenuhi kebutuhan tersebut, maka dirasa cukup penting untuk membangun pabrik LAB di Indonesia.

Reaktor dehidrogenasi merupakan salah satu unit utama dalam pabrik LAB, yang berfungsi sebagai tempat berlangsungnya produksi LAB melalui tahap dehidrogenasi. Proses berlangsung pada suhu 450°C dengan tekanan 300 kPa(abs). Konversi reaktor tersebut adalah 18% dan produk berupa campuran mono-olefin, di-olefin, aromatis, hidrogen dan parafin. Dapat dilihat reaksi yang terjadi dengan bantuan katalis platina sebagai berikut :



Dehidrogenasi adalah salah satu reaksi yang paling penting dalam industri kimia. Reaksi dehidrogenasi adalah reaksi yang menghasilkan komponen yang berkurang kejenuhannya tetapi lebih reaktif. Reaksinya endotermis yaitu memerlukan panas dimana panas ini diperlukan untuk memutuskan ikatan antara atom C dan H. Berbagai cara dapat dilakukan untuk mencukupi kebutuhan

panas ini, salah satunya dengan cara membuat reaktor yang dapat berfungsi sebagai alat penukar panas (*Fixed Bed Multi-tube*). Kebanyakan reaksi dehidrogenasi adalah reaksi yang bersifat endotermis yaitu membutuhkan panas untuk terjadinya reaksi dan suhu yang tinggi diperlukan untuk mencapai konversi yang tinggi pula (McKetta, 1987).

2. DESKRIPSI PROSES

Perkembangan industri deterjen dimulai dengan produksi *dodecylbenzene sulfonate* (DDBS) pada tahun 1940-an. Namun, DDBS tidak baik untuk lingkungan karena memiliki rantai cabang yang sulit untuk diuraikan. Selain itu, Linier Alkil Benzen Sulfonat (LABS) dengan rantai linier ditemukan pada tahun 1960, sehingga lebih mudah terurai di lingkungan. LABS disintesis dari Linier Alkil Benzen (LAB). Produksi Linier Alkil Benzen dimulai dengan penggunaan katalis asam (seperti H_2SO_4) untuk mereaksikan benzen dengan olefin dan kemudian pada tahun 1960, penggunaan katalis AlCl_3 dan HF.

Katalis AlCl_3 dan HF berdampak pada lingkungan dan diperlukan proses netralisasi katalis dalam produk, maka diperlukan proses yang lebih lama. Pada tahun 1995, UOP/CEPSA memperkenalkan metode pembuatan LAB menggunakan katalis padat, yang disebut *DETAL Process*. Proses ini dianggap lebih baik, dikarenakan memiliki kualitas produk yang lebih tinggi. Selain itu pada proses DETAL ditambahkan unit baru yaitu adsorber atau unit PEP (*Powdered Expanded Perlite*) untuk menghilangkan gugus aromatik pada olefin. Gugus aromatik dapat memperpendek umur katalis (Woodcock et al., 2004).

2.1 *Parafin Dehydrogenation*

Umpan n-parafin dicampur dengan parafin yang diperoleh kembali dari proses distilasi parafin. Umpan melewati *heat exchanger*, untuk menaikkan suhu dari 150°C menjadi 450°C. Umpan tersebut kemudian dialirkan ke dalam reaktor dehidrogenasi bersama dengan katalis platina (Pt). Prosesnya dilakukan pada suhu 450°C dan tekanan 300 kPa (abs). Laju konversi reaksi adalah 18% dan produknya adalah campuran monoolefin, diolefin, aromatik, hidrogen, dan parafin. Produk tersebut kemudian dialirkan ke *heat exchanger* untuk menurunkan suhu hingga 25°C. Produk tersebut kemudian dimasukkan ke dalam *flash tank* untuk proses pemisahan hidrogen dan campuran olefin (Rude, 2012).

2.2 *di-Olefin Hydrogenation*

Aliran umpan berupa campuran olefin dicampur dengan hidrogen ke dalam *mixer* dan diumpankan ke reaktor hidrogenasi. Dalam metode ini, diolefin sebagai reaksi samping metode PACOL (dehidrogenasi) diubah menjadi mono-olefin dengan katalis paladium (Pd), dan reaksi berlangsung dalam fase cair. Proses tersebut berlangsung pada suhu 200°C dan tekanan isothermal 300 kPa (abs) (Woodcock et al., 2004).

2.3 *PEP Process (Aromatic Eliminated)*

Umpan mono-olefin dikirim ke menara adsorpsi untuk menghilangkan gugus aromatik yang terkandung dalam mono-olefin. Gugus aromatik dapat memperpendek umur katalis dan juga membuat produk yang dihasilkan berkualitas rendah. Produk berupa mono-olefin dan n-parafin tanpa gugus aromatik kemudian dialirkan ke proses alkilasi (Woodcock et al., 2004).

2.4 *Detergent Alkylation (DETAL Process)*

Umpan berupa mono-olefin dan n-parafin serta benzen segar dan daur ulang masuk ke dalam *mixer*. Dengan bantuan katalis ZSM-5 padat, campuran dialkilasi dalam fasa cair dalam reaktor alkilasi berjenis *fixed bed multitube*. Reaksi dilakukan pada suhu 403 K dan tekanan 2,73 bar. Proses alkilasi ini akan mengubah benzen dan mono-olefin menjadi produk samping Linier Alkil Benzen (LAB) dan Heavy Alkil Benzen (HAB). Produk di dalam reaktor kemudian dikirim ke menara distilasi benzen (Rude, 2012).

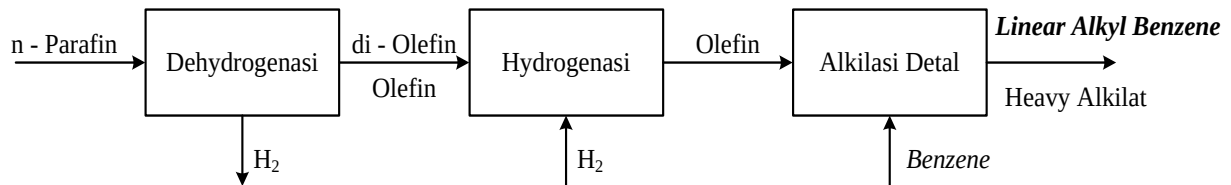
2.5 *Distillation Process*

Pada proses destilasi, umpan berupa campuran Linier Alkil Benzen (LAB), kelebihan benzen, Heavy Alkil Benzen (HAB) dan n-parafin yang tidak bereaksi didistilasi dan dipisahkan berdasarkan titik didihnya. Dalam kolom distilasi benzen, karena volatilitas yang tinggi dari produk atas, benzen pertama-tama dipisahkan sebagai volatilitas tinggi, kemudian dialirkan melalui kondensor untuk diubah fasanya sebagai refluks dan kemudian dipisahkan sebagian untuk pencampuran dalam *mixer*. Benzen yang di daur ulang dalam bentuk kelebihan benzen. Sebagian senyawa lain sebagai produk dasar direfluks ke dalam reaktor dan sebagian lagi akan dialirkan ke kolom distilasi parafin (Woodcock et al., 2004).

Umpan dari kolom destilasi parafin terdiri dari campuran senyawa Linier Alkil Benzen (LAB), Heavy Alkil Benzen (HAB) dan parafin yang tidak bereaksi. Di menara distilasi parafin, parafin yang tidak bereaksi dipisahkan dari campuran senyawa lain. Produk atas adalah parafin, yang didaur ulang dan dicampur dengan

campuran n-parafin di *mixer* dalam proses PACOL, sedangkan senyawa lain yang ditemukan di produk bawah akan mengalir ke menara refluks (Woodcock et al., 2004). Dibandingkan dengan metode

lainnya, metode DETAL memiliki keunggulan yaitu tidak memerlukan pemurnian produk karena menggunakan katalis padat. Diagram alir proses ini ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Blok DETAL Process

3. METODOLOGI

Langkah-langkah perancangan reaktor dehidrogenasi adalah sebagai berikut :

1. Mengumpulkan sumber data yang mendukung pendirian pabrik dan proses produksi yang akan dilakukan, serta data yang digunakan dalam desain reaktor (Tabel data ACS), (James & Castor, 2005), (Kulich, 2003), (Lei et al., 2003), (Majumder, 2015), (Rude, 2012), (Yaws, 1999).
2. Perhitungan kesetimbangan massa dan energi dalam reaktor dehidrogenasi (Reklaitis, 1983).
3. Perhitungan pertukaran panas dan jaringan pertukaran panas (Seider et al., 2009).
4. Analisis dan desain reaktor dehidrogenasi dan aksesoris tambahan (Brownell & Young, 1959), (Coulson dan Richardson, 2005), (Foggler, 1999), (Kern, 1965), (Megyesy, 1972), (Nur et al.) (Peters & Timmerhaus, 2003), (Rase, 1977), (Sinnot, 2005), (Smith, 1970), (Wallas, 1990).

4. DESAIN ALAT UTAMA REAKTOR DEHIDROGENASI

Reaktor dehidrogenasi digunakan untuk mengubah di-olefin menjadi mono-olefin dengan katalis Pd dan reaksi berlangsung dalam fase cair. Proses berlangsung pada kondisi operasi suhu 200°C dan tekanan 300 kPa(abs) dan berlangsung secara isothermal.

Perancangan reaktor dehidrogenasi dilakukan atas beberapa tahapan, yakni :

1. Menentukan persamaan laju reaksi
2. Menentukan data fisis dan termal bahan
3. Menentukan volume reaktor
4. Menentukan ukuran dan jumlah *tube*
5. Merancang *Shell*
6. Merancang *Head and Bottom*
7. Menentukan kebutuhan pemanas pada reaktor
8. Menentukan *pressure drop* pada *shell*
9. Menghitung luas dari permukaan reaktor
10. Menentukan volume reaktor total
11. Menentukan *nozzle* umpan dan produk

12. Menentukan penyangga tumpukan katalisator
13. Menghitung tebal pemegang pipa
14. Menghitung *flange*, *bolt* dan *gasket*
15. Menghitung berat reaktor
16. Merancang *skirt*
17. Merancang *anchor bolt*
18. Merancang *base ring*

Adapun hasil perancangan reaktor dehidrogenasi didapatkan spesifikasi seperti ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi Reaktor Dehidrogenasi

Spesifikasi Alat		
Nama Alat	Reaktor Dehidrogenasi	
Kode Alat	R – 101	
Jenis	Fixed Bed Multi-tube Reactor	
Katalis	Pt (Platina)	
Material Konstruksi	Carbon Steel SA – 283 Grade C	
Media Pemanas	Steam	
Kondisi Operasi		
Tekanan	2,99 bar	43,5 psi
Suhu	Input	Output
Aliran Umpan dan Produk	723 K	723 K
Pemanas	773 K	693 K
Laju Alir Massa Umpan dan Produk	4.5243,29 kg/h	
Hasil Perancangan Shell		
Inside Diameter	5,39 m	212,34 in
Outside Diameter	5,43 m	214 in
Tebal	0,02 m	0,75 in
Tinggi	7,32 m	288 in
Tekanan Desain	3,59 bar	52,2 psi
Hasil Perancangan Tube		
Jumlah Tube	1.762 tube	
Inside Diameter	0,03 m	1,38 in
Outside Diameter	0,04 m	1,66 in
Tebal	0,003 m	0,14 in
Hasil Perancangan Head dan Bottom		
Tipe	Elliptical Flanged and Dished Head	
Tinggi	1,23 m	48,32 in
Tebal	0,02 m	0,65 in

Tinggi Total Reaktor	9,77 m	384,64 in
Katalis		
Massa	5.971,11 kg	13.164,03 lb
Tinggi	3,66 m	144 in
Hasil Perancangan Nozzle		
Aliran Umpan		
Inside Diameter	19,25 in	
Outside Diameter	20 in	
Luas Area	291 in ²	
Aliran Produk		
Inside Diameter	17,25 in	
Outside Diameter	18 in	
Luas Area	234 in ²	
Aliran Pemanas <i>Input dan Output</i>		
Inside Diameter	15,25 in	
Outside Diameter	16 in	
Luas Area	183 in ²	

Selanjutnya, spesifikasi dari alat pendukung reaktor dehidrogenasi dapat dilihat pada Tabel 2.

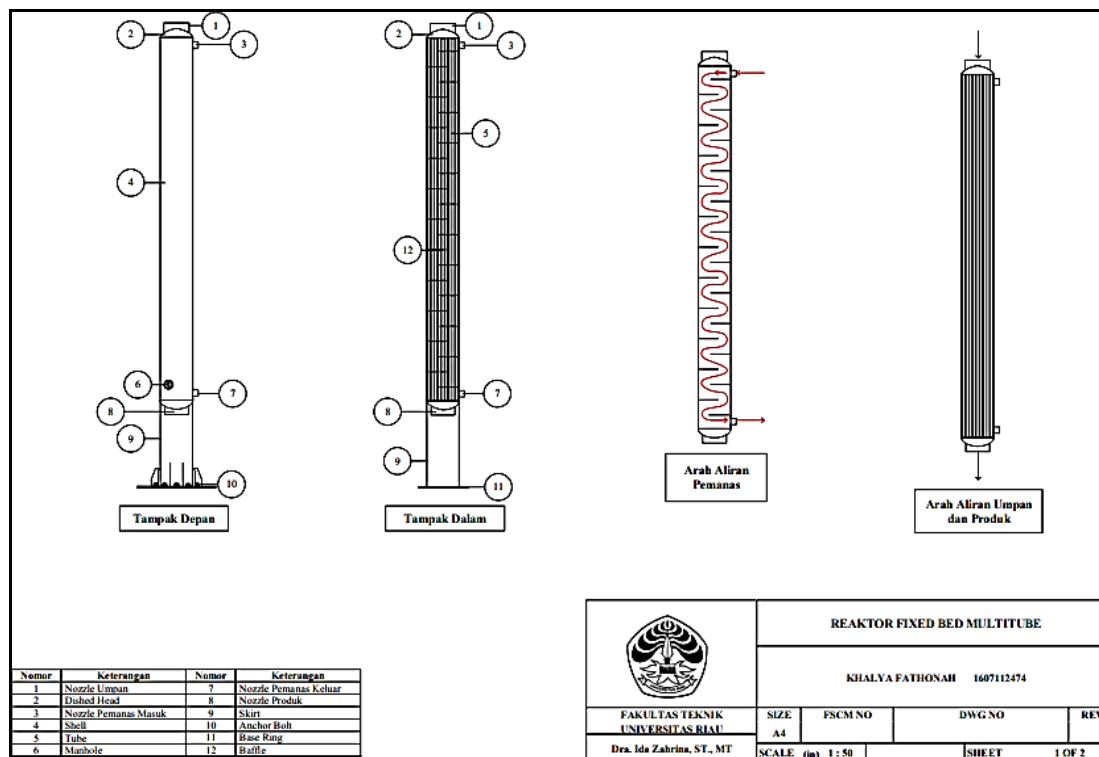
Tabel 2. Spesifikasi Alat Pendukung

Manhole		
<i>Diameter Manhole</i>	20 in	0,51 in
<i>Ketebalan Cover Plate</i>	0,31 in	0,008 m
<i>Ukuran Fillet Weld A</i>	0,19 in	0,005 m
<i>Ukuran Fillet Weld B</i>	0,31 in	0,008 m
<i>Approx Radius</i>	0,31 in	0,008 m
<i>Length of Side</i>	42,25 in	1,07 m
<i>Width of Reinforcing Plate</i>	54 in	1,37 m
<i>Max Diameter of Hole in Shell</i>	24,5 in	0,62 m
<i>Inside Diameter of Manhole Min ID</i>	20 in	0,51 m
<i>Inside Diameter of Manhole Max ID</i>	22,37 in	0,59 m
<i>Diameter Bolt Circle Pipe</i>	26,25 in	0,67 m
<i>Diameter of Cover Plate</i>	28,75 in	0,73 m
Perforated Plate		
Material	<i>Carbon Steel SA –</i>	

	283 Grade C	
Luas Area	0,85 m ²	1.321,5 in ²
Diameter	0,03 m	1,38 in
Tebal	0,48 m	19 in
Tebal Pemegang Pipa	0,05 m	2,25 in
Flange Vessel		
Material		
Outside Diameter	214 in	5,44 m
Tebal	0,75 in	0,02 m
Bolt Vessel		
Material		
Ukuran	0,032 m	1,25 in
Root Area	0,001 m	0,89 in ²
Jumlah	105 buah	
Circle Diameter	5,48 m	215,8 in
Gasket Vessel		
Material	Soft Steel	
Inside Diameter	214 in	5,43 m
Outside Diameter	214,13	5,44 m

	in	
Lebar	0,06 in	1,63 m
Berat Reaktor		
Pada Kondisi Operasi	295.908,47 kg	652.366,5 lb
Pada Kondisi Ereksi	10.909,57 kg	2.4051,5 lb
Skirt Support		
Diameter Luar	239,5 in	6,08 m
Diameter Dalam	212 in	5,38 m
Tebal	0,8 in	0,20 m
Anchor Bolt		
Jumlah Anchor Bolt	24 buah	
Bolt Circle	144 in	3,66 m
Base Ring		
Lebar	1,30 in	0,033 m
Tebal	1,28 in	0,032 m

Adapun gambar reaktor dehidrogenasi ditampilkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Desain Reaktor Dehidrogenasi

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari prarancangan alat utama ini, yaitu :

1. Jenis reaktor dehidrogenasi dengan kapasitas 80.000 ton/tahun yaitu *fixed bed multi-tube* dengan ukuran tinggi reaktor 9,76 m dan diameter 6,08 m.
2. Pada reaktor dehidrogenasi memiliki *steam* yang menjadi pemanas internal. Reaktor ini berfungsi untuk mengubah di-olefin menjadi mono-olefin dengan bantuan katalis platina (Pt).
3. Desain untuk tutup dan alas reaktor dehidrogenasi yaitu *elliptical head* dengan *skirt support* sebagai penyangga.

5.2 Saran

Sebaiknya pada saat merancang reaktor dehidrogenasi dengan jenis *fixed bed multi-tube*, menggunakan aplikasi simulasi (seperti, aspen hysys, matlab, dll) untuk mendapatkan hasil perhitungan yang lebih akurat dalam menentukan kapasitas dan spesifikasi rancangan alat.

DAFTAR PUSTAKA

- Brownell, L.E., and Young, E.H., 1979, Process Equipment Design, John Wiley and Sons, Inc., New York.
- Coulson, J.M. and Richardson, J.F., 1989, "Chemical Engineering", vol 6., Pergamon Press, Oxford.
- Dahlmann, M., Grub, J. & Loser, E. (2013). Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry. Jerman: Wiley.
- Fogler, H.S. (1999). *Elements of Chemical Reaction Engineering*, 4 th Edition. Prentice – Hall International, Inc, Amerika.
- Geankoplis, C. J. 1993. Transport Processes and Unit Operations 3 rd edition. Prentice Hall : New Jersey.
- James, D.H. & Castor, W.M. (2005). Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry. USA: Wiley.
- Megyesy, E. F. 1997, "Pressure Vessel Handbook", Pressure Vessel Handbook Publishing, Inc.
- Reklaitis, G.V. (1983). *Introduction to Material and Energy Balance*. New York : Mc.Graw Hill Book Company.
- Seider, W. D., Seader, J. D., & Lewin, D. R. (2009). *Product & Process Design Principles: Synthesis, Analysis And Evaluation*. John Wiley & Sons.
- Sinnott, R. K. (2005). *Chemical Engineering Design Vol. 6, 4 th Edition*. Oxford: Elsevier Butterworth-Heinemann.
- Smith, J. M. (1970). *Chemical Engineering Kinetics* (2 ed). USA: McGraw-Hill, Inc.
- Wallas, S. M. (1990). *Chemical Process Equipment Selection and Design*. United States of America: Butterworth-Heinemann.
- Woodcock, K. E., & Gottlieb, M. (2004). *Kirk-Othmer encyclopedia*. Wiley, 12, 377-386
- Yaws, C.L. (1999). *Chemical Properties Handbook*. USA: McGraw-Hill, Inc.