

PRARANCANGAN PABRIK AKROLEIN DARI GLISEROL DENGAN DESAIN ALAT UTAMA REAKTOR *FIXED BED MULTITUBE* PADA PROSES DEHIDRASI GLISEROL

Ronna Puspita Sari¹⁾

1) Mahasiswa Program Studi 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: ronna.puspita6021@student.unri.ac.id

ABSTRACT

Acrolein (C₃H₄O) is the simplest unsaturated aldehyde compound but is highly toxic and high reactivity due to the conjugation of a carbonyl group with a vinyl group. The uses of acrolein is protecting liquid fuels from microorganisms, making essential amino acid methionine and as a good separator and dispersing agent which is widely used in the ceramic, paper and electroplating industries. The acrolein plant is design to produce 36.000 tons/years. One of the main equipment in this plant is the dehydration reactor to react glycerol to produce acrolein. The type of reactor is fixed bed multitube reactor using WO₃/ZrO₂ as a catalyst at 410°C and 1 bar in isothermal conditions. The glycerol flow rate is 21.088,193 kg/h and the cooling water flow rate is 113.891,47 kg/h. The height of reactor is 8,23 m and the diameter is 2,39 m with torispherical flanged and dished head and lug support.

Keywords: *acrolein, fixed bed multitube reactor, glycerol, zirconium.*

1. PENDAHULUAN

Akrolein (C₃H₄O) adalah senyawa aldehid tidak jenuh yang paling sederhana namun sangat beracun dan reaktivitasnya tinggi karena konjugasi gugus karbonil dengan gugus vinil. Pada suhu ruang, akrolein berfase cair dengan volatilitas tinggi dan memiliki sifat mudah terbakar yang mirip dengan aseton. Sifat fisika lainnya dari akrolein yaitu sedikit larut dalam air. Kegunaan akrolein antara lain adalah sebagai pelindung bahan bakar cair dari mikroorganisme, bahan pembuatan asam amino metionin esensial dan sebagai bahan pemisah dan pendispersi yang banyak digunakan dalam industri keramik, kertas, dan *electroplating* (Kirk, *et al.*, 1997).

Indonesia belum memiliki pabrik yang memproduksi akrolein sehingga akrolein di impor dari luar negeri. Sementara itu, menurut data Badan Pusat Statistik pada tahun 2012 Indonesia mengimpor akrolein sebanyak 799.218 kg dan pada tahun 2018 sebanyak 1.498.544 kg. Meningkatnya kebutuhan impor akan mengurangi sumber devisa negara. Maka dari itu dengan pendirian pabrik akrolein diharapkan dapat mengurangi kebutuhan impor akrolein dan dapat menambah devisa negara.

Saat ini akrolein diproduksi secara komersial terutama menggunakan metode oksidasi propilena. Namun, memproduksi akrolein menggunakan gliserol sebagai bahan baku lebih menjanjikan dalam hal biaya dan keterbaharuan. Penelitian

tentang dehidrasi gliserol menjadi akrolein dimulai sekitar 100 tahun yang lalu dan telah menarik banyak perhatian selama sekitar 20 tahun karena perkembangan industri biodiesel. Pemanfaatan gliserol hasil samping dari produksi biodiesel yang efektif dapat mengurangi biaya produksi biodiesel dan meningkatkan pengembangan industri biodiesel.

Jenis reaktor yang umum digunakan dalam memproduksi akrolein dengan proses dehidrasi gliserol adalah reaktor *fixed bed multitube*. Pemilihan reaktor ini dikarenakan fasa umpan yang masuk berupa gas sedangkan katalis berupa padatan, tidak diperlukan pemisahan katalis dari gas keluaran reaktor dan pengendalian suhu relatif mudah karena menggunakan tipe *shell and tube*.

Pada reaktor ini, *tube* diaplikasikan secara vertikal untuk memudahkan pelepasan *bundle* dengan tujuan untuk mempersingkat waktu penggantian material, katalis, dan waktu perawatan. Reaktor *fixed bed multitube* digunakan ketika zat pereaksi gas dan katalis dalam bentuk solid. Menurut Hill dan Root (1997), *fixed bed multitube vertical reactor* dapat menahan lebih banyak tegangan (stress) sehingga memungkinkan untuk dioperasikan pada tekanan tinggi.

Pabrik akrolein direncanakan akan didirikan di Kawasan Industri Dumai, Pelintung, Kota Dumai, Riau pada tahun 2024 dengan kapasitas pabrik sebesar 36.000 ton/tahun. Kawasan ini sangat mendukung untuk pendistribusian bahan baku utama berupa *crude glycerol* yang diperoleh dari hasil samping pada salah satu pabrik pembuatan biodiesel di Indonesia yaitu PT. Wilmar Bioenergi yang memiliki kapasitas produksi *crude glycerol* sebesar 1.300.000 ton/tahun.

2. DESKRIPSI PROSES

Akrolein diproduksi menggunakan proses dehidrasi gliserol. Proses ini memiliki keunggulan berupa bahan baku yang murah serta temperatur dan tekanan operasi rendah sehingga berdampak pada rendahnya biaya produksi. Namun proses ini juga memiliki kekurangan yaitu gliserol mudah larut dalam air sehingga memerlukan beberapa tahap proses pemurnian (Kiakalaieh dan Amin, 2015). Proses ini dipilih berdasarkan pertimbangan biaya bahan baku dan biaya produksi yang rendah namun konversi reaksi dan harga jual produk utama yang tinggi.

Pembuatan akrolein dari gliserol diawali dengan pemurnian bahan baku berupa *crude glycerol* yang selanjutnya gliserol murni diproses secara dehidrasi. Proses ini terdiri dari dua operasi utama yaitu pemurnian gliserol dan dehidrasi gliserol. Kemudian melibatkan serangkaian proses pemisahan untuk mendapatkan akrolein yang murni.

2.1 Proses Pemurnian Gliserol

Gliserol murni akan digunakan pada proses dehidrasi gliserol untuk memproduksi akrolein. Tahapan pertama dalam pemurnian *crude glycerol* adalah proses dekantasi menggunakan dekanter (D-101) untuk memisahkan gliserol dari pengotor berupa *crude palm oil* dan biodiesel dengan kondisi operasi pada tekanan 1 atm, temperatur 25°C dan waktu tinggal selama 10 menit. Gliserol kemudian dinetralisasi menggunakan HCl dengan cara mencampurkannya pada alat *mixer* (M-101) dengan kondisi operasi 25°C dan tekanan 1 atm. Gliserol yang telah dinetralisasi kemudian dipisahkan lagi dari pengotornya berupa metanol

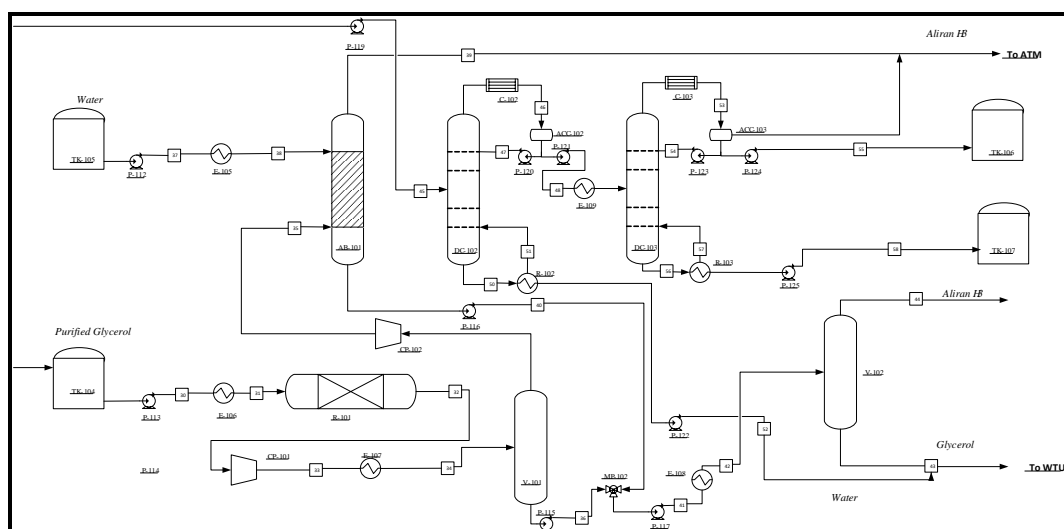
menggunakan kolom destilasi (D-101) dengan kondisi operasi 90°C dan 1 atm.

Bottom product kolom destilasi yaitu gliserol masih mengandung kadar air yang cukup tinggi sehingga belum sesuai untuk spesifikasi umpan masuk reaktor. Gliserol diproses secara evaporasi menggunakan evaporator (EV-101) pada kondisi operasi 107°C tekanan 1 atm dengan demikian akan didapatkan gliserol yang telah memenuhi komposisi umpan masuk reaktor.

2.2 Proses Dehidrasi Gliserol

Gambar 1 menunjukkan proses dehidrasi gliserol untuk memproduksi akrolein. Bahan baku yang digunakan berupa gliserol murni dari tahapan pemurnian gliserol sebelumnya. Proses reaksi dehidrasi terjadi pada reaktor dehidrasi (R-101) dengan kondisi operasi 410°C dan tekanan 1 bar. Reaktor yang digunakan berjenis *fixed bed multitube* dengan kondisi reaktor isothermal. Reaksi berlangsung pada keadaan eksotermis sehingga dibutuhkan aliran pendingin untuk menjaga kondisi reaktor berada pada keadaan isothermal. Kemudian produk hasil reaksi yaitu akrolein dari senyawa lainnya berupa hidrogen, karon

monoksida, etilen, air, dan asetaldehida yang merupakan keluaran reaktor dipisahkan menggunakan *flash drum* (V-101) untuk memisahkan gas-gas yang mudah menguap seperti hidrogen, etilen, dan karbon monoksida. Pemisahan pada *flash drum* tidak terjadi secara sempurna karena masih ada produk akrolein yang ikut menguap bersama *top product flash drum* sehingga perlu dilakukan proses absorpsi gas akrolein menggunakan absorber (AB-101) dengan *solvent water* pada kondisi operasi 34°C dan tekanan 11 bar. Hasil absorpsi dan *bottom product flash drum* (V-101) dipisahkan menggunakan *flash drum* (V-102) sehingga produk utama akrolein dan asetaldehida akan terpisah pada *top product* dan gliserol yang tidak bereaksi pada reaktor pada *bottom product*. *Top product flash drum* (V-102) dimurnikan dengan kolom destilasi (D-102) untuk memisahkan asetaldehida dan akrolein dari air dengan kondisi operasi 120°C dan tekanan 11 bar selanjutnya *top product* kolom destilasi (D-102) dimurnikan kembali untuk memisahkan asetaldehida dengan akrolein menggunakan kolom destilasi (D-103).



Gambar 1 Diagram alir proses reaksi dan pemurnian akrolein

3. METODOLOGI

Adapun langkah-langkah dalam mendesain reaktor *fixed bed multitube* dengan proses dehidrasi gliserol ini adalah sebagai berikut.

1. Pengumpulan sumber data-data pendukung pendirian pabrik dan proses produksi yang akan digunakan serta data-data yang diperlukan untuk merancang reaktor dari sumber: (Kirk, *et al.*, 1997), (Badan Pusat Statistik, 2018), (Yaws, 1999).
2. Perhitungan neraca massa dan energi pada reaktor *fixed bed multitube* (Reklaitis, 1983).
3. Perhitungan jaringan alat penukar panas dan massa (Seider, *et al.*, 2009).
4. Analisa dan desain reaktor *fixed bed multitube* dan aksesoris pendukung (Brownell dan Young, 1959), (Coulson dan Richardson, 2003), (Fogler, 1999), (Geankoplis, 1993), (Kern, 1965), (Megyesy, 1972), (Peters, *et al.*, 2003), (Rase, 1977), (Smith, 1981), (Turton, 2009), (Walas, 1988).

4. DESAIN ALAT UTAMA REAKTOR *FIXED BED MULTITUBE*

Desain alat utama berupa desain reaktor *fixed bed multitube* (R-101) dengan proses dehidrasi gliserol. Reaktor tersebut berguna untuk mengkonversi bahan baku berupa gliserol murni menjadi produk akrolein dan turunannya. Reaktor didesain berdasarkan dasar-dasar rancangan sebagai berikut.

1. Pemilihan jenis reaktor.
2. Katalis yang digunakan.
3. Menentukan kondisi operasi.

4. Merancang spesifikasi alat berupa bagian internal dan eksternal reaktor serta aksesoris pendukung seperti penyangga, *nozzle*, *manhole*, *flange*, dan lain-lain.

Adapun hasil perancangan reaktor *fixed bed multitube* dapat dilihat pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1 Spesifikasi Alat Utama

Spesifikasi Alat		
Nama alat	Reaktor Hidrogenasi	
Kode alat	R-101	
Fungsi	Mengkonversi gliserol menjadi akrolein	
Jenis	Reaktor <i>fixed bed multitube</i>	
Material konstruksi	<i>Stainless steel SA 167 Grade 11 type 316</i>	
Media pendingin	<i>Cooling water</i>	
Kondisi Operasi		
Tekanan operasi	1 bar	14,5 psi
Suhu	Input	Output
Aliran gas	683°K	683°K
Pendingin	303°K	313°K
Massa gas	21.088,193 kg/jam	
Massa pendingin	113.891,47 kg/jam	
Spesifikasi Katalis		
Katalis	WO ₃ /ZrO ₂	
Densitas	1200 kg/m ³	
Diameter	3,7 nm	
Porositas	0,241	
Bentuk	Pellet	
Massa katalis	7.947,78 kg	
Volume katalis	6,6 m ³	
Hasil perancangan <i>shell</i>		
Inside diameter	2,37 m	93,44 in
Outside diameter	2,39 m	94 in
Tebal	0,0079 m	0,3125 in
Tinggi	7,3152 m	288 in
Tekanan desain	1,2 bar	17,4 psi
Jumlah <i>baffle</i>	4	
<i>Baffle space</i>	0,712 m	28,03 in

Bilangan Reynold	160.537,19	
Hasil perancangan tube		
Jumlah tube	30.883	
Inside diameter	0,0068 m	0,269 in
Outside diameter	0,0102 m	0,405 in
Tebal	0,0017 m	0,068 in
Pitch	0,0129 m	0,506 in
Clearance	0,0026 m	0,101 in
Bilangan Reynold	2143,27	
Hasil perancangan head dan bottom		
Tipe	<i>Torispherical Flanged and Standard Dished Head</i>	
Tinggi head	0,459 m	18,06 in
Straight flange (sf)	0,0762 m	3 in
Outside diameter	2,389 m	94 in
Inside diameter	2,37 m	93,44 in
Tebal head	0,0079 m	0,3125 in
Tinggi reaktor	8,23 m	324 in

Spesifikasi alat pendukung berupa *nozzle*, *flange*, *bolt*, *gasket*, *penyangga*, *base plate* dan *manhole* dapat dilihat pada Tabel 2 berikut.

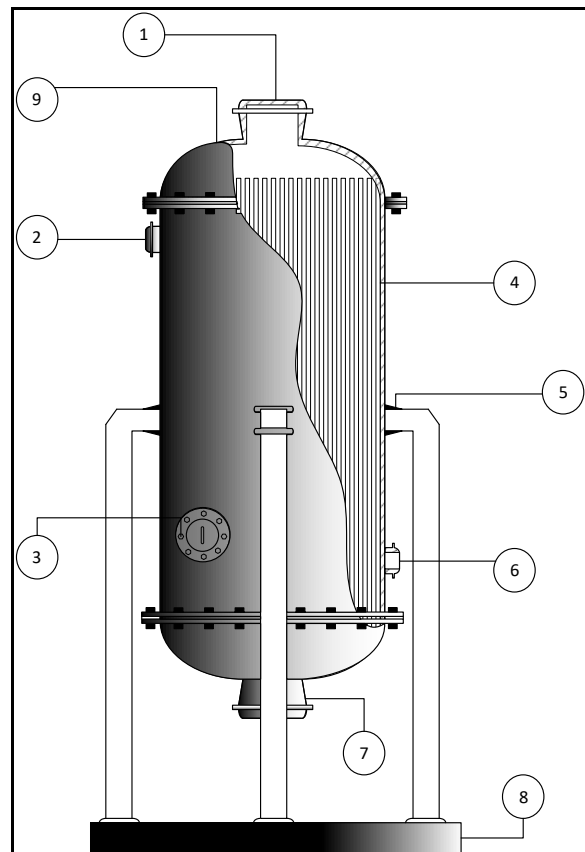
Tabel 2 Spesifikasi Alat Pendukung

Hasil perancangan nozzle pada shell		
	Input	Output
Ukuran <i>nozzle</i>	6 in	6 in
Outside diameter	6,625 in	10,75 in
Inside diameter	4,79 in	10,02 in
<i>Diameter of hole in reinforcing plate (D_R)</i>	6,75 in	10,875 in
<i>Length of side of reinforcing plate (L)</i>	16,25 in	24,5 in
<i>Width of reinforcing plate (W)</i>	20,25 in	30,125 in
<i>Distance shell to flange face outside (J)</i>	8 in	10 in
<i>Pipe wall thickness (n)</i>	0,432 in	0,5 in

Hasil perancangan nozzle pada tube		
	Input	Output
Ukuran <i>nozzle</i>	22,11 in	16,57 in
Outside diameter	24 in	18 in
Inside diameter	23,25 in	17,25 in
Luas area	425 in ²	234 in ²
Flange vessel		
Material	<i>Carbon steel SA-240 Grade A</i>	
<i>Flange outside diameter, A</i>	97,53 in	
Tebal <i>flange</i>	2,5 in	
<i>Flange inside diameter, B</i>	94,07 in	
Berat beban, W	136399,34 lb	
<i>Bolt circle diameter, BC</i>	96,03 in	
H _D	120898,2 lb	
h _D	0,983 in	
h _T	0,858 in	
H _T	1288,63 lb	
H _G	14212,51 lb	
h _G	0,73 in	
Bolt Vessel		
Material	<i>Carbon steel SA-193 Grade B7</i>	
Ukuran	0,625 in	
Root area	0,202 in ²	
Jumlah	36 buah	
<i>Bolt spacing standard, BS</i>	3 in	
<i>Minimal radian distance, R</i>	0,9375 in	
<i>Maximum fillet radius</i>	0,25 in	
<i>Edge distance, E</i>	0,75 in	
<i>Bolt circle diameter, BC</i>	96,03 in	
Gasket Vessel		
Material	<i>Soft steel</i>	
<i>Outside diameter</i>	2,39 m	94,11 in
<i>Inside diameter</i>	2,389 m	94,06 in
Lebar	0,0127 m	0,5 in
Penyangga Lug		
Jumlah penyangga	4	
Jenis kolom	I-beam	
Tinggi <i>leg</i> dari kolom ke <i>base plate</i> , L	60 in	
Tinggi lug, H _{lug}	222,06 in	
Tinggi <i>gusset</i> , h	20 in	
Tebal <i>gusset</i> , t _g	0,5625 in	
Lebar <i>gusset</i> , b	9,25 in	
Panjang <i>gusset</i> , A	10,25 in	
Jarak antara <i>center line</i> kolom penyangga dengan <i>center line shell</i> , a	3,5855 in	
Jarak radial dari luar <i>horizontal plate</i> luar ke <i>shell</i> , l	6 in	

Tebal <i>horizontal plate</i> , t_{hp}	1,5 in
Ukuran baut	1,25 in
Base Plate	
Ukuran	1,25 in
<i>Root area</i>	74 in
<i>Bolt spacing</i>	0,89 in
<i>Minimum radial distance</i>	12
<i>Edge distance</i>	2,25 in
<i>Nut dimension</i>	4 in
Manhole	
Ukuran <i>manhole</i>	20 in
<i>Cover plate thickness</i>	0,3125 in
<i>Bolting flange thickness after finishing</i>	0,25 in
<i>Size of fillet, weld A</i>	0,875 in
<i>Size of fillet, weld B</i>	1,25 in
<i>Approx radius, R</i>	1 in
<i>Length of side, L</i>	42,5 in
<i>Width of reinforcing plate, W</i>	49 in
<i>Max diameter of hole in shell plate, Dp</i>	27 in
<i>Inside diameter of manhole frame</i>	20 in
<i>Diameter of bolt circle, Db</i>	26,25 in
<i>Diameter of cover plate, Dc</i>	28,75 in

Adapun bentuk rancangan dari reaktor *fixed bed multitube* (R-101) dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 Rancangan Reaktor *Fixed Bed Multitube*

Keterangan gambar:

- 1 = *Nozzle* umpan keluar
- 2 = *Nozzle* air pendingin masuk
- 3 = *Manhole*
- 4 = *Penampang tube*
- 5 = *Pengelasan*
- 6 = *Nozzle* air pendingin keluar
- 7 = *Nozzle* umpan masuk
- 8 = *Base plate*
- 9 = *Dished head*

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari pra-rancangan pabrik akrolein dari gliserol ini adalah sebagai berikut.

1. Reaktor *fixed bed multitube* didesain dengan tinggi 8,23 m dan diameter 2,39 m untuk kapasitas pabrik 36.000 ton/tahun.

2. Reaktor *fixed bed multitube* dilengkapi dengan pendingin internal berupa air pendingin.
3. Reaktor *fixed bed multitube* didesain dengan tutup dan alas jenis *torispherical flanged and standard dished head* serta penyangga berupa *lug*.

5.2 Saran

Perancangan reaktor *fixed bed multitube* sebaiknya dilakukan dengan cara perhitungan manual serta simulasi menggunakan aplikasi ASPEN PLUS, MatLab, dan lainnya untuk meningkatkan akurasi perancangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Pusat Statistik. (2018) *Perdagangan Luar Negeri* [online]. Tersedia di: bps.go.id (Diakses: 10 Oktober 2019).
- Brownell, L. E. dan Young, E. H. (1959) *Process Equipment Design: Vessel Design*. New York: John Wiley and Sons.
- Coulson, J.M. dan Richardson, J.F. (2003) *An Introduction to Chemical Engineering Design*. New York: Pergamon Press Oxford.
- Geankoplis, C. J. (1993) *Transport Processes and Unit Operation*. 3rd ed. New Jersey: Prentice-Hall International.
- Hill, C. G. dan Root, T. W. (1997) *An Introduction to Chemical Engineering Kinetics and Reactor Design*. New York: Wiley.
- Kiakalaieh, A. T. dan Amin, N. A. S. (2015) Supported Silicotungstic Acid on Zirconia Catalyst for Gas Phase Dehydration of Glycerol Acrolein, *Journal of Catalysis Today*, 256 (2), pp. 315 – 324.
- Kern, D. Q. (1965) *Process Heat Transfer*. New York: Mc Graw-Hill.
- Kirk, R. E., Othmer, D. F., Grayson, M. dan Eckroth, D. (1997) *Encyclopedia of Chemical Technology*. New York: Wiley.
- Megyesy, E.F. (1972) *Pressure Vessel Handbook*. United States of America: Pressure Vessel Publishing, Inc.
- Peter, M.S., Timmerhaus, K.D. dan West, R.E. (2003) *Plant Design and Economics for Chemical Engineers*. 5th ed. New York: McGraw-Hill Companies.
- Rase, F.H. (1977) *Chemical Reactor Design for Process Plants*. New York: John Wiley and Sons.
- Reklaitis, G. V. (1983) *Introduction to Material and Energy Balance*. New York: McGraw-Hill.
- Seider, W.D., Seader, J.D. dan Lewin, D. R. (2009). *Product and Process Design Principles: Synthesis, Analysis and Evaluation*. New York: John Wiley and Sons.
- Smith, J. M. (1981) *Chemical Engineering Kinetics*. 3rd ed. Tokyo: McGraw-Hill Book Co.
- Turton, R. (2009) *Analysis, Synthesis, and Design of Chemical Processes*. New Jersey: Upper Saddle River.
- Walas, M. S. (1988) *Chemical Process Equipment Selection and Design*. 3rd ed. London: Betterworth-Heinemann.

Yaws, C. L. (1999) *Thermodynamic and Physical Properties Data*. Singapura: McGraw-Hill.