

PENGARUH POROSITAS *PACKING STEEL WOOL* TERHADAP *PRESSURE DROP* DIDALAM *PACKED BED COLUMN* PADA DISTILASI CAMPURAN ETANOL-AMIL-ALKOHOL-AIR

Trisna Kumala Dhaniswara^{1*}, Tri Widjaja², dan Ali Altway³

Teknik Kimia, Universitas NU Sidoarjo, Sidoarjo, Indonesia^{1*}

Teknik Kimia, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia^{2,3}

*E-mail: trisnakumala.tkm@unusida.ac.id

Abstract

Inventories of petroleum fuels are increasingly depleted and will someday run out. These shortcomings can be overcome by using alternative fuels, such as ethanol. Based on this, it is necessary to research and development of ethanol as a fuel. One way is with a separation in a packed distillation column. This study aims to assess the mass transfer phenomena that occur in the process of distilling a mixture of ethanol-water-amyl alcohol packed in column. In addition, this study aims to optimize temperature and reflux to obtain the highest levels of ethanol. This research method uses packed bed distillation system with the batch process. Feed used is synthetic ethanol, water, and solvent. Solvent used were amyl alcohol. Doing distillation with heating temperature is maintained. Distillation is done in the packing of stainless steel wool. Research carried out in a batch process with a variable temperature of 79°C; 84°C; 91°C; and porosity packing 20%; 30%; 40%; 50%; 60%; 70%; 80%.

Keywords: *Ethanol, Distillation, Mass transfer, Packed bed, Reflux ratio.*

Abstrak

Persediaan bahan bakar minyak bumi semakin lama semakin menipis dan suatu saat akan habis. Kekurangan tersebut dapat diatasi dengan menggunakan bahan bakar alternatif, diantaranya adalah ethanol. Berdasarkan hal tersebut, maka diperlukan penelitian dan pengembangan ethanol sebagai bahan bakar alternatif. Salah satu cara pemisahannya adalah dengan distilasi dalam packed column. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji fenomena perpindahan massa yang terjadi pada proses distilasi campuran etanol-air-amil alkohol didalam packed column. Selain itu penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan temperatur dan refluks untuk mendapatkan kadar etanol tertinggi. Metode penelitian ini menggunakan sistem distilasi packed bed dengan proses secara batch. Feed yang digunakan adalah ethanol sintesis, air, dan solven. Solven yang digunakan yaitu amil alkohol. Melakukan distilasi dengan suhu pemanasan dijaga. Distilasi dilakukan dalam packing stainless steel wool. Penelitian dijalankan dalam proses batch dengan variabel suhu 79°C; 84°C; 91°C; dan porositas packing 20%; 30%; 40%; 50%; 60%; 70%; 80%.

Kata kunci: *Etanol, Distilasi, Perpindahan massa, Packed bed, Reflux ratio.*

1. PENDAHULUAN

Peningkatan kebutuhan energi didukung adanya pasokan energi jangka panjang secara berkesinambungan, terintegrasi, dan ramah lingkungan. Mengingat potensi sumberdaya minyak bumi dan kemampuan kapasitas

kilang di dalam negeri yang terbatas, maka perlu dicarikan bahan bakar alternatif untuk substitusi BBM. Salah satu bahan bakar alternatif yang dapat digunakan adalah gasohol. Pemakaian gasohol untuk mesin kendaraan berbahan bakar bensin mempunyai

efek positif terhadap lingkungan, karena dapat menekan emisi CO₂, CO, hidrokarbon, dan SO_x.

Bioethanol (C₂H₅OH) adalah ethanol yang bahan utamanya dari tumbuhan umumnya menggunakan proses fermentasi. Ethanol adalah bahan beroktan tinggi dan dapat menggantikan timbal sebagai peningkat nilai oktan dalam bensin dengan mencampur ethanol dengan bensin, akan mengoksidasi campuran bahan bakar sehingga dapat terbakar lebih sempurna dan mengurangi emisi gas buang (seperti karbon monoksida/CO).

Untuk mendapatkan bioethanol, perlu dilakukan pemisahan ethanol dari *broth* fermentasi. Umumnya pemisahan dilakukan dengan cara distilasi. Distilasi dapat dilaksanakan menggunakan peralatan *plate coloumn* atau *packed coloumn*. Pemakaian *plate coloumn* biasanya digunakan untuk kapasitas besar dan *packed coloumn* untuk kapasitas kecil.

