



SKRIPSI – TK141581

**PEMISAHAN CAMPURAN ETANOL–OKTANOL – AIR
DENGAN PROSES DISTILASI DALAM *STRUCTURED
PACKING* DAN DEHIDRASI MENGGUNAKAN
MOLECULAR SIEVE DAN *BIO – BASED ADSORBENT*
UNTUK PRODUKSI ETANOL *FOOD GRADE***

Oleh:

Namira Adiya Tedji

NRP. 23 11 100 139

Jevon Solnaldo

NRP. 23 11 100 194

Dosen Pembimbing:

Prof. Dr. Ir. Tri Widjaja, M.Eng

NIP. 1961 10 21 1986 03 1001

**JURUSAN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2015**



FINAL PROJECT – TK141581

**SEPARATION OF ETHANOL–OCTANOL–WATER
WITH DISTILLATION PROCESS USING
STRUCTURED PACKING AND DEHYDRATION
USING MOLECULAR SIEVES AND BIO – BASED
ADSORBENTS FOR ETHANOL FOOD GRADE
PRODUCTION**

By:

Namira Adiya Tedji

NRP. 23 11 100 139

Jevon Solnaldo

NRP. 23 11 100 194

Adviser Lecturer:

Prof. Dr. Ir. Tri Widjaja, M.Eng

NIP. 1961 10 21 1986 03 1001

**DEPARTMENT OF CHEMICAL ENGINEERING
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2015**

LEMBAR PENGESAHAN

PEMISAHAN CAMPURAN ETANOL-OKTANOL-AIR DENGAN PROSES DESTILASI DALAM *STRUCTURED PACKING* DAN DEHIDRASI MENGGUNAKAN *MOLECULAR SIEVE* DAN *BIO- BASED ABSORBENT* UNTUK PRODUKSI ETANOL *FOOD GRADE*

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Sarjana Teknik pada Program Studi S-1 Jurusan Teknik Kimia
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh:

Namira Adiya Tedji

2311 100 139

Jevon Solnaldo

2311 100 194

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :


1. Prof. Dr. Ir. Tri Widjaja, M.Eng

.....(Pembimbing I)

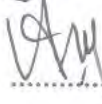
2. Prof. Dr. Ir. Arief Widjaja, M.Eng

.....(Penguji I)

3. Setiyo Gunawan, S.T., Ph.D

.....(Penguji II)

4. Dr. Lailatul Qadariyah, ST, MT

.....(Penguji III)



Surabaya, Juli 2015

ABSTRAK

Krisis energi yang terjadi di dunia pada saat ini telah mencapai tahapan yang cukup serius dimana penggunaan bahan bakar fosil begitu meningkat dan menyebabkan masalah yang cukup serius khususnya pada perubahan iklim dan cuaca. Salah satu potensi untuk mengatasi krisis energi dan masalah yang ditimbulkan oleh penggunaan energi tidak terbarukan adalah pengembangan bioetanol menggunakan metode fermentasi ekstraktif. Hasil bioetanol dari metode fermentasi ekstraktif masih rendah yaitu hanya sekitar 15%, sehingga diperlukan penelitian untuk pemurniannya. Untuk meningkatkan nilai jual dari etanol sendiri maka kualitas dari produksi etanol ini harus ditingkatkan menjadi etanol food grade. Penelitian untuk pemurnian dibagi menjadi dua bagian yaitu distilasi dengan structured packing steel wool dan dilanjutkan adsorpsi (dehidrasi). Pada bagian distilasi dilakukan evaluasi parameter Height of Packing Equivalent to a Theoretical Plate (HETP) dan pressure drop dari kolom distilasi yang digunakan untuk mendapatkan kadar etanol yang lebih tinggi. Pada bagian adsorpsi dilakukan pencarian jenis adsorbent terbaik untuk proses adsorpsi yaitu membandingkan antara bio – based adsorbent dan molecular sieve 3A. Penelitian dilakukan pada tekanan 1 atm. Distilasi dilakukan pada suhu operasi 80 °C, 85 °C, 90 °C serta reflux ratio yaitu 0.92 untuk setiap suhu operasi. Adsorpsi adalah dilakukan pada suhu operasi 120 °C serta dua macam adsorbent yaitu bio – based adsorbent berbahan dasar cassava dan molecular sieve 3A dan dilanjutkan dengan adsorpsi pemurnian etanol dari impurities dengan menggunakan activated carbon. Kadar etanol pada penelitian ini dianalisa dengan menggunakan metode analisa gas chromatography. Hasil dari penelitian pada bagian distilasi didapatkan etanol dengan kadar tertinggi pada suhu 90°C dan reflux ratio 0.92 yaitu sebesar 89.69% v/v. Pada evaluasi hasil HETP didapatkan HETP kolom untuk tiap rate uap dan reflux ratio sekitar 0.09 – 0.15 m

yang berarti sudah mendekati HETP secara teoritis yaitu 0.13 m. Pada evaluasi pressure drop tiap rate uap dan reflux ratio masih memenuhi ketentuan secara teoritis. Sedangkan pada bagian adsorpsi yang paling baik menggunakan bio based adsorbent dengan menghasilkan kadar etanol sebesar 93.61% v/v.

Kata kunci: etanol, distilasi, cassava, structured packing, reflux ratio, steel wool, adsorpsi, bio – based adsorbent , molecular sieve 3A, activated carbon

ABSTRACT

World's energy crisis nowadays has in the serious level where the using of fossil fuel increased day by day and led us into a serious problem about the world's climate and weather change. Bioethanol using fermentation-extraction method is one of potential answer to anticipate world's energy crisis because of the consumption of non - renewable energy. Ethanol produced from fermentation-extraction only has 15% v/v concentration so it needed further purification to obtain the gross product value of ethanol so the quality of ethanol should be upgrade into a food grade ethanol. This further purification consists of two sections which were distillation with structured packing steel wool and then adsorption. For distillation section, HETP and pressure drop of distillation column was evaluated to get higher ethanol concentration. For adsorption section, some of adsorbents were evaluated so it could be found which one was the best adsorbent bio – based adsorbent or molecular sieve 3A. All research will be done at 1 atmosphere pressure. Distillation section was done at temperature 80 °C, 90 °C and also at reflux ratios: 0.92 for every temperature. Adsorption section was done temperature 120 °C and also two types of adsorbents: bio – based adsorbent from cassava, and molecular sieve 3A then continue with adsorption process using activated carbon to remove all impurities that contains after distillation process. All of ethanol concentration from this research was analyzed by gas chromatography method. The result from this research, the highest ethanol concentration was from temperature 90°C and reflux ratio 0.92 which was 89.69 % v/v. From HETP evaluation, the result for every vapor rate and reflux ratio was around 0.09 – 0.15 m which was so with HETP theoretically (0.13 m), from pressure drop evaluation, the result was acceptable according to theoretical value. For adsorbent, bio based adsorbent gave the best result with ethanol concentration 93.61 % v/v.

Keywords: ethanol, distillation, cassava, structured packing, reflux ratio, steel wool, adsorpsi, bio – based adsorbent , molecular sieve 3A, activated carbon

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji syukur kehadirat Allah SWT. yang selalu melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga kami dapat menyelesaikan Laporan Skripsi kami yang berjudul **“PEMISAHAN CAMPURAN ETANOL – OKTANOL – AIR DENGAN PROSES DISTILASI DALAM *STRUCTURED PACKING* DAN DEHIDRASI MENGGUNAKAN *MOLECULAR SIEVE* DAN *BIO – BASED ADSORBENT* UNTUK PRODUKSI ETANOL *FOOD GRADE* “** tepat pada waktunya. Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan studi program Strata-1 di Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Penulis menyadari dalam penyusunan Proposal Skripsi ini tidak akan selesai tanpa bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu pada kesempatan ini kami ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Tri Widjaja, M.Eng. selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Tri Widjaja, M.Eng selaku Dosen Pembimbing Laboratorium Teknologi Biokimia, Jurusan Teknik Kimia FTI-ITS, atas bimbingan, saran, dan motivasi yang diberikan.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Arief Widjaja, M.Eng selaku Kepala Laboratorium Teknologi Biokimia, Jurusan Teknik Kimia FTI-ITS, atas bimbingan, saran, dan motivasi yang diberikan.
4. Bapak Setyo Gunawan, S.T, Ph.D selaku Koordinator Tugas Akhir dan Skripsi Jurusan Teknik Kimia FTI – ITS Surabaya.
5. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Teknik Kimia FTI – ITS Surabaya yang telah memberikan ilmunya kepada penulis.
6. Seluruh civitas akademika Jurusan Teknik Kimia FTI-ITS yang telah memberikan dukungan moril kepada penulis
7. Orang tua serta saudara-saudara kami, atas doa, bimbingan, perhatian, serta kasih sayang yang selalu tercurah selama ini.
8. Keluarga besar Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), teman-teman di Laboratorium Biokimia Jurusan Teknik Kimia FTI-ITS, atas semua dukungan, semangat, serta kerjasamanya.

Kami menyadari Laporan Skripsi ini tidak luput dari berbagai kekurangan, untuk itu penulis mengharapkan saran dan kritik demi kesempurnaan dan perbaikannya. Akhirnya laporan Proposal Skripsi ini dapat memberikan sumbangan bagi pembaca.

Surabaya, Juli 2015

Penyusun

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	i
ABSTRAK.....	ii
ABSTRACT.....	ii
KATA PENGANTAR.....	iv
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR TABEL.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
BAB I PENDAHULUAN.....	I-1
I.1 Latar Belakang.....	I-1
I.2 Perumusan Masalah.....	I-6
I.3 Batasan Masalah.....	I-6
I.4 Tujuan Penelitian.....	I-6
I.5 Manfaat Penelitian.....	I-7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	II-1
II.1 Distilasi.....	II-1
II.2 Packed Bed.....	II-2
II.3 HETP (Height of Packing Equivalent to a Theoretical Plate).....	II-3
II.4 Pressure Drop.....	II-4
II.5 Adsorpsi.....	II-5
II.6 1-Oktanol.....	II-8
II.7 Kurva Kestimbangan Etanol-2- Propanol-Air.....	II-10
II.8 Bio-based Adsorbent.....	II-12
II.9 Molecular Sieve.....	II-13
II.10 Karbon Aktif.....	II-15
II.11 Penelitian Terdahulu.....	II-15
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	III-1
III.1 Peralatan Penelitian.....	III-1
III.2 Bahan yang Digunakan.....	III-2
III.3 Variabel Penelitian.....	III-2
III.4 Prosedur Penelitian.....	III-3
III.5 Diagram Alir Penelitian.....	III-5

BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	IV-1
	IV.1 Distilasi.....	IV-1
	IV.2 Adsorpsi.....	IV-12
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN.....	V-1
	V.1 Kesimpulan.....	V-1
	V.2 Saran.....	V-1
	DAFTAR PUSTAKA.....	x
	DAFTAR NOTASI.....	xiv
	APENDIKS	

DAFTAR TABEL

Tabel I.1	Perbandingan Hasil Penggunaan <i>Packing</i>	I-4
Tabel II.1	Karakteristik Serabut Logam	II-3
Tabel II.2	Data Kurva Kesetimbangan Etanol-2-Propanol-Air	II-10
Tabel III.1	Spesifikasi Kolom Distilasi	III-2
Tabel III.2	Komposisi Feed	III-3
Tabel IV.1	<i>Properties</i> Serabut Logam	IV-4
Tabel IV.2	<i>Properties Packing</i> Serabut Logam	IV-4
Tabel IV.3	<i>Properties</i> Variabel <i>Void Fraction</i>	IV-4
Tabel IV.4	Kadar etanol dalam distilat untuk setiap <i>rate</i> up dan porositas	IV-5
Tabel IV.5	Perhitungan HETP Untuk Setiap Rate Up	IV-11
Tabel IV.6	Hasil Perhitungan <i>Pressure Drop</i> Untuk Setiap Rate Up	IV-11
Tabel IV.7	Komposisi <i>Feed</i> Untuk Adsorpsi	IV-12
Tabel IV.8	Komposisi Hasil Adsorpsi Dengan Molecular Sieve 3A	IV-13
Tabel IV.9	Komposisi Hasil Adsorpsi dengan <i>Bio Based Adsorbent</i>	IV-14

DAFTAR GAMBAR

Gambar II.1	Diagram Neraca Massa Kolom Distilasi	II-1
Gambar II.2	Kurva <i>Breakthrough Time</i>	II-5
Gambar II.3	Bentuk Umum Grafik Adsorpsi Isoterm	II-6
Gambar II.4	Kurva Kesetimbangan Cair – Cair Campuran Ethanol – 1-Oktanol – Air pada suhu 25°C dengan Metode NRTL dan UNIQUAC	II-9
Gambar II.5	Kurva Kesetimbangan Uap – Cair Campuran Ethanol – 1-Oktanol pada tekanan 1 atm dengan Metode NRTL	II-10
Gambar III.1	Skema Rangkaian Alat Distilasi	III-1
Gambar III.2	Skema Rangkaian Alat Adsorpsi	III-1
Gambar III.3	Diagram Alir Penelitian	III-7
Gambar IV.1	Komposisi Mol Etanol Untuk Poresitas 20%	IV-5
Gambar IV.2	Komposisi Mol Etanol Untuk Poresitas 40%	IV-6
Gambar IV.3	Komposisi Mol Etanol Untuk Poresitas 60%	IV-7
Gambar IV.4	Komposisi Etanol Untuk Porositas 20% ,40%, dan 60% Untuk Rate Uap Pada Suhu 80°C	IV-8
Gambar IV.5	Komposisi Etanol Untuk Porositas 20% ,40%, dan 60% Untuk Rate Uap Pada Suhu 85°C	IV-9
Gambar IV.6	Komposisi Etanol Untuk Porositas 20% ,40%, dan 60% Untuk Rate Uap Pada Suhu 90°C	IV-9
Gambar IV.7	Komposisi Hasil Adsorbsi Dengan Molecular Sieve 3A	IV-13
Gambar IV.8	Komposisi Etanol pada Hasil Adsorpsi Dengan <i>Bio-Based Adsorbent</i> Setiap 15 Menit	IV-15

DAFTAR NOTASI

Notasi	Keterangan	Satuan
λ	<i>latent heats</i>	J/g
λ_i	<i>latent heats of component i</i>	J/mol ; J/g
$c_{pl}i$	<i>heat capacity liquid of component i</i>	J/mol.K
$c_{pv}i$	<i>heat capacity vapor of component i</i>	J/mol.K
λ_{ib}	<i>latent heats vaporization of component i</i>	J/mol
T_p	suhu <i>feed</i>	°C ; K
T_{ref}	suhu referensi	°C ; K
x_i	<i>liquid volume fraction</i>	
y_i	<i>vapor volume fraction</i>	
Q	daya	J/s
m_v	massa uap	kg/s
m_{vi}	massa uap untuk komponen i	
M	berat molekul	g/mol
N	jumlah <i>plate</i>	
R	<i>reflux ratio</i>	
ε	<i>void fraction</i>	
a_p	luas area <i>packing</i> / volume <i>packing</i>	m^2/m^3
ΔL	tinggi kolom	m
ρ	densitas uap	kg/m^3
μ_m	<i>viscosity of mixture</i>	Pa.s

BAB I

PENDAHULUAN

I.1. Latar Belakang

Menurut data laporan dari *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) kenaikan suhu iklim di dunia ini sudah sangat jelas, seperti data yang didapatkan melalui hasil observasi yaitu adanya peningkatan secara signifikan konsentrasi gas - gas rumah kaca yang disebabkan oleh kegiatan manusia. Konsentrasi karbondioksida yang terdapat di atmosfer didominasi oleh gas – gas rumah kaca yang kadarnya meningkat secara signifikan dari 280 ppm menjadi 379 ppm pada tahun 2005, dan tentu hal ini disebabkan oleh kegiatan industri yang menggunakan bahan bakar utamanya adalah bahan bakar fosil.(IPCC,2007)

Secara keseluruhan penggunaan minyak bumi / petroleum di dunia sebesar 170 quadrillion (10^{15}) BTUs, dimana jumlah ini jauh lebih besar dibandingkan dengan penggunaan energi yang bersumber dari batu bara, gas bumi, nuklir, panas bumi, ataupun sumber energi lainnya. Lebih dari setengah penggunaan minyak bumi digunakan untuk penggunaan di bidang transportasi dan ini jumlah ini terus bertambah seiring dengan peningkatan kepadatan lalu lintas di seluruh dunia serta percepatan yang luar biasa di Asia. Selain itu juga dampak negatif dari global warming yang dihasilkan oleh bahan bakar fosil yaitu melambungnya harga minyak dunia serta ketergantungan ketersediaan minyak bumi terhadap kestabilan politik negara pengekspor minyak. Hal - hal inilah yang memicu pemerintah Amerika Serikat dan Uni Eropa untuk berambisi menggantikan bahan bakar konvensional dengan energi alternatif (Galbe and Zacchi, 2002; Wyman, 2007).

Salah satu bahan bakar alternatif yang diproduksi dan digunakan secara luas dewasa ini adalah ethanol. Ethanol dapat diproses dan diproduksi secara biologis yaitu melalui

reaksi fermentasi dari berbagai sumber bahan baku biomassa dan secara luas dikenal sebagai bahan bakar yang memiliki potensi dan pengaruh yang kuat baik di bidang ekonomi serta lingkungan. Dewasa ini ethanol diproduksi melalui bahan baku utama yaitu jagung dan gandum yang merupakan ethanol berbahan dasar pati / starch, dimana ethanol diproduksi secara melimpah di seluruh dunia yaitu berkisar 13 triliyun gallon pada tahun 2007 (Farrell et al.2006). Selain itu pula ethanol juga dapat diproduksi melalui bahan baku utama lignoselulosa yaitu seperti limbah kertas, kayu, dan limbah agrikultur di mana limbah ini merupakan bahan baku organik yang paling melimpah di alam.(Claassen et al.,1999)

Ethanol merupakan salah satu senyawa organik sintesis yang paling bermanfaat, di mana hal ini dikarenakan keunikan sifatnya sebagai pelarut, bahan pencegah beku / antifreeze, bahan bakar, obat depresan, serta bahan kimia intermediate sebagai pereaksi dengan senyawa organik lain. (Othmer,1981) Biasanya ethanol diproduksi dalam wujud cair baik itu melalui metode sintesis ataupun reaksi proses fermentasi. Untuk mendapatkan ethanol murni, salah satu metode konvensional untuk pemisahan campuran air dan ethanol adalah proses distilasi. Akan tetapi, hal ini tidaklah sempurna hal ini disebabkan karena pada tekanan atmosferik ethanol akan membentuk azeotrope dengan air sehingga kadar yang mungkin dicapainya yaitu sekitar 95% dengan temperatur 78,1 C (Walas,1985). Oleh karena itu metode khusus yang dilakukan untuk memecah azeotrope yaitu meliputi distilasi azeotrope ataupun distilasi - ekstraktif dimana ethylene glycol ditambahkan sebagai solvent (Treybal,1980). Selain itu juga metode khusus lain yang digunakan yaitu proses pemisahan dengan menggunakan membran yang dikenal dengan istilah pervaporasi yang mampu memecah azeotrope ethanol - air dengan menggunakan membran polyvinyl alkohol. (Cussler,1997,Choi et al.1992) Proses pervaporasi ini meliputi tahapan dimana ethanol dilewatkan dengan membran yang

memiliki kerapatan jenis yang tinggi, akan tetapi membran polimer ini sangat tidak cocok digunakan pada ethanol yang memiliki konsentrasi yang cukup rendah. (Nomura et al.,1998) Salah satu metode yang digunakan untuk memisahkan air dari ethanol adlah distilasi - adsorpsi. Adsorben yang digunakan sering juga disebut desikan yang meliputi *molecular sieve*, garam klorida, *silica gel*, dan biobased desikan.

Molecular sieve tipe A merupakan yang paling umum digunakan pada proses pemisahan azeotrop ethanol - air. Sowerby and Crittenden (1998) mempelajari tentang proses recovery ethanol dari campuran sitem ethanol - air pada keadaan azeotrope melalui proses adsorpsi dengan menggunakan packed bed dengan variasi berbagai ukuran pori dari molecular sieve tipe A. Mereka mempelajari bahwa tipe 4A berkerja lebih optimal dibandingkan dengan 3A yaitu kapasitas adsorpsinya lebih tinggi sedangkan untuk tipe 5A tidak cocok dikarenakan ukurannya yang cukup besar sehingga memungkinkan ethanol ikut teradsorps pada porinya. Akan tetapi tipe 3A lebih dipilih dibandingkan tipe 4A dikarenakan dari sisi efisiensi energinya lebih baik, dimana penggunaan energi untuk proses regenerasi lebih rendah untuk tipe 3A dibandingkan tipe 4A. (Trent,1993)

Dari penjelasan di atas maka sangat diperlukan penelitian untuk melakukan produksi ethanol . Fermentasi ethanol adalah salah satu aplikasi tertua dari bioteknologi. Namun, masalah yang didapati pada proses ini yaitu terhambatnya substrat dan juga produk ketika melakukan proses fermentasi pada konsentrasi glukosa yang cukup tinggi. Penggunaan ragi dengan toleransi ethanol tinggi dan integrasi fermentasi ekstraktif *in situ* untuk mengurangi hambatan produk akhir dapat menjadi pendekatan untuk mengatasi beberapa masalah tersebut. Menurut Minier dan Goma (1982) penerapan 1 – dodekanol sebagai pelarut untuk mengekstrak ethanol dari *broth* fermentasi. Selain itu Kollerup dan Daugulis (1985) telah melaporkan kesuksesan fermentasi

ekstraktif ethanol di mana peningkatan produktivitas tergantung pada beberapa kondisi inkubasi seperti efisiensi ekstraksi (EE) dan konsentrasi glukosa sisa.

Sebuah pelarut yang baik dipilih tidak hanya berdasarkan karakteristik menguntungkan dari segi kondisi operasi tetapi juga perlu untuk memenuhi batas biokompatibel. Wang dan Achenies (2002) memperkenalkan *Computer – Aided Molecular Design* (CAMD) untuk merancang pelarut biokompatibel untuk fermentasi ekstraktif.

Fermentasi – ekstraktif adalah teknik alternatif yang digunakan untuk mengurangi hambatan pada produk akhir dengan menghilangkan produk fermentasi *in situ*. Hal ini sangat sederhana dan bisa dengan mudah diterapkan pada skala fermentasi yang besar. (Cheng et al.2008).

Produksi dengan cara fermentatif-ekstraktif digunakan karena diharapkan dapat dihasilkan etanol dengan kadar 99%. Fermentatif-ekstraktif berarti etanol diproduksi dengan cara fermentasi suatu bahan sehingga didapatkan etanol yang kemudian dilakukan proses ekstraktif, tetapi kadar yang didapatkan dari hasil ekstraksi tersebut masih belum cukup besar sehingga dilanjutkan dengan proses distilasi dan adsorpsi.

Proses awal adalah melakukan fermentasi pada bahan yang mengandung glukosa sehingga didapatkan hasil berupa etanol. Etanol hasil fermentasi tersebut masih berupa *broth* yang dapat dikatakan masih banyak bahan pengotornya, pada *broth* ini kemudian dilakukan proses ekstraksi dengan *solvent* berbasis alkohol sehingga didapatkan etanol. Hasil ekstraksi inipun belum didapatkan kadar etanol yang tinggi sehingga diperlukan proses distilasi. Proses distilasi menghasilkan etanol yang telah terpisah dengan *solvent* dan air kemudian *solvent* dapat digunakan kembali untuk proses ekstraksi, tetapi sistem etanol-air akan membentuk azeotrop pada 78.2°C dengan komposisi 89.4% mol etanol dan 10.6% mol air sehingga dengan menggunakan distilasi biasa, tidak dapat

diperoleh etanol absolut. Kemudian agar didapatkan etanol absolut diperlukan proses adsorpsi. Adsorpsi bertujuan agar sisa air yang terdapat dalam etanol itu dapat diserap oleh *adsorbent* dan dapat dihasilkan etanol absolut.

Penelitian dilakukan dengan menggunakan sebuah *structured packing* berupa *steel wool*. *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*. Hal ini karena *steel wool* hanya bekerja maksimal jika disusun merata. Kelebihan lainnya pada *steel wool* adalah harganya yang cukup murah dibandingkan dengan *packing* lainnya. Hasil penelitian yang didapat dengan menggunakan beberapa jenis *packing*.

Tabel I.2. Perbandingan Hasil Penggunaan *Packing*

Packing	HETP
Stainless Steel Wool Scrubbers	0.13 m
Marbles (10mm diameter)	0.33 m
6mm Ceramic Raschig Rings	0.24 m
13mm Ceramic Raschig Rings	0.38 m

(www.homedistiller.org)

Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Mira dan Diyah (2012), etanol berasal dari hasil fermentasi *molasses* yang konsentrasinya tidak terlalu besar kemudian dilakukan distilasi dan adsorpsi. Hasil terbaik yang didapatkan adalah pada saat distilasi dengan menggunakan solvent oktanol dan reflux ratio sebesar 3 ml/menit yaitu sebesar 39% dan dilanjutkan pada adsorpsi pada suhu 80 °C sehingga didapatkan kadar etanol sebesar 73%. Sedangkan pada penelitian Garry dan Lutfia (2013), etanol dengan komposisi tertentu dilakukan distilasi dengan solvent amil alkohol dan dilanjutkan dengan adsorpsi. Hasil distilasi terbaik didapatkan pada variabel rate uap 4.8017×10^{-4} kg/s dan reflux ratio 0.92 yaitu 69.43% dan dilanjutkan dengan adsorpsi didapatkan

kadar tertinggi sebesar 81.23% menggunakan adsorbent molecular sieve. Dari hasil tersebut maka diperlukan penelitian lebih lanjut untuk mendapatkan hasil yang optimal. Penelitian selanjutnya adalah mencari HETP minimum dan *pressure drop* yang tidak terlalu besar, dan dilanjutkan dengan adsorpsi yaitu mencari variasi adsorbent lain selain *molecular sieve 3A* yang dapat digunakan sebagai adsorbent yang optimal.

I.2. Perumusan Masalah

Dari penelitian sebelumnya Yuliana dan Aniendia (2014), diperoleh kadar etanol dalam distilat sebesar 51,26% dan kadar etanol setelah adsorpsi sebesar 88,37 %. Kadar ini masih tergolong kecil dan belum dapat dikategorikan sebagai etanol *food grade* sehingga diperlukan evaluasi untuk parameter HETP dan *pressure drop* dari kolom tersebut. Etanol yang diharapkan adalah 95% volume sehingga pada proses adsorpsi perlu dilakukan penelitian pada jenis *adsorbent*. Penelitian dilakukan untuk dua macam *adsorbent* yaitu *molecular sieve 3A* dan *bio-based cassava adsorbent* sehingga dapat dibandingkan *adsorbent* manakah yang memiliki kinerja yang lebih baik dengan melihat kapasitasnya.

I.3. Batasan Masalah

Penelitian kali ini menggunakan distilasi dengan *structured packing* berupa *steel wool* dilanjutkan dengan adsorpsi (dehidrasi). Tekanan yang digunakan adalah 1 atm. Variabel pada penelitian ini yaitu pada bagian distilasi adalah *rate* uap dan porositas *packed bed* sementara pada bagian adsorpsi adalah jenis *adsorbent*

I.4. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mendapatkan kadar etanol yang tinggi dengan cara mengubah variasi porositas bed.

2. Mendapatkan parameter HETP untuk kolom distilasi.
3. Mendapatkan pilihan *adsorbent* yang baik untuk proses adsorpsi.

I.5. Manfaat Penelitian

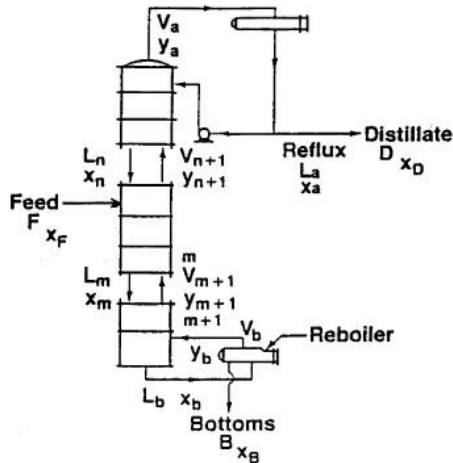
Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menghasilkan parameter optimal (HETP dan *pressure drop*) yang dibutuhkan untuk peralatan distilasi sehingga dapat menghasilkan etanol dengan kadar yang tinggi.
2. Mendapatkan pilihan *adsorbent* yang lebih baik dari hasil membandingkan penggunaan dua jenis *adsorbent* (*molecular sieve 3A* dan *bio-based cassava adsorbent*).

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

II.1. Distilasi

Etanol yang berasal dari hasil fermentasi diproses lagi dengan menggunakan proses distilasi untuk menghasilkan kemurnian kadar etanol yang lebih tinggi. 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 yang berbeda dan untuk larutan yang *miscible* (saling larut) dan *volatile* menjadi komponennya masing - masing.



Gambar II.1. Diagram Neraca Massa Kolom Distilasi

Gambar II.1. menunjukkan diagram neraca massa untuk tipe distilasi kontinu. Kolom dialiri feed F mol/jam dengan konsentrasi x_f menghasilkan D mol/jam produk *overhead* dengan konsentrasi x_d dan B mol/jam produk *bottom* dengan konsentrasi x_b . Neraca massa total :

$$F = D + B \quad 2.1$$

dan neraca massa komponen,

$$F x_f = D x_d + B x_b \quad 2.2$$

(McCabe, hal. 670)

Selanjutnya untuk menghitung neraca energi untuk keseluruhan sistem menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$F \times H_F + q_r = D \times H_D + B \times H_B + q_c \quad 2.3$$

(McCabe, hal. 695)

II.2.Packed Bed

Packed bed adalah salah satu jenis kolom yang merupakan suatu silinder panjang, biasanya berdiri tegak dan berisi *packing* 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.

Porositas adalah kerapatan dari suatu *packing*. Semakin kecil nilai porositas maka semakin rapat pula *packing* itu dan sebaliknya. Semakin kecil nilai porositas maka semakin besar luas kontakannya. Luas kontak mempengaruhi kadar zat yang akan dihasilkan. Semakin besar luas kontak maka kadar zat yang dihasilkan juga semakin besar.

Jenis *packing* yang baik harus memenuhi syarat-syarat sebagai berikut :

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.

(Foust, hal. 135)

Banyak jenis *packing* yang telah dikembangkan. Salah satunya adalah *stainless steel wool* atau biasa disebut dengan serabut logam. Adapun karakteristik dari serabut logam adalah sebagai berikut :

Tabel II.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

(Treybal, hal 227)

Untuk mengetahui tinggi *packing* yang harus digunakan untuk menghasilkan produk dengan komposisi sama dengan satu *plate* teoritis pada menara bertingkat digunakan istilah HETP (*Height of Packing Equivalent to a Theoretical Plate*). Variabel-variabel yang mempengaruhi HETP antara lain :

1. Tipe dan ukuran *packing*.
2. Kecepatan aliran masing – masing fluida.
3. Konsentrasi fluida.
4. Diameter menara.
5. Sifat fisis bahan yang difraksinasi.
6. Perbandingan diameter menara dan diameter *packing*.
7. Koefisien penyebaran atau distribusi cairan.

(Treybal, hal 227)

II.3. *Height of Packing Equivalent to a Theoretical Plate (HETP)*

Performa *packed coloumns* untuk distilasi atau absorpsi sering dinyatakan dengan *Height of Packing Equivalent to a Theoretical Plate* (HETP). Berdasarkan *Fenske Equation*, N_{min} bisa dihitung menggunakan persamaan di bawah ini:

$$N_{min} = \frac{\log \left[\left(\frac{x_{LK,D}}{x_{LK,F}} \right) \left(\frac{x_{HK,F}}{x_{HK,D}} \right) \right]}{\log \alpha_{LK, HK}} \quad 2.4$$

dimana

$$\alpha_{LK, HK} = \frac{y_{LK}/x_{LK}}{y_{HK}/x_{HK}} \quad 2.5$$

(Seader, hal.362)

Nilai q didapatkan dari persamaan:

$$q = \frac{(H_V - H_L) + c_{pL}(T_B - T_F)}{H_V - H_L} \quad 2.6$$

q disubstitusi ke persamaan di bawah ini untuk mendapatkan \square :

$$1 - q = \sum \frac{\alpha_{i,HK} x_{Fi}}{\alpha_{i,HK} - \varphi} \quad 2.7$$

dengan memasukkan nilai α ,

$$\alpha_{i,HK} = \frac{y_i/x_i}{y_{HK}/x_{HK}} \quad 2.8$$

lalu untuk mendapatkan R_{\min} menggunakan *Underwood Equation*:

$$R_{\min} + 1 = \sum \frac{\alpha_{i,HK} x_{Di}}{\alpha_{i,HK} - \varphi} \quad 2.9$$

(Seader, hal. 365)

Selanjutnya mensubstitusi nilai R_{\min} untuk mencari nilai X menggunakan *Gilliland Equation*

$$X = \frac{R - R_{\min}}{R + 1} \quad 2.10$$

Untuk mencari N dapat menggunakan persamaan di bawah ini:

$$\frac{N - N_{\min}}{N + 1} = 1 - \exp \left[\left(\frac{1 + 54.4X}{11 + 117.2X} \right) \left(\frac{X - 1}{X^{0.5}} \right) \right] \quad 2.11$$

(Seader, hal. 368)

II.4. Pressure Drop

Pressure drop adalah penurunan tekanan dari satu titik dengan satu titik lainnya pada pipa atau kolom. Penurunan tekanan terjadi dengan gaya gesek pada fluida yang mengalir. Gaya gesek ini disebabkan oleh tahanan terhadap aliran fluida. Penentu utama tahanan terhadap aliran fluida adalah kecepatan fluida.

Pada *packed bed* persamaan *pressure drop* dapat dihitung menggunakan korelasi Ergun. Persamaan Ergun bisa digunakan secara umum untuk bilangan Reynolds rendah, *intermediate*, dan tinggi.

$$\frac{\Delta p \rho D_p \varepsilon^3}{(G')^2 \Delta L (1-\varepsilon)} = \frac{150}{N_{Re,p}} + 1.75 \quad 2.12$$

(Geankoplis, hal. 118)

Perhitungan laju alir (flow) dari sebuah fluida melalui media yang sifatnya berlubang (porous) dapat diperhitungkan melalui korelasi persamaan Ergun. Pada percobaan yang dilakukan oleh Ergun perhitungan dilakukan dengan menggunakan *packed column* serta *fluidized bed* dengan mempertimbangkan beberapa faktor yaitu 1.model dari fenomena aliran, 2.model yang didasarkan pada bentuk atau pola aliran yang meliputi geometri dari bed atau packing pada kolom, 3.model persamaan menggunakan hukum Navier - Stokes.

Percobaan ini meliputi juga studi tentang kinetika dari reaksi heterogen bahkan juga untuk suhu yang cukup tinggi dimana terjadinya proses reaksi eksotermis dan yang terpenting pada penelitian ini adalah untuk mengetahui kecepatan laju alir dari fluida serta interpretasi dari data yang dihasilkan untuk mendapatkan persamaan untuk menghitung koreksi yang terjadi pada volume di bed serta ketidakseragaman kontak antara partikel gas dan solid. Percobaan ini dilakukan menggunakan fixed bed dimana packed bed yang diletakkan secara acak pada packed kolom seperti yang digunakan pada proses absorpsi, ekstraksi, distilasi, ataupun juga reaksi katalitik.

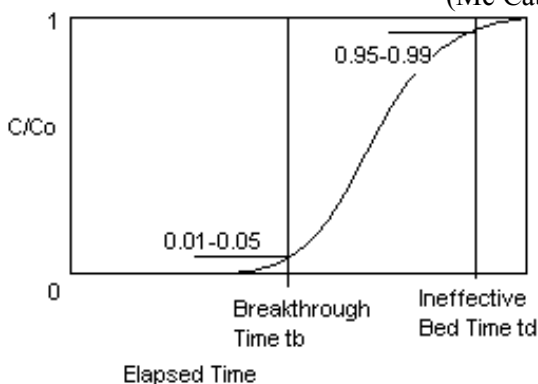
(Ergun and Orning, 1952)

II.5. Adsorpsi

Pada beberapa proses pemisahan campuran gas atau cairan, fluida dikontakkan dengan partikel padat dan bulat yang selektif menyerap (*adsorb*) komponen tertentu dalam *feed*. Dalam proses adsorpsi, padatan tersebut biasanya diletakkan dalam sebuah *fixed bed*, kemudian fluida dialirkan melewati *bed* hingga padatan

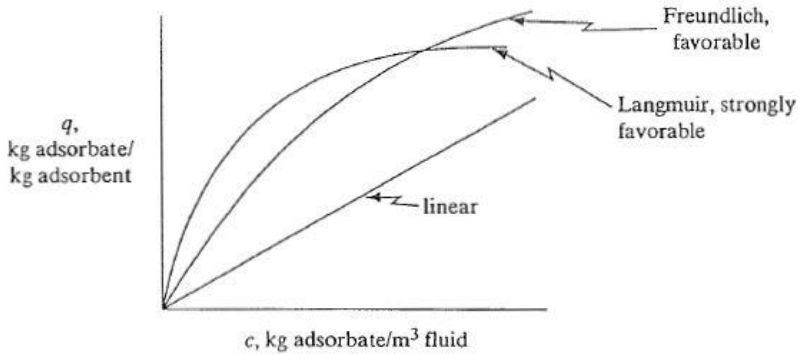
tersebut hampir jenuh (*saturated*). Desain *adsorber* untuk pemurnian gas dan cairan meliputi pemilihan *adsorbent* dan ukuran partikel, seleksi kecepatan aliran melewati area *bed*, serta menentukan tinggi *bed* untuk *cycle time* yang telah ditentukan atau menghitung *breakthrough time* (Gambar II.2) untuk tinggi *bed* yang telah ditentukan. Kurva *breakthrough* merupakan evolusi/perubahan konsentrasi larutan dalam fungsi parameter adsorpsi seperti waktu kontak antara fasa cair dan padat, konsentrasi pelarut dan temperatur.

(Mc Cabe, hal. 836)



Gambar II.2 Kurva *Breakthrough Time*

Kesetimbangan antara konsentrasi pelarut dalam suatu fase cair dengan konsentrasi pada solidnya sedikit menyerupai kesetimbangan pada kelarutan gas dalam liquid. Data di-*plot* sebagai adsorpsi isoterm seperti terlihat pada Gambar II.3. Konsentrasi pada fase padat ditunjukkan dengan nilai q , kg adsorbate(solute)/kg adsorbent, dan pada fase fluida (gas ataupun liquid) ditunjukkan dengan c , kg adsorbate/ m^3 fluid.



Gambar II.3 Bentuk Umum Grafik Adsorpsi Isoterm

Data yang mengikuti hukum linear dapat diekspresikan dengan pendekatan terhadap Hukum Henry.

$$q = Kc \quad 2.13$$

Dimana nilai K adalah konstan dan didapatkan dari hasil eksperimen, m^3/kg adsorbent. Garis linear ini tidaklah umum, namun pada daerah konsentrasi rendah dapat didekati dengan banyak sistem.

Persamaan *Freundlich Isotherm*, dimana secara empiris, sering kali mendekati data untuk banyak sistem adsorpsi secara fisik dan terutama untuk liquida.

$$q = Kc^n \quad 2.14$$

Dimana nilai K dan n adalah konstant dan harus ditentukan secara eksperimen. Apabila dibuat plot data log-log antara q dengan c , nilai slope menjadi eksponen tak berdimensi n . Dimensi dari K bergantung pada nilai dari n . Persamaan ini terkadang digunakan untuk data gas hidrokarbon pada karbon aktif.

Adsorpsi secara *batch* sering kali digunakan untuk mengadsorb pelarut dari larutan cair dimana jumlahnya sedikit. Dalam banyak proses, hubungan kesetimbangan seperti Freundlich ataupun Langmuir isoterm dan neraca komponen dibutuhkan. Konsentrasi awal dari larutan adalah C_F dan konsentrasi akhirnya adalah c . Kemudian, konsentrasi awal dari

pelarut yang teradsorb pada padatan adalah q_F dan kesetimbangan akhirnya adalah q . Neraca komponen pada adsorbate adalah

$$q_F M + c_F S = q M + c S \quad 2.15$$

Dimana M adalah banyaknya adsorbent, kg. Dan S adalah volume dari larutan yang masuk, m^3 .

Untuk menghitung kapasitas kolom adsorpsi menggunakan data yang didapatkan dari kurva *breakthrough time* dimana menggunakan persamaan untuk mencari waktu equivalent untuk kapasitas total (t_t) dan waktu equivalent untuk kapasitas yang digunakan ketika konsentrasi dari *effluent* mencapai level maksimum. (t_u) :

$$t_t = \int_0^{\infty} \left(1 - \frac{c}{c_0}\right) dt \quad 2.16$$

$$t_u = \int_0^{t_b} \left(1 - \frac{c}{c_0}\right) dt \quad 2.17$$

Untuk mencari tinggi dari bed maka mencari nilai dari tinggi total bed (H_T), tinggi bed yang digunakan hingga mencapai break point (H_B) dan tinggi bed yang tidak terpakai (H_{UNB}) dengan persamaan :

$$H_B = \frac{t_u}{t_t} H_T \quad 2.18$$

$$H_{UNB} = \left(1 - \frac{t_u}{t_t}\right) H_T \quad 2.17$$

$$H_T = H_{UNB} + H_B \quad 2.18$$

(Geankoplis, hal 766-767)

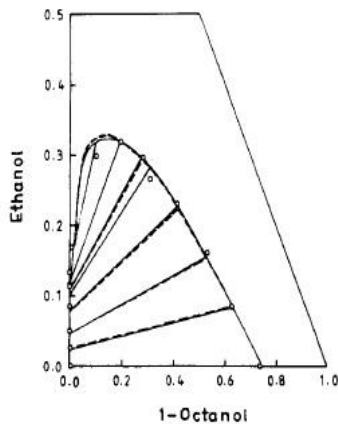
II.6. 1-Oktanol

Salah satu jenis alkohol yang digunakan sebagai pelarut adalah 1-oktanol. Properti fisik dan kimia 1-oktanol antara lain :

Rumus Molekul:	$C_8-H_{17}-OH$
Bentuk	: liquid
Berat Molekul	: 130.23 g/mol

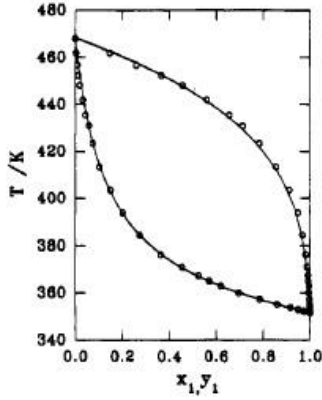
Warna : jernih tak berwarna
 Titik Didih : 194.5°C (382.1°F)
 Titik Leleh : -16.5°C (2.3°F)
 Specific Gravity : 0.827 (Air = 1)
 Kelarutan : tidak larut dalam air dingin

(www.sciencelab.com)



Gambar II.4. Kurva Kestimbangan Cair – Cair Campuran Ethanol – 1-Oktanol – Air pada suhu 25°C dengan Metode NRTL dan UNIQUAC

(Arce et al., 1994)



Gambar II.5 Kurva Kestimbangan Uap – Cair Campuran Ethanol – 1-Oktanol pada tekanan 1 atm dengan Metode NRTL (Arce et al., 1995)

II.7. Kurva Kestimbangan Etanol-2-Propanol-Air

Tabel II.2 Data Kurva Kestimbangan Etanol-2-Propanol-Air

T [K]	x_1 [mol/mol]	x_2 [mol/mol]	y_1 [mol/mol]	y_2 [mol/mol]
361.85	0.04820	0.94240	0.26350	0.65720
357.15	0.14710	0.84310	0.45930	0.50370
355.05	0.29690	0.69330	0.53510	0.44100
353.55	0.44760	0.54250	0.61070	0.37450
352.55	0.59590	0.39410	0.68180	0.30660
351.75	0.85060	0.13940	0.85120	0.14030
357.95	0.04870	0.90300	0.19240	0.53900
355.65	0.14770	0.80340	0.37380	0.46670

354.4 5	0.29740	0.65310	0.48180	0.42920
353.3 5	0.44790	0.50230	0.57070	0.36450
352.2 5	0.59890	0.35120	0.65260	0.28680
351.8 5	0.82620	0.12520	0.82160	0.12640
354.5 5	0.04960	0.80290	0.10800	0.44580
354.1 5	0.14830	0.70330	0.27840	0.42620
353.0 5	0.29850	0.55250	0.38860	0.39990
352.1 5	0.44910	0.40250	0.49770	0.32440
351.5 5	0.59990	0.25020	0.61000	0.23480
353.6 5	0.05020	0.65270	0.07460	0.42230
353.2 5	0.15030	0.55220	0.18450	0.38780
352.4 5	0.29920	0.40110	0.33700	0.33740
351.9 5	0.44990	0.25020	0.46190	0.25010
351.8 5	0.59990	0.09960	0.59820	0.12660
352.7 5	0.09970	0.40230	0.11040	0.36100
352.6 5	0.15010	0.35030	0.16440	0.33140
352.5 5	0.30070	0.19940	0.30210	0.22570
353.0	0.09060	0.19900	0.11140	0.23370

5				
352.9	0.15020	0.14890	0.16220	0.18710
5				

(Sumber :<http://www.ddbst.com/>)

II.7. *Bio – Based Cassava Adsorbent*

Bio – based adsorbent atau sering juga disebut *bio – based dessicants* merupakan *adsorbent* yang merupakan berbahan dasar selulosa dan pati dan memiliki kemampuan untuk menyerap air dan memisahkannya dari bahan baku organik (Ladisich,1997). Kemampuan yang dimiliki oleh pati dan selulosa untuk mampu secara selektif untuk mengadsorpsi air disebabkan oleh adanya interaksi secara kimia oleh ikatan hidrogen antara gugus hidroksil (-OH) pada senyawa monomer glukosa dan berikatan dengan molekul air. Air sendiri di alam merupakan senyawa yang lebih polar dibandingkan dengan senyawa organik seperti alkohol oleh karena itu interaksi gugus hidroksil dari senyawa monomer glukosa yang terdapat di *bio – based adsorbent* ini yang menyebabkan air mampu berikatan dengannya. (Beery and Ladisich, 2001). Seperti yang telah diteliti oleh Ladisich dan Dyck (1979) menunjukkan proses pemisahan campuran etanol – air pada fasa uap dimana menggunakan *adsorbent* berbahan dasar jagung, pati, dan carboxymethyl cellulose dimana energi yang dibutuhkan lebih baik dibandingkan menggunakan CaO dan NaOH. Dimana total energi yang dikonsumsi untuk proses pengeringan etanol dengan menggunakan CaO yaitu sebesar 3669 kJ/kg sementara untuk menggunakan selulosa hanya sebesar 2873 kJ/kg. (Ladisich and Dyck,1979). Keuntungan lainnya yaitu bahwa proses adsorpsi dengan menggunakan *bio – based adsorbent* ini lebih hemat energi dibandingkan dengan proses distilasi azeotrop serta *bio – based adsorbent* ini sendiri merupakan bahan yang ramah lingkungan dimana memiliki sifat *biodegradeable* serta bersumber dari bahan baku yang dapat diperbaharui.(Lee and Ladisich,1987). Bahan baku pembuatan *bio – based adsorbent* ini sendiri bersumber dari berbagai jenis

biomassa, beberapa contoh yang telah digunakan antara lain adalah pati dari kentang, amilosa, pati jagung, batang palem dan oak, potongan batang kayu oak, batang jagung, serbuk gandum, dan cassava. (Lee et al., 1991; Neuman et al., 1986; Bienkowski, 1986; Ladisch et al., 1993; Han et al., 2009; Vareli et al., 2000). Salah satu proses pembuatan dari *bio – based adsorbent* ini dengan berbahan dasar batang jagung yaitu batang jagung mula – mula dipotong menjadi ukuran kecil kemudian dicuci dengan menggunakan aquades lalu dikeringkan dengan menggunakan *packed bed* menggunakan gas nitrogen pada suhu 90 °C selama 6 jam. Hal ini dilakukan untuk mencegah terjadinya proses degradasi secara biologis pada polisakarida di batang jagung. Kemudian batang jagung yang telah diproses tersebut disimpan dalam sebuah wadah yang diberi dengan *silica gel*. (Westgate and Ladisch, 1993).

II.8. *Molecular Sieve*

Molecular sieve adalah unit material yang memiliki pori-pori kecil/halus dimana ukurannya sudah sangat terstandarisasi dan seragam. Pori-pori tersebut dapat dengan selektif "melanjutkan" atau "menangkap" molekul-molekul yang lewat berdasarkan besar-kecilnya ukuran molekul. Atas cara kerjanya tersebut material ini sering disebut sebagai *desiccant*. Kemampuan *molecular sieve* ini dalam menangkap molekul H₂O cukup tinggi, yaitu sampai 20-25% dari berat *molecular sieve* itu sendiri. Seperti *glycol*, dan *amine*, *molecular sieve* ini juga bisa diregenerasi dengan metode pemanasan dan *purging*.

Salah satu teknologi konvensional yang umum digunakan dari proses dehidrasi campuran etanol – air dengan metode adsorpsi adalah menggunakan *molecular sieve* 3 Å. *Molecular sieve* 3 Å memiliki keuntungan berupa mikropori yang memiliki ukuran sangat kecil sehingga molekul etanol tidak mampu masuk ke dalamnya sementara untuk molekul air dapat diadsorpsi secara mudah tanpa hambatan pada fasa cair karena ukuran molekul air

yang mendekati dengan ukuran porinya yaitu 3 Å. (Wah Koon Teo, 1986)

Molecular sieve berdasarkan kemampuan adsorpsinya terbagi atas:

1. 3A (*pore size* 3 Å): mengadsorpsi NH_3 , H_2O , baik untuk pengeringan cairan polar.
2. 4A (*pore size* 4 Å): mengadsorpsi H_2O , CO_2 , SO_2 , H_2S , C_2H_4 , C_2H_6 , C_3H_6 . Tidak akan menyerap C_3H_8 dan hidrokarbon yang lebih tinggi. Baik untuk pengeringan cairan dan gas nonpolar.
3. 5A (*pore size* 5 Å): mengadsorpsi normal (linear) hidrokarbon untuk $n\text{C}_4\text{H}_{10}$, alkohol ke $\text{C}_4\text{H}_9\text{OH}$, mercaptans ke $\text{C}_4\text{H}_9\text{SH}$. Tidak akan menyerap *isocompounds* atau cincin lebih besar dari C_4 .
4. 10x (*pore size* 8 Å): mengadsorpsi bercabang hidrokarbon dan aromatik. Berguna untuk pengeringan gas.
5. 13X (*pore size* 10 Å): mengadsorpsi di-n-butylamine (bukan tri-n-butylamine). Berguna untuk pengeringan HMPA.

(www.deltaadsorbents.com)

Proses regenerasi dari molecular sieve dilakukan dengan cara memanaskan dan melakukan proses purging pada rentang suhu 120 - 260 °C. Proses ini dapat dipermudah dengan menurunkan tekanan menjadi vakum ataupun juga diberi carrier gas yang membantu mempercepat proses penghilangan dari adsorbate. Setelah melakukan proses regenerasi proses pendinginan dilakukan dengan cara mengatur suhu ruangan mencapai 15 °C dan serta menggunakan proses drying dengan mengalirkan gas inert pada bed kemudian dilanjutkan dengan disimpan pada wadah yang tertutup rapat serta diberi dengan desikator.

(www.sigmaldrich.com)

II.9. Karbon Aktif

Arang aktif mempunyai warna hitam, tidak berbau dan tidak berbau, berbentuk bubuk dan granular, mempunyai daya serap yang jauh lebih besar dibandingkan dengan arang yang belum mengalami proses aktivasi, mempunyai bentuk amorf yang terdiri dari plat-plat dasar dan disusun oleh atom-atom karbon C yang terikat secara kovalen dalam suatu kisi yang heksagon. Plat-plat ini bertumpuk satu sama lain membentuk kristal-kristal dengan sisa-sisa hidrokarbon yang tertinggal pada permukaan. Dengan menghilangkan hidrokarbon tersebut melalui proses aktivasi, akan didapatkan suatu arang atau karbon yang membentuk struktur jaringan yang sangat halus atau porous sehingga permukaan adsorpsi atau penyerapan yang besar dimana luas permukaan adsorpsi dapat mencapai 300-3500 cm²/gram.

Sifat arang aktif yang paling penting adalah daya serap. Untuk menghilangkan bahan-bahan terlarut dalam air, biasa menggunakan arang aktif dengan mengubah sifat permukaan partikel karbon melalui proses oksidasi. Partikel ini akan menyerap bahan-bahan organik dan akan terakumulasi pada bidang permukaannya. Pada umumnya ion organik dapat diturunkan dengan arang aktif. (Yang and Xin, 2010)

II.10. Penelitian Terdahulu

Beberapa penelitian terdahulu yang dapat dijadikan sebagai acuan untuk referensi adalah :

No.	Nama Peneliti	Tahun	Uraian
1.	Rix dan Olujić	1985	Memukan model efisiensi transfer massa pada <i>structured packing</i> , tetapi pada penelitian ini masih mengabaikan pengaruh dari tekanan karena digunakan kondisi vakum dan <i>flow rate</i> yang rendah

2.	Rix dan Olujić	2008	Melakukan kalkulasi pada beberapa jenis <i>packing</i> yang digunakan di dalam kolom. <i>Packing</i> yang diteliti adalah <i>chimney trays</i> , <i>Chevron type liquid collectors</i> , dan <i>liquid distributors</i> .
3.	Orlando Jr. dkk	2009	Melakukan penelitian dengan menggunakan campuran C ₈ -C ₁₄ . Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan enam korelasi HETP di literatur untuk mendapatkan distilat distilat berupa 98% C ₈ -C ₁₁
4.	Mira dan Diyah	2012	Melakukan penelitian pada skala laboratorium dengan menggunakan bahan berupa campuran etanol dari hasil fermentasi molases, <i>solvent (dodecanol dan octanol)</i> , air.
5.	Gerry dan Lutfiah	2013	Penelitian dilakukan untuk tiga macam <i>adsorbent</i> yaitu <i>silica gel</i> dan CaCl ₂ sehingga dapat dibandingkan <i>adsorbent</i> manakah yang memiliki kinerja yang lebih baik dengan melihat kapasitasnya serta melakukan analisa pada pemilihan pelarut amil – alcohol.
6	Adesya dan Rahmatunnisa	2014	Penelitian dilakukan untuk dua macam <i>adsorbent</i> yaitu <i>silica gel</i> dan <i>molecular sieve</i> dan membandingkan kinerja <i>adsorbent</i> serta mengevaluasi porositas <i>packed bed</i> pada

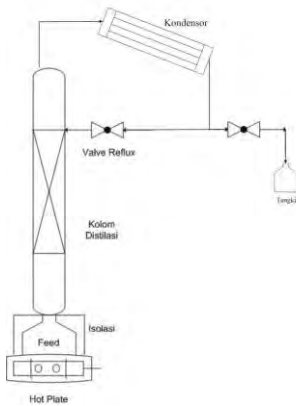
			kolom distilasi serta melakukan analisa pada pemilihan pelarut 1-oktanol
7	Aniendia dan Yuliana	2014	Penelitian dilakukan untuk proses pembuatan etanol <i>food grade</i> dimana melakukan proses fermentasi molasses dari sorghum dengan bakteri <i>Zymomonas mobilis</i> disertai distilasi dan adsorpsi menggunakan <i>molecular sieve</i> dilanjutkan dengan karbon aktif .

Berdasarkan hasil penelitian – penelitian terdahulu maka akan diperlukan penelitian lebih lanjut mengenai distilasi dan adsorpsi terutama pada parameter kolom distilasi dan jenis *adsorbent* sehingga didapatkan etanol yang tinggi.

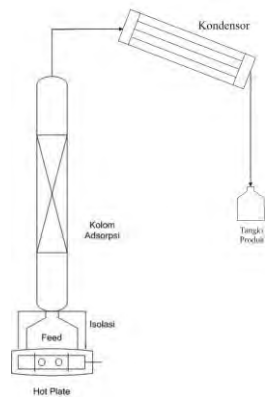
BAB III METODOLOGI PENELITIAN

III.1. Peralatan Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Teknologi Biokimia menggunakan sebuah kolom distilasi yang dilengkapi dengan *heater*, termometer, kondensor, tangki penampung dan *adsorber*. Kolom distilasi yang digunakan adalah tipe *packed bed* dengan bed berupa *steel wool*. *Adsorber* yang digunakan adalah *adsorber* tipe *fixed-bed* dengan adsorbent berupa *molecular sieve 3A*. Secara rinci peralatan distilasi dan adsorpsi ditunjukkan dalam gambar III.1 dan gambar III.2.



Gambar III.1. Skema Rangkaian
Alat Distilasi



Gambar III.2. Skema Rangkaian
Alat Adsorpsi

Tabel III.1. Spesifikasi Kolom Distilasi

No	Keterangan	Ukuran
1	Diameter kolom distilasi	4 cm
2	Tinggi kolom distilasi	120 cm
3	Volume labu distilasi	1000 ml
4	Volume labu adsorpsi	1000 ml
5	Diameter kolom adsorpsi	4 cm
6	Tinggi kolom adsorpsi	30 cm

III.2. Bahan yang Digunakan

Bahan – bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah :

1. Etanol (Merck)
2. Isopropyl Alkohol
3. Aquadest
4. Tepung tapioka
5. H_2SO_4 0.1 M
6. *Molecular Sieves 3A*

III.3. Variabel Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada :

1. Tekanan 760 mmHg (atmosferik)
2. Feed: Ethanol hasil fermentasi dengan kadar sebagai berikut :

Tabel III.2 Komposisi Feed

No	Komponen	Kadar (fraksi massa)
1	Ethanol	0.0585461
2	Isopropyl Alcohol	0.1023184
3	water	0.8359315
4	Acetic Acid	0.0007367
5	Amyl Alcohol	0.0001533
6	Octanol	0.002314
Total		1

Variabel penelitian :

Distilasi dan Adsorpsi

1. Suhu (*rate uap*) : 80, 85, dan 90 °C
2. Porositas dari *packing* (20% , 40% dan 60%)
3. *Reflux ratio* ($\frac{\text{rate reflux}}{\text{rate distilat}}$) : 0.92
4. Jenis *adsorbent* : *molecular sieve 3A* dan *bio – based adsorbent*

III.4. Prosedur Penelitian

Proses Pembuatan *Bio – Based Cassava Adsorbent*

1. Menyiapkan pati yang didapat dari tepung tapioka.
2. Menimbang berat tepung sebesar 5 gram
3. Memanaskan air sampai suhu 90 °C
4. Memasukkan tepung sedikit demi sedikit kedalam air 90 °C sambil diaduk.
5. Teteskan 4 mL larutan H₂SO₄ 0,1 M ke dalam larutan tersebut.
6. Memasukkan 75 gram tepung tapioka sedikit demi sedikit sambil terus diaduk sampai menjadi pasta.

7. Mencetak pasta menjadi bentuk yang seragam kemudian letakkan pasta ke dalam oven bersuhu 60 °C selama 20 menit.
8. Ulangi langkah diatas sampai jumlah adsorbent mencukupi.

Distilasi

1. Menyiapkan larutan campuran yang terdiri dari etanol, oktanol, dan air.
2. Memeriksa keadaan peralatan distilasi diperiksa dan dipastikan semua *valve* tertutup.
3. Lalu labu leher dua diisi dengan larutan campuran.
4. Mengalirkan air pendingin ke dalam *condenser*. Lalu *hot plate* dinyalakan untuk memanasi labu leher dua.
5. Mengatur suhu *hot plate* untuk mencapai *rate* uap yang ditentukan.
6. Produk yang dihasilkan lalu ditampung untuk kemudian dianalisa.
7. Melakukan langkah yang sama untuk variabel porositas *packing*, dan *rate* uap yang lain.
9. Melakukan pengukuran *pressure drop* dengan manometer.

Dehidrasi Molecular Sieve

1. Mengecek keadaan peralatan dehidrasi molecular sieve, memastikan semua valve tertutup.
2. Mengisi labu leher tiga dengan larutan hasil distilasi.
3. Mengalirkan air pendingin ke dalam kondensor.
4. Menyalakan *hot plate* untuk memanasi labu leher tiga.
5. Mengatur suhu *hot plate* sesuai rate uap yang ditentukan.
6. Menampung produk yang dihasilkan dan menganalisa kadarnya.

Dehidrasi *Bio – Based Cassava Adsorbent*

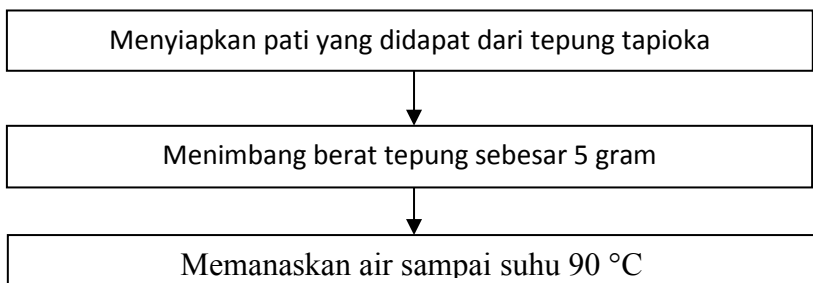
1. Mengecek keadaan peralatan dehidrasi *bio – based adsorbent* , memastikan semua valve tertutup.
2. Mengisi labu leher tiga dengan larutan hasil distilasi.
3. Mengalirkan air pendingin ke dalam kondensor.
4. Menyalakan *hot plate* untuk memanasi labu leher tiga.
5. Mengatur suhu *hot plate* sesuai rate uap yang ditentukan.
6. Menampung produk yang dihasilkan dan menganalisa kadarnya.

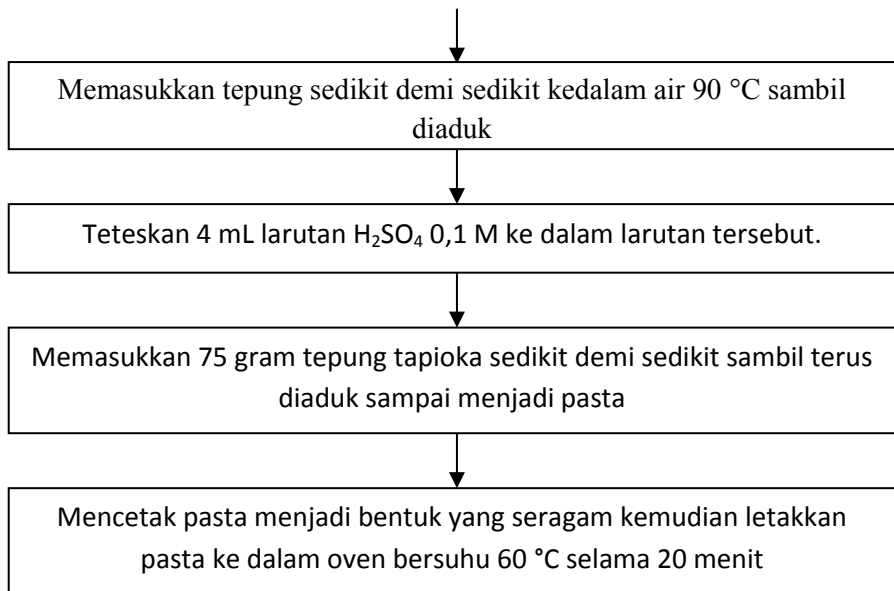
Adsorpsi Karbon Aktif

1. Mengecek keadaan peralatan adsorpsi karbon aktif, memastikan semua valve tertutup.
2. Mengisi labu leher tiga dengan larutan hasil dehidrasi molecular sieve.
3. Mengalirkan air pendingin ke dalam kondensor.
4. Menyalakan *hot plate* untuk memanasi labu leher tiga.
5. Mengatur suhu *hot plate* sesuai rate uap yang ditentukan.
6. Menampung produk yang dihasilkan dan menganalisa kadarnya.

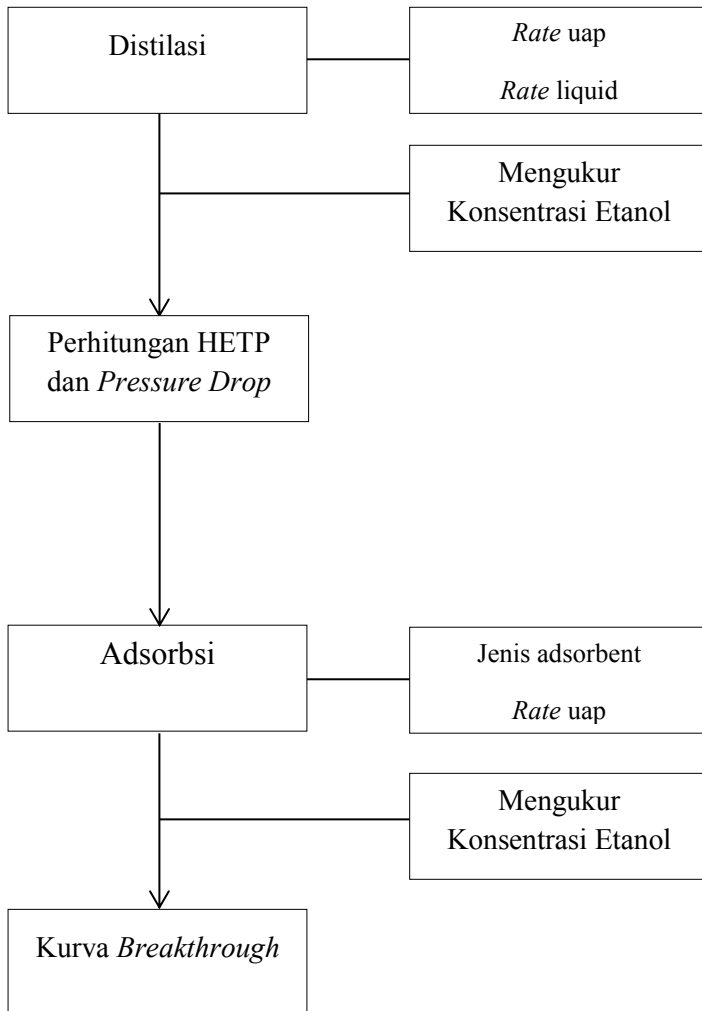
III.5. Diagram Alir Penelitian

Proses Pembuatan *Bio – based adsorbent*





Distilasi - Adsorpsi



Gambar III.3. Diagram Alir Penelitian

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

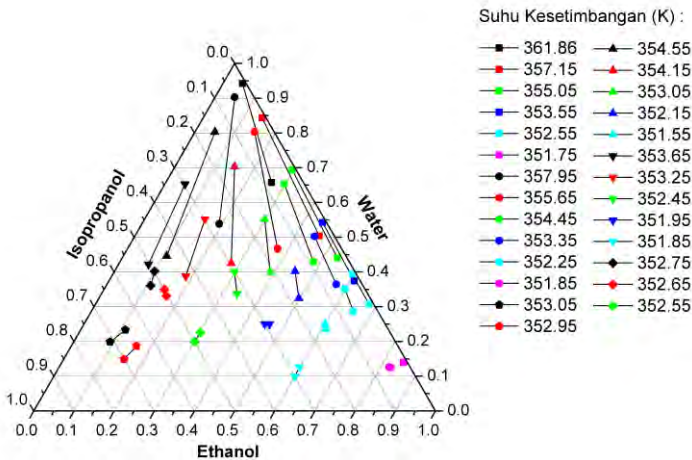
Penelitian ini terdiri dari dua tahap, yakni tahap distilasi menggunakan *structured packing* dan tahap adsorpsi (dehidrasi). Tujuannya untuk mendapatkan kadar etanol food grade yang tinggi. Tekanan yang digunakan selama operasi adalah 1 atm. Berikut ini adalah hasil dari penelitian yang telah dilakukan:

IV.1. Distilasi

Pada penelitian ini digunakan kolom distilasi yang diisi dengan *packing* berupa *steel wool*. Variabel yang digunakan pada proses distilasi adalah rate uap dan porositas dari *packing*.

Pada penelitian ini, variabel distilasi yang digunakan antara lain *rate uap* sebesar 2.35197×10^{-4} kg/s (suhu operasi 80°C), 2.9413×10^{-4} kg/s (suhu operasi 85°C) dan 3.48124×10^{-4} kg/s (suhu operasi 90°C). Pemilihan suhu operasi ini didasarkan pada pertimbangan grafik kesetimbangan uap – cair dari sistem campuran kurva kesetimbangan sistem etanol – 2 – propanol – air dari referensi Smirnov,dkk. Sesuai dengan grafik kesetimbangan terner dari campuran Etanol – Air – 2-Propanol dapat dilihat bahwa suhu optimum didapatkan kadar etanol yang tertinggi pada suhu 78 – 80°C. Dimana pada percobaan ini diharapkan kadar yang tertinggi yang diinginkan adalah etanol sehingga pemilihan variabel suhu pada rentang 80°C hingga 90°C. Pemilihan suhu ini sendiri memiliki dampak dan pengaruh secara langsung pada laju dari rate uap fluida yang terdapat pada proses distilasi dan pengaruh pada perhitungan untuk pengukuran *pressure drop* serta laju pengukuran distilasi sendiri diperhitungkan dengan mempertimbangkan rate uap dari fluida yang mengalir bukan melalui proses suhu pemanasan. Sehingga pada proses perhitungan dan penentuan variabel menggunakan penyebutan

laju rate uap daripada menggunakan variabel suhu operasi. Pada proses perhitungan konversi dari suhu operasi menjadi rate uap menggunakan perhitungan enthalpy pada persamaan termodinamika dimana untuk menghitung panas laten dan panas sensible dari perubahan suhu fluida yang dipanaskan pada proses distilasi.



Smirnov V.S.: Liquid-Vapor Equilibrium in an Ethanol-Water-Isopropanol System at Atmospheric Pressure. Sov.Chem.Ind. 47 (1971) 465-466

$$\lambda_i = c_{pi} (T_{pi} - T_{ref}) + \lambda_{ib} - c_{pvi} (T_{pi} - T_{ref})$$

$$Q = m_v \times \lambda$$

(Himmelblau, 1996)

Proses distilasi ini juga dilakukan sebanyak dua kali distilasi yaitu dimana pada distilasi pertama tidak menggunakan reflux ratio sementara pada distilasi yang kedua dilakukan dengan menggunakan variabel tetap yaitu reflux ratio 0.92. Pemilihan *reflux ratio* tersebut untuk mewakili kondisi operasi *reflux total*

dan *reflux partial*. *Rate* uap dipilih karena pertimbangan faktor suhu yang dipilih memang tidak sesuai dengan suhu yang diharapkan yaitu sekitar 80 °C ,karena waktu penelitian dilakukan pada suhu 80 - 90 °C yang terjadi adalah campuran menjadi uap tetapi tidak menuju kolom distilasi bagian atas karena adanya *loss* yang terjadi pada sambungan labu leher dua dengan kolom distilasi sehingga penelitian dilakukan pada suhu yang lebih tinggi agar dapat menuju kolom distilasi dan mengurangi *loss*. Selain itu juga untuk mendapatkan kadar etanol yang tinggi maka suhu dijaga diantara titik didih etanol yaitu sekitar 78°C akan tetapi karena titik didih yang dimiliki oleh 2 – propanol juga cukup rendah sehingga dilakukan pemilihan *relux ratio* sehingga diharapkan hasil distilat yang didapat lebih murni dan mengandung kadar etanol yang tinggi. Proses distilasi ini juga dilakukan pada 3 macam porositas dari *packing*, yaitu 20%, 40% dan 60%. Pemilihan variabel dari porositas *packing* sendiri didasarkan pada penelitian sebelumnya yaitu evaluasi dari berbagai jenis *packing* komersial yang terdapat di pasaran seperti: *flexipac - 2*, *gempax 2A*, *Mellapak*, *Sulzer*, dimana pengaruh dari porositas *packing* akan berpengaruh pada luas area kontak *packing* dengan uap pada proses distilasi dan mempengaruhi hasil dari proses distilasi karena terjadi transfer massa pada kontak uap – