

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

Khobar Bahari Pane¹⁾, Ida Zahrina²⁾

1) Mahasiswa Program Studi Teknik Kimia, 2) Dosen Teknik Kimia
Program Studi Teknik Kimia S1, Fakultas Teknik Universitas Riau
Kampus Bina Widya Jl. HR. Soebrantas KM 12,5 Simpang Baru, Panam
Pekanbaru, 28293

E-mail : khobarbahari12@gmail.com

ABSTRACT

Linear alkyl benzene ($C_6H_5C_nH_{2n+1}$) is one of the organic compound used as a raw material in the detergent industry because it has a high degradation rate and it is biodegradable. The increasing use of detergents, the linear alkyl benzene industry will also be growing. This plant is designed to produce 80,000 tons per year of linear alkyl benzene (LAB). One of the main equipment in this plant is the alkylation reactor. This equipment is designed to react mono olefins and benzene to produce linear alkyl benzene (LAB) and heavy alkyl benzene (HAB) as side products with ZSM-5 catalyst via alkylation reaction. This reactor type is a fixed bed multitube reactor with cooling water as an internal cooler in the shell and this reactor is operated isothermally at temperature input and output of 403 K and pressure of 2.73 bar. The feed flow rate is 44680,877 kg per hour consisting of benzene and a mix-monoolefin. The height of this reactor is 8.85 m and a diameter of 3.45 m with torispherical flanged and dished head and skirt support.

Keywords: Alkylation, Linear Alkyl Benzene, Reactor Fixed Bed Multitube, ZSM-5 catalyst

1. PENDAHULUAN

Seiring dengan kemajuan peradaban manusia, maka kemajuan teknologi serta kebutuhan manusia juga akan bertambah pesat khususnya pada kebutuhan sandang. Hal ini juga berpengaruh terhadap perkembangan dunia industri deterjen serta bahan bakunya. Salah satu bahan baku dalam pembuatan deterjen adalah linier alkil benzen (LAB). Linier alkil benzen adalah salah satu bahan kimia organik yang berbentuk cairan jernih dengan rumus molkul $C_6H_5C_nH_{2n+1}$. LAB digunakan sebagai bahan baku pada industri deterjen. (Kocal, 2001).

Surfaktan diawali dengan pembuatan alkil benzen sulfonat. Alkil benzen sulfonat diproduksi dengan cara alkilasi Friedel-Craft dari benzen dan propilen

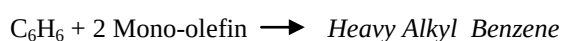
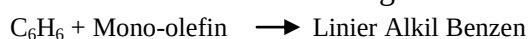
tetramer. Alkil benzen sulfonat yang dihasilkan mempunyai banyak turunan produk deterjen seperti dodesil benzen. Akan tetapi dodesil benzen mempunyai laju degradasi yang rendah sehingga tidak ramah lingkungan (*non biodegradable*). Oleh karena itu sejak tahun 1960-an linier alkil benzen mulai menggantikan dodesil benzen (Kocal, 2001).

Di Indonesia, dengan semakin berkembangnya industri deterjen, 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 PT. Unggul Indah Cahaya merupakan satu-satunya pabrik penghasil

LAB di Indonesia. 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 (Sumber: www.UIC.co.id).

Reaktor alkilasi merupakan salah satu unit utama dalam pabrik linier alkil benzen yang memiliki fungsi sebagai tempat terjadinya sintesis linier alkil benzen. Proses sintesis terjadi dengan mereaksikan benzen dan mono-olefin. Reaksi ini dibantu oleh katalis padat yaitu ZSM-5 yang merupakan pembaharuan dari teknologi sebelumnya. Katalis yang digunakan pada teknologi sebelumnya merupakan katalis asam yang memiliki kelemahan yaitu limbahnya yang merusak lingkungan (Woodcock, dkk, 2004)

Proses reaksi menggunakan katalis padat merupakan teknologi yang dikembangkan oleh perusahaan dunia Universal Oil Product (UOP) dan juga Compania Espanola de Petroleos SA (CEPSA). Reaktor yang digunakan pada pabrik LAB merupakan reaktor unggun tetap dengan jenis *multitube*, dimana katalis ZSM-5 akan diisi pada *tube* di dalam reaktor. Di luar *tube* akan dialirkan pendingin berupa air pendingin karena reaksi alkilasi merupakan reaksi eksotermis dan reaktor ditetapkan sebagai reaktor isothermal. Reaksi alkilasi benzen dan mono-olefin adalah sebagai berikut:



2 DESKRIPSI PROSES

Perkembangan industri deterjen dimulai dengan pembuatan dodesil benzen sulfonat (DDBS) pada tahun 1940-an. Namun, DDBS tidak ramah

lingkungan karena sulit untuk diuraikan karena adanya rantai bercabang. Selanjutnya, pada tahun 1960 ditemukan linier alkil benzen sulfonat (LABS) yang memiliki rantai yang lurus sehingga lebih mudah terurai dilingkungan. LABS disintesis dari linier alkil benzen (LAB).

Pembuatan linier alkil benzen diawali dengan mereaksikan benzen dan olefin menggunakan katalis asam seperti H_2SO_4 kemudian pada tahun 1960 digunakan katalis AlCl_3 dan HF. Katalis ini berdampak pada lingkungan dan juga memerlukan proses yang lebih panjang dikarenakan dibutuhkan proses netralisasi katalis dari produk. Pada tahun 1995, UOP dan CEPSA mengenalkan proses pembuatan LAB dengan menggunakan katalis padat yang disebut *DETAL Process*. Proses ini dinilai lebih baik dikarenakan yield yang lebih besar, kualitas produk, serta biaya produksi yang lebih murah. Selain itu, pada *DETAL Process* ditambahkan unit baru yaitu adsorber atau unit PEP untuk menghilangkan gugus aromatis pada olefin. Gugus aromatis ini dapat memperpendek umur katalis (Woodcock, dkk, 2004)

2.1 Parafin Dehydrogenation

Umpan berupa n-parafin bercampur dengan parafin daur ulang dari proses destilasi parafin. Umpan dilewatkan pada *heat exchanger* dan *furnace* untuk menaikkan suhunya sampai 150°C dan 450°C . Kemudian umpan dialirkan ke reaktor dehidrogenasi dengan katalis platina. 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.

Produk kemudian dialirkan ke *heat exchanger* untuk diturunkan suhunya sampai 25°C. Kemudian produk diumpankan pada *flash tank* untuk proses pemisahan hidrogen dan *mix* olefin (Rude, 2012).

1.2 *Diolefin Hydrogenation*

Umpan berupa *mix* olefin dialirkan ke *mixer* untuk di campur dengan hidrogen dan diumpankan ke dalam reaktor hidrogenasi. Pada proses ini, di-olefin yang merupakan reaksi samping dari proses PACOL (dehidrogenasi) diubah menjadi mono-olefin dengan katalis Paladium dan reaksi berlangsung dalam fase cair. Proses berlangsung pada suhu 200°C dan tekanan 300 kPa(abs) secara isothermal (Woodcock, dkk, 2004).

1.3 *PEP Process*

Umpan berupa mono-olefin dilewatkan ke dalam kolom *adsorber* untuk menghilangkan gugus aromatis yang terkandung dalam mono-olefin. Gugus aromatis ini dapat memperpendek umur katalis dan juga membuat produk yang dihasilkan memiliki kualitas yang rendah. Produk berupa mono-olefin dan n-parafin yang tidak mengandung gugus aromatis selanjutnya dialirkan ke proses alkilasi (Woodcock, dkk, 2004).

1.4 *Detergent Alkylation (DETAL Process)*

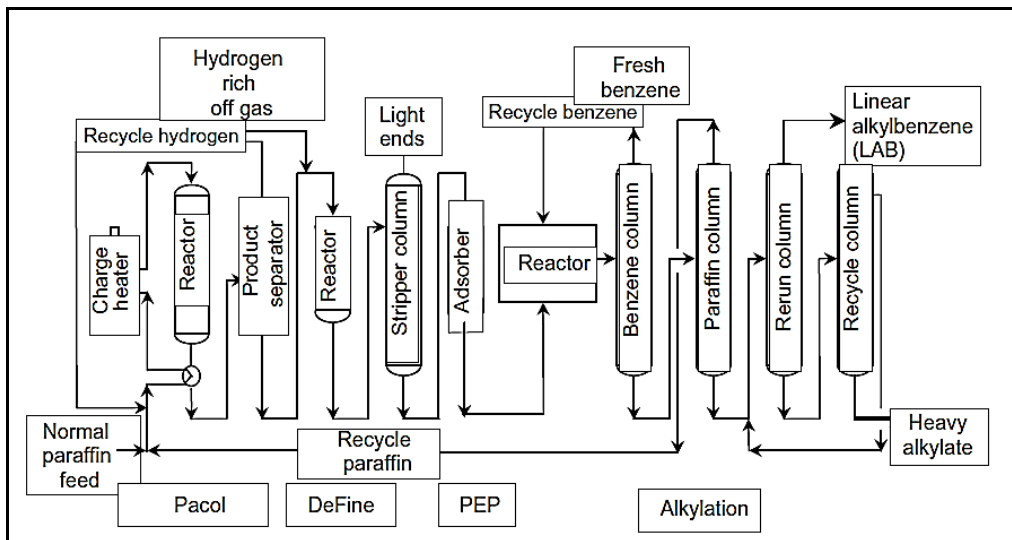
Umpan berupa mono-olefin dan n-parafin serta benzen segar dan benzen daur ulang masuk ke *mixer*. Campuran tersebut dialkilasi pada reaktor alkilasi dengan tipe *fixed bed multitube reactor* pada fase cair dengan bantuan katalis padat ZSM-5. Reaksi berlangsung pada suhu 403 K dengan tekanan 2,73 bar. Pada proses

alkilasi ini mengubah benzen dan mono-olefin menjadi linier alkil benzen (LAB) dan produk samping *heavy alkyl benzene* (HAB). Produk dari reaktor selanjutnya dialirkan ke kolom destilasi benzen (Rude, 2012).

1.5 *Distillation Process*

Pada *distillation process*, umpan berupa campuran linier alkil benzen (LAB), *excess* benzen, *heavy alkyl benzene* (HAB) dan n-parafin yang tidak bereaksi didestilasi untuk dipisahkan berdasarkan titik didihnya. Pada kolom destilasi benzen, benzen dipisahkan terlebih dahulu sebagai *light key* karena volatilitas tinggi pada produk atas dan dialirkan melewati kondensor untuk diubah fasanya sebagai refluks dan sebagian dipisahkan untuk dicampur pada *mixer*. Benzen yang didaur ulang berupa benzen berlebih. Senyawa lainnya sebagai produk bawah sebagian dialirkan kembali ke dalam reaktor dan sebagian akan dialirkan ke kolom destilasi parafin (Woodcock, dkk, 2004).

Umpan dari kolom destilasi parafin terdiri dari campuran senyawa linier alkil benzen (LAB), *heavy alkyl benzene* (HAB) dan parafin yang tidak bereaksi. Pada kolom destilasi parafin, parafin yang tidak bereaksi dipisahkan dari campuran senyawa lainnya. Pada produk atas adalah parafin yang akan didaur ulang dan dicampurkan dengan *makeup* n-parafin pada *mixer* pada proses PACOL, sedangkan senyawa lain yang terdapat pada produk bawah yang akan dialirkan ke *return coloumn* (Woodcock, dkk, 2004). *DETAL Process* memiliki keunggulan dibanding proses lainnya yaitu tidak memerlukan pemurnian produk karena menggunakan katalis padat. Diagram Alir Proses dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Diagram Alir Proses *Detal Process* (Woodcock, dkk, 2004)

2. METODOLOGI

Adapun langkah-langkah dalam mendesain reaktor alkilasi ini adalah sebagai berikut :

1. Pengumpulan sumber data pendukung pendirian pabrik dan proses produksi yang akan dilakukan serta data-data untuk desain reaktor. (ACS *datasheet*), (James & Castor, 2005), (Kulich, 2003), (Lei, dkk, 2003), (Majumder, 2015), (Rude, 2012), (Yaws, 1999).
2. Perhitungan neraca massa dan energi pada reaktor alkilasi (Reklaitis, 1983).
3. Perhitungan jaringan alat penukar panas dan massa (Seider, dkk, 2009).
4. Analisa dan desain reaktor alkilasi dan aksesoris pendukung (Brownel & Young, 1959), (Coulson & Richardson, 2005), (Fogler, 1999), (Kern, 1965), (Megyesy, 1972), (Nur, dkk, 2015), (Peters & Timmerhaus, 2003), (Rase, 1977), (Sinnot, 2005), (Smith, 1970), (Wallas, 1990).

4. Desain Alat Utama Reaktor Alkilasi

Reaktor alkilasi adalah alat yang berfungsi sebagai tempat terjadinya reaksi alkilasi benzen dan mono-olefin. Umpan yang masuk merupakan fasa cair. Produk keluaran reaktor berupa campuran linier alkil benzen (LAB), *heavy alkyl benzene* (HAB), serta parafin dan benzen yang tidak bereaksi. Perancangan reaktor alkilasi dilakukan atas beberapa tahapan yakni :

1. Menentukan volume reaksi dan waktu tinggal.
2. Menentukan jenis reaksi (endotermis atau eksotermis)
3. Menentukan kondisi operasi yang diperlukan (isotermal atau adiabatik)
4. Menentukan tipe reaktor (*multitube*, *multibed* atau *single fixed bed*).
5. Selanjutnya spesifikasi alat ditentukan.
6. Merancang bagian internal reaktor dan aksesoris pendukung alat (penyangga, nozzle, *flange*, dll).

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

Tabel 1 Spesifikasi reaktor alkilasi

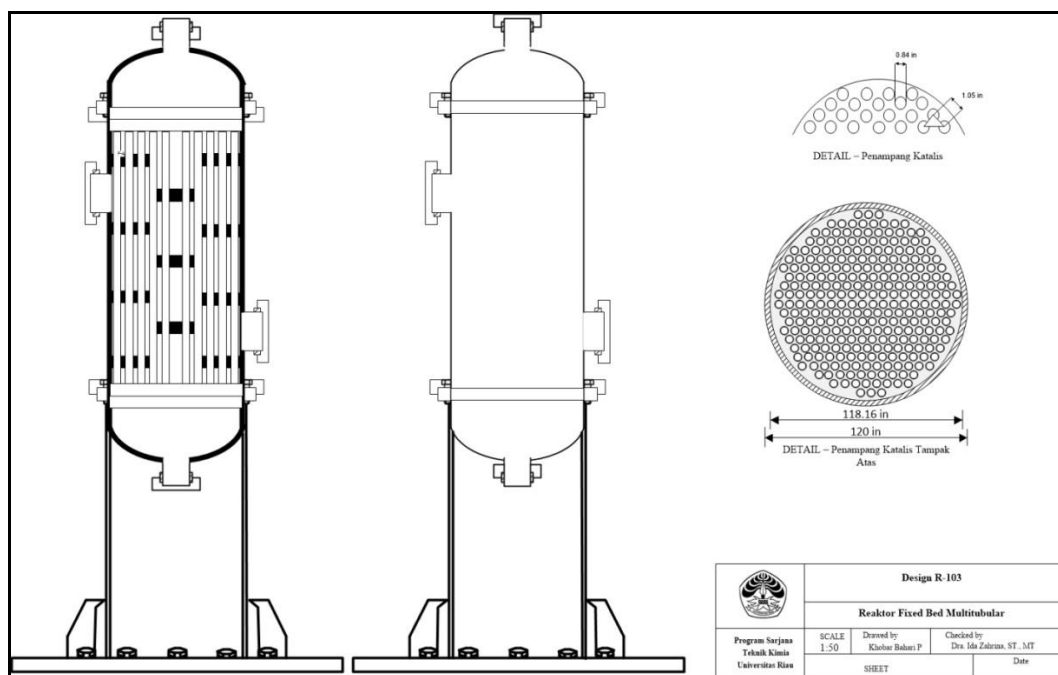
Spesifikasi Alat		
Nama alat	Reaktor Alkilasi	
Kode alat	R-103	
Fungsi Alat	Tempat sintesis linier alkil benzen dari benzen dan monoolefin	
Jenis	Reaktor <i>fixed bed multitube</i>	
Katalis	ZSM-5	
Material konstruksi	Carbon steel SA 283 Grade C	
Media pendingin	Cooling water	
Kondisi Operasi		
Tekanan	2.73 bar	39.53 psi
Suhu	Input	Output
Aliran umpan dan produk	403 K	403 K
Pendingin	303 K	318 K
Laju alir massa umpan dan produk	44680.8769 kg/jam	
Laju alir massa pendingin	625121.51 kg/jam	
Hasil Perancangan Shell		
Inside diameter	3.001 m	118.16 in
Outside diameter	3.0255 m	119.113 in
Tebal	0.0121 m	0,4777 in
Tinggi	7.3152 m	288 in
Tekanan desain	3.27 bar	47.439 psi
Hasil Perancangan Tube		
Jumlah tube	11489 buah	
Inside diameter	0.0139 m	0.546 in
Outside diameter	0.0213 m	0.84 in
Tebal	0.0075 m	0.294 in
Hasil Perancangan Head dan Bottom		
Tipe	Torishperical flanged and dished head	
Tinggi	0.7651 m	30.1214 in
Tebal	0.0113 m	0.4452 in
Tinggi total reaktor	8.8454 m	348 in
Katalis		
Massa	4572.33 Kg	
Tinggi	42023.02 m	
Hasil Perancangan Nozzle		
Aliran Umpan		
Inside diameter	4 in	
Outside diameter	4.5 in	
Aliran Produk		
Inside diameter	4 in	
Outside diameter	4.5 in	
Aliran Pendingin		
	Input	Output
Inside diameter	14 in	14 in
Outside diameter	21 in	21 in

Selanjutnya spesifikasi dari aksesoris pendukung reaktor alkilasi seperti ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2 Spesifikasi Alat Pendukung

Manhole		
Diameter <i>menhole</i>	0.508 m	20 in
Ketebalan <i>cover plate</i>	0.0095 m	0.375 in
Ukuran <i>fillet weld A</i>	0.0048 m	0.1875 in
Ukuran <i>fillet weld B</i>	0.0095 m	0.375 in
<i>Approx radius</i>	0.0095 m	0.375 in
<i>Length of side</i>	1.0731 m	42.25 in
<i>Width of reinforcing plate</i>	1.3716 m	54 in
<i>Max diameter of hole in shell</i>	0.6223 m	24.5 in
<i>Inside diameter of manhole Min ID</i>	0.508 m	20 in
<i>Inside diameter of manhole Max ID</i>	0.5683 m	22.25 in
<i>Diameter bolt circle pipa</i>	0.6675 m	26.25 in
<i>Diameter of cover plate</i>	0.7302 m	28.75 in
Perforated Plate		
Material	Carbon Steel SA 212 Grade B	
Luas area	0.8935 m ²	1350 in ²
Diameter	3.0012 m	118.1575 in
Tebal	0.0254 m	1 in
Flange Vessel		
Material	Carbon steel SA-240 Grade A	
Outside diameter	3.13 m	123.339 in
Tebal	0.0889 m	3.5 in
Bolt Vessel		
Material	Carbon steel SA-193 Grade B	
Ukuran	0.0127 m	0,5 in
<i>Root area</i>	0.082 m ²	0.126 in ²
Jumlah	264 buah	
<i>Circle diameter</i>	3.0988 m	122.09 in
Gasket Vessel		
Material	Soft steel	
Inside diameter	3.0255 m	119.113 in
Outside diameter	3.03 m	119.2975 in
Lebar	0,00095 m	0,0373 in
Berat Reaktor		
Pada kondisi operasi	913845.295 Kg	2014684.011 lb
Pada kondisi ereksi	239470.5864 kg	527942.272 lb
Skirt Support		
Inside diameter	3.0255 m	119.113 in
Outside diameter	3.4521 m	135.9093 in
Tebal	0.0159 m	0.625 in
Anchor Bolt		
Jumlah <i>anchor bolt</i>	20 buah	
<i>Bolt circle</i>	3.4544 m	136 in
Base Ring		
Lebar	0.04544 m	1.7888 in
Tebal	0.0333 m	1.3125 in

Adapun gambar reaktor alkilasi ditampilkan pada Gambar 2.



Gambar 2 Desain Reaktor Alkilasi

5. Kesimpulan dan Saran

5.1. Kesimpulan

Adapun kesimpulan dari perancangan pabrik LAB ini adalah:

1. Reaktor alkilasi bezen adalah *fixed bed multitube* dengan tinggi reaktor 8.85 m dengan diameter 3.45 m untuk kapasitas 80.000 ton.
2. Reaktor alkilasi didesain dengan tutup dan alas *torispherical head* dan juga penyangga berupa *skirt support*.
3. Reaktor alkilasi dilengkapi dengan pendingin internal dengan pendingin berupa air pendingin.

5.2. Saran

Dalam perancangan reaktor alkilasi *fixed bed multitube* sebaiknya dilakukan dengan aplikasi simulasi seperti aspen hysys, matlab, dan lainnya untuk memprediksi ukuran reaktor pada berbagai kapasitas produksi.

DAFTAR PUSTAKA

ACS Material Technical Datasheet of ZSM-5 Catalyst

- Brownell, L. E. dan Young, E. H. (1959). *Process Equipment Design*. USA: John Wiley & Sons, Inc.
- Coulson, J.M. dan Richardson, J.F. (2005). *Chemical Engineering Design* 4th Edition. Oxford: Butterworth Heinemann.
- Fogler, H.S. (1999). *Elements of Chemical Reaction Engineering*, 4th Edition. Prentice – Hall International, Inc, Amerika.
- James, D.H. & Castor, W.M. (2005). *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*. USA: Wiley.
- Kern, D. Q. (1965). *Process Heat Transfer*. McGraw-Hill International Book Company.
- Kocal, Joseph, Vora, Biplin, Imai, Tomatsu. 2001. *Production of linear alkylbenzenes*. Applied Catalysis A: General 221 (2001) 295–301.
- Kulich, D.M., Gaggar, S.K., Lowry, V. & Stepian, R. (2003). *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology*. USA: Wiley.
- Lei, Z., Li, C., Chen, B., Erqiang, W., & Zhang, J. (2003). Study on the alkylation of benzene and 1-

- dodecene. *Chemical Engineering Journal*, 93(3), 191-200.
- Majumder, D., & Sohn, S. W. (2015). *U.S. Patent No. 9,193,642*. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- Megyesy, E. F. (1972). *Pressure Vessel Handbook Twelfth Edition*. Pressure Vessel Publishing Inc: United States of America.
- Nur, A.A., Sularso, A., Ardining, F.T., Faiz, M.H. (2015). *Makalah Reaktor Fixed Bed Teknik Reaksi Kimia*. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.
- Peters, M.S., and Timmerhaus, K.D. 2003. *Plant Design and Economics for Chemical Engineers, 5th ed.*, McGraw Hill Book Co, Inc. New York.
- Rase, F.H. (1977). *Chemical Reactor Design for Process Plants*. New York: John Wiley and Sons, Inc.
- Rude, M, dkk. 2012. *Method and Compositions for Producing Linear Alkyl Benzene*. United States Patent Application Publication. Pub. No.: US 2012/0157717 A1.
- Reklaitis, G.V. (1983). *Introduction to Material and Energy Balance*. New York : McGraw 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, 4th Edition*. Oxford: Elsevier Butterworth-Heinemann.
- Smith, J. M. (1970). *Chemical Engineering Kinetics* (2 ed). USA: McGraw-Hill, Inc.
- www.uic.co.id. (2018). *Analisa dan Pembahasan Manajemen*. <http://www.uic.co.id/?scr=06.03&selectLanguage=1>. Diakses 17 oktober 2019
- Yaws, C.L. (1999). *Chemical Properties Handbook*. 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.