Penelitian-penelitian terdahulu tentang distilasi didalam *packed bed* telah banyak dilakukan. Rix dan Oluji (1985) menemukan model efisiensi transfer massa pada *structured packing* dengan sistem etanol-air, tetapi pada penelitian ini masih mengabaikan pengaruh dari tekanan karena digunakan kondisi vakum dan *flow rate* yang rendah. Kemudian Rix dan Oluji (2008) melanjutkan penelitiannya dengan melakukan kalkulasi pada beberapa jenis *packing* yang digunakan di dalam kolom. *Packing* yang diteliti adalah *chimney trays*, *chevron type liquid collectors*, dan *liquid distributors* menggunakan sistem air-udara dengan simulasi CFD. Penelitian dilakukan dengan menggunakan program simulasi TU-Delft. Orlando dkk (2009) melakukan penelitian dengan menggunakan campuran C₈-C₁₄. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan enam korelasi HETP di literatur untuk mendapatkan distilat distilat berupa 98% C₈-C₁₁. Mira dan Diah (2012) melakukan penelitian pada skala laboratorium dengan menggunakan bahan berupa campuran etanol dari hasil fermentasi molases, *solvent* (*dodecanol* dan *octanol*), dan air. Gerry dan Lutfiah (2013) melakukan penelitian untuk dua macam *adsorbent* yaitu *silica gel* dan CaCl₂ sehingga dapat dibandingkan *adsorbent* yang memiliki kinerja yang lebih baik dengan melihat kapasitasnya.

Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Chen dkk (2006) menggunakan *random packing* sebagai *packed* dalam kolom distilasinya. Penelitian ini menghasilkan bahwa *random packing* dapat menyebabkan *foaming* pada kolom distilasi, karena *pressure drop*nya yang besar dan berdasarkan penambahan surfaktan. Sedangkan penelitian yang dilakukan oleh Antonio (1996) menjelaskan tentang mekanika fluida dan perpindahan massa pada *structured packing* pada kolom distilasi dengan sistem n-heptane. *Structured packing* yang digunakan dalam penelitian ini adalah *flexiplac*, *gempak*, *intalox*, *maxpax*, *mellapak*, dan *sulzer*. Model perpindahan massa dalam penelitian ini telah terintegrasi untuk memprediksi *liquid hold up*, penurunan tekanan, dan kapasitas *flooding* dari *structured packing* jenis logam yang bergelombang. Serta memperhitungkan tekstur dari permukaan *packing* dan kemampuan bahan permukaan ketika dalam kontak dengan berbagai jenis cairan.

Structured packing steel wool digunakan karena memiliki performa terbaik jika dibandingkan dengan *packing* lainnya pada diameter yang kecil (2-3 in), tetapi pada diameter besar penggunaan *steel wool* kurang disarankan karena akan menyebabkan *steel wool* terbawa oleh *liquid* sebab *steel wool* hanya bekerja maksimal jika disusun merata. Kelebihan lainnya pada *steel wool* adalah harganya yang cukup murah dibandingkan dengan *packing* yang lainnya. Belum banyak penelitian yang mengarah pada karakterisasi perpindahan massa dan hidrodinamikanya (*pressure drop*) untuk *packing steel wool*.

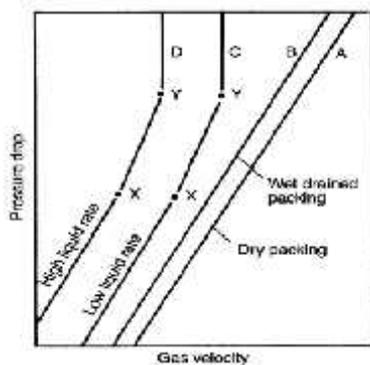
Distilasi merupakan metode pemisahan dan pemurnian yang paling banyak digunakan dalam industri kimia. Distilasi digunakan untuk memisahkan komponen di dalam larutan yang mempunyai titik didih (volatilitas) yang berbeda dan untuk larutan *partial miscible* (larut sebagian) maupun *miscible* (saling larut) menjadi komponennya masing-masing.

Pada operasi pemisahan dengan menggunakan distilasi *batch*, umpan campuran masuk kedalam peralatan dan satu atau lebih produk dapat diperoleh. Contoh yang umum adalah distilasi di laboratorium, dimana campuran liquid diisikan kedalam pot dan dipanaskan sampai mendidih. Uap yang

terbentuk secara kontinu diembunkan untuk mendapatkan distilat. Untuk mendapatkan tinggi *packing* pada distilasi ini caranya hampir sama dengan distilasi fraksinasi, namun pada distilasi *batch* terdapat dua pilihan yaitu konstan *reflux* dengan komposisi distilat yang berubah-ubah atau dengan menggunakan konstan komposisi distilat dengan *reflux* yang berubah-ubah.

Pressure Drop

Sangatlah penting memprediksi penurunan tekanan (*pressure drop*) untuk aliran dua fluida yang melewati *packed* kolom. Pada umumnya aliran gas yang terjadi didalam *pack* kolom adalah turbulen dan bentuk umum persamaan antara penurunan tekanan dan gas *flow rate* per-unit area kolom (U_G) ditunjukkan kurva A pada Gambar 1 penurunan tekanan (- P) mendekati $U_G^{1,8}$.



Gambar 1. Penurunan Tekanan dalam *Packing* Basah (*axis* dalam log)

Pada Gambar 1 menunjukkan bahwa ketika *rate* gas melebihi batas *flooding* - P akan naik lebih cepat dan sebanding dengan $U_G^{2,5}$ yang ditunjukkan oleh bagian XY pada kuva C. *Point X* merupakan *loading point* dan *point Y* merupakan *flooding point*. Jika kolom di *drain*, maka - P yang terjadi adalah kurva B. Pendekatan - P pada *packing ring* dan *grid* dari data percobaan telah diberikan oleh Morrison dan Jackson sebagai berikut:

$$-\Delta P = \frac{1}{2} N \rho_G u_G^2 l$$

Dimana:

- P = Penurunan tekanan (N/m²)
- ρ_G = Densitas gas (kg/m³)
- u_G = Kecepatan gas (m/s)

Packed Bed

Packed bed adalah salah satu jenis kolom yang populer merupakan suatu silinder

panjang, biasanya berdiri tegak dan berisi *packing* yang diam didalamnya. Bahan *Packing* merupakan media untuk memperluas bidang kontak antara fase uap dan cair sehingga transfer massa dan panas berjalan baik. Cairan mengalir melewati permukaan *packing* dalam bentuk lapisan film tipis sehingga luas bidang kontak antara fase uap dan cair makin besar. Cairan masuk dari bagian atas menara, sedangkan gas masuk dari bagian bawah menara.

Jenis *packing* yang baik harus memenuhi syarat-syarat sebagai berikut (Foust, hal. 135):

1. Harus memiliki luas permukaan per volume yang besar sehingga dapat menyediakan luas kontak yang besar.
2. Harus memiliki porositas yang besar sehingga *pressure drop* tidak tinggi.
3. Harus dapat memiliki *wetting characteristic* yang baik.
4. Tahan korosi.
5. Memiliki *bulk density* yang rendah.
6. Tidak mahal.

Banyak jenis *packing* yang telah dikembangkan. Salah satunya adalah *stainless steel wool* atau biasa disebut dengan serabut logam. Adapun karakteristik dari serabut logam seperti Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik Serabut Logam (*Steel Wool*)

Karakteristik <i>Stainless Steel Wool</i>	
Diameter	0.001 m
Surface Area	800 m ² /m ³
Surface Tension	0.075 N/m

2. METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini digunakan sebuah kolom distilasi yang dilengkapi dengan *heater*, *thermometer*, manometer, *condenser*, pompa, dan tangki penampung.

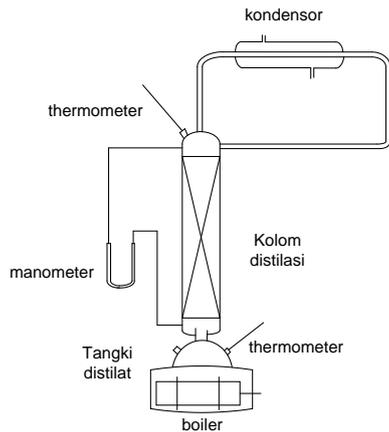
Penelitian ini dilakukan pada:

1. Tekanan 760 mmHg (atmosferik)
2. *Feed*: etanol-amil alcohol-air

Variabel penelitian:

1. Suhu = 79°C ; 84°C ; 91°C
2. Porositas dari *packing* = 20%; 30%; 40%; 50%; 60%; 70%; 80%

Secara rinci peralatan distilasi ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Skema Rangkaian Peralatan Penelitian

Tabel 2. Spesifikasi Kolom Distilasi

No	Keterangan	Ukuran
1	Diameter kolom distilasi	3 cm
2	Tinggi kolom distilasi	60 cm
3	Volum labu distilasi	1 liter

Pelaksanaan penelitian dilakukan dengan tahapan yang pertama, yaitu menyiapkan larutan campuran yang terdiri dari etanol, amil alkohol, dan air. Larutan campuran tersebut dibuat sejumlah 1000 ml dengan komposisi 15% etanol, 80% amil alkohol, dan 5% air. Kemudian memeriksa keadaan peralatan distilasi dan memastikan semua *valve* tertutup. Campuran tersebut dimasukkan kedalam labu leher tiga.

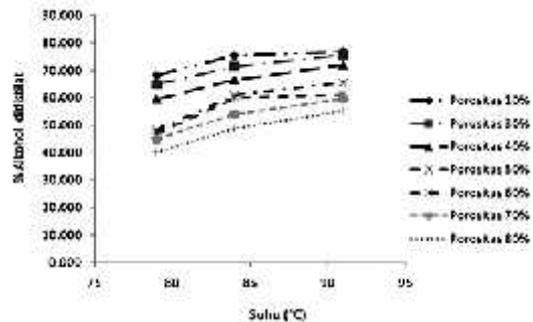
Tahap selanjutnya mengalirkan air pendingin kedalam *condenser* kemudian *hot plate* dinyalakan untuk memanasi labu leher tiga. *Knop hot plate* diatur sesuai suhu yang ditentukan. Produk yang dihasilkan lalu ditampung dan dianalisa kadarnya dengan *gas chromatography*.

Tahap terakhir melakukan langkah yang sama untuk variabel porositas *packing* dan suhu yang lain. Lalu melakukan pengukuran *pressure drop* dengan manometer dan mengolah data yang didapat dari penelitian untuk menghasilkan data yang diinginkan.

3. HASIL DAN DISKUSI

Pada penelitian ini digunakan kolom distilasi yang diisi dengan *packing* berupa *steel wool*. Variabel yang digunakan pada proses distilasi adalah suhu dan porositas *packing*. Tujuannya untuk menentukan parameter perpindahan massa. Tekanan yang digunakan selama operasi adalah 1 atm. Pada

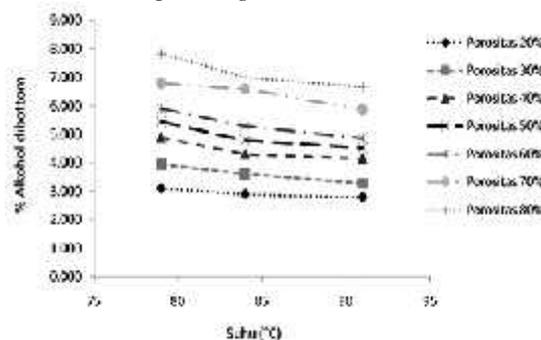
proses distilasi digunakan operasi *batch* dengan *reflux total*. Berikut ini adalah hasil dari penelitian yang telah dilakukan:



Gambar 3. Hubungan antara Kadar etanol (% vol) dengan Suhu (°C) pada Distilat di Porositas tertentu.

Dapat dilihat dalam Gambar 3 bahwa hubungan antara suhu dengan kadar etanol yang terbentuk didistilat berbanding lurus. Diantara ketiga variabel tersebut yang menghasilkan kadar etanol distilat tertinggi adalah menggunakan suhu 91°C dan pada porositas *packing* 20% sebesar 76,8071%.

Hal ini dikarenakan ketika suhu mengalami kenaikan, maka *rate* uap akan meningkat, sehingga semakin banyak etanol yang teruapkan. Dan pada % porositas yang kecil, maka kerapatan dari *packing stainless steel wool* akan semakin rapat dan semakin banyak air serta amil alkohol yang dapat ditahan oleh *packing*.



Gambar 4. Hubungan antara Kadar etanol (% vol) dan Suhu (°C) pada *Bottom* di Porositas tertentu.

Dapat dilihat dalam Gambar 4 bahwa hubungan antara suhu dengan kadar etanol yang terbentuk dibottom berbanding terbalik. Semakin tinggi suhu, maka kadar etanol dibottom yang dihasilkan semakin sedikit pada porositas yang kecil. Diantara ketiga variabel tersebut yang menghasilkan kadar etanol distilat terendah adalah dengan suhu

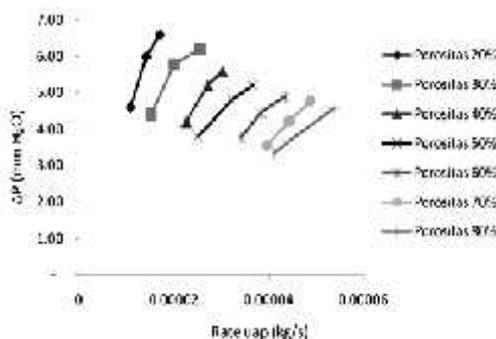
91°C dan pada porositas *packing* 20% sebesar 2,790%.

Hal ini dikarenakan ketika suhu mengalami kenaikan, maka *rate uap* akan meningkat, sehingga semakin banyak etanol yang teruapkan, maka semakin sedikit etanol yang tersisa *dibottom*. Dan pada % porositas yang kecil, maka kerapatan dari *packing stainless stell wool* akan semakin rapat dan semakin banyak air serta amil alkohol yang dapat ditahan oleh *packing*.

Selanjutnya akan dilakukan analisa terhadap *pressure drop* dari setiap variabel suhu yang menghasikan kadar etanol tertinggi.

Tabel 3. Pengaruh Porositas *Packing* terhadap *Pressure Drop*.

Porositas (%)	Suhu (°C)	Rate Uap (kg/s)	P (mmH ₂ O)
20	79	1,0802 x 10 ⁻⁵	4,60
	84	1,4052 x 10 ⁻⁵	6,00
	91	1,6957 x 10 ⁻⁵	6,60
30	79	1,5148 x 10 ⁻⁵	4,40
	84	1,9946 x 10 ⁻⁵	5,80
	91	2,5456 x 10 ⁻⁵	6,20
40	79	2,2573 x 10 ⁻⁵	4,20
	84	2,7142 x 10 ⁻⁵	5,20
	91	3,0177 x 10 ⁻⁵	5,60
50	79	2,5071 x 10 ⁻⁵	3,80
	84	3,2138 x 10 ⁻⁵	4,80
	91	3,6621 x 10 ⁻⁵	5,20
60	79	3,4083 x 10 ⁻⁵	3,78
	84	3,8263 x 10 ⁻⁵	4,44
	91	4,3395 x 10 ⁻⁵	4,89
70	79	3,9511 x 10 ⁻⁵	3,56
	84	4,428 x 10 ⁻⁵	4,22
	91	4,8752 x 10 ⁻⁵	4,78
80	79	4,1071 x 10 ⁻⁵	3,33
	84	4,6302 x 10 ⁻⁵	3,89
	91	5,3697 x 10 ⁻⁵	4,56



Gambar 5. Hubungan antara *Pressure Drop* (mm H₂O) dengan *Rate Uap* (kg/s) dan Porositas *Packing* (%)

Dari hasil penelitian didapatkan pada saat proses distilasi pada kondisi operasi

dengan suhu 79°C, 84°C, dan 91°C menghasilkan *rate uap* yang bervariasi dan pada porositas tertentu 80%; 70%; 60%; 50%; 40% 30%; dan 20%. Didapatkan pengukuran *pressure drop* terbesar sebesar 6,6 mm H₂O pada suhu operasi 91°C dan *rate uap* 0,0170 kg/s pada porositas *packing* 20%.

Dari hasil ini dikarenakan semakin tinggi kerapatan suatu *packing*, maka dapat menghasilkan *pressure drop* yang tinggi. Dan pada % porositas yang kecil yaitu 20% menghasilkan *rate uap* terkecil, sebesar 0,0107 kg/s pada suhu 91°C. Hal ini disebabkan uap yang dapat naik ke alat distilasi semakin sulit, tetapi % kadar alkohol yang dibawa semakin murni.

4. KESIMPULAN

Analisa kadar alkohol dalam penelitian ini menggunakan gas *chromatograph* (GC). Hasil dari penelitian ini menunjukkan hubungan antara suhu dan kadar etanol yang terbentuk didistilat berbanding lurus. Diantara ketiga variabel tersebut yang menghasilkan kadar etanol distilat tertinggi adalah dengan suhu 91°C dan pada porositas *packing* 20%, sebesar 76,8071%. Dan pada *bottom* yang terendah adalah dengan suhu 91°C dan pada porositas *packing* 20%, sebesar 2,790%.

Sedangkan *pressure drop* pada kondisi operasi dengan pengukuran *pressure drop* terbesar adalah sebesar 6,6 mm H₂O pada suhu operasi 91°C dan *rate uap* 0,0170 kg/s pada porositas *packing* 20%. Dari hasil ini dapat disimpulkan bahwa suhu berbanding lurus dengan *pressure drop*.

Saran

Hasil korelasi empiris beserta data *pressure drop* perlu dikaji lebih dalam agar sesuai dengan perpindahan massa yang terjadi didalam peralatan distilasi.

Penghargaan

1. Terima kasih saya ucapkan kepada Allah SWT sehingga dapat terselesainya penelitian ini.
2. Terima kasih kepada kedua orangtua, adik maupun suami yang selalu mendukung agar terus meningkatkan kemampuan saya.
3. Dan berbagai pihak yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu, saya ucapkan terima kasih.

DAFTAR PUSTAKA

- Carlo, L. D., Oluji, Ž. and Pagliant, A. (2006). *Comprehensive Mass Transfer Model for Distillation Columns Equipped with Structured Packings*, Ind. Eng. Chem. Res., 45: 7967.
- Chen, G. X., Cai, T. J., Chuang, K. T., and Afacan, A. (2006). *Foaming Effect on Random Packing Performance*. Canada: University of Alberta.
- Foust, A. S., Wenzel, L. A., Clump, C. W., Maus, L., Andersen, L. B. (1980). *Principles of Unit Operations 2nd ed.* Canada: John Wiley & Sons, Inc.
- Geankoplis C.J. (1997). *Transport Processes and Unit Operations*, 3rd Edition. US: Prentice Hall, Inc.
- Kessler, A., Moser, F. and Meier, W. (1999). *MellapakPlus: A New Generation of Structured Packings*. AIChE Annual Meeting, Dallas, TX.
- McCabe Warren L., Smith Julian C., Harriott Peter. (1993). *Unit Operation of Chemical Engineering*, 5th Edition. Singapore: Mc Graw Hill.
- Orlando A.E., Medina L.C., Mendes M.F., Nicolaiewsky E.M. (2009). *HETP Evaluation of Structured Packing Distillation Column. Brazilian Journal of Chemical Engineering*. Vol. 26, No. 03, pp. 619 – 633.
- Rix, A., Olujic, Z. (2008). *Pressure Drop of Internals for Packed Columns, Chemical Engineering and Processing*. Vol. 47, hal. 1520-1529.
- Schultes, M. (1999). *Packing Element for Use, in Particular, in Mass Transfer and/or Heat Transfer Columns or Towers*. Raschig AG, US 5.882.772.
- Seader, J. D. and Henley, E. J. (1998). *Separation Process Principles*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Sholikhah M., dan Khalimatussa'diyah. (2012). *Pemisahan Etanol dari Solvent Berbasis Alkohol dan Air dengan Proses Distilasi pada Packed Kolom dan Adsorpsi*. Skripsi, Jurusan Teknik Kimia ITS, Surabaya.
- Sinaga C., dan Damayanti A. (2010). *Optimalisasi Reflux Ratio dan Penggunaan Energi dalam Proses Distilasi Campuran Ethanol-Air*. Skripsi, Jurusan Teknik Kimia ITS, Surabaya.
- Sinawang G., dan Lutfia. (2013). *Pemisahan Campuran Etanol-Amil Alkohol-Air dengan Proses Distilasi dalam Structured Packing dan Dehidrasi Menggunakan Adsorbent*. Skripsi, Jurusan Teknik Kimia ITS, Surabaya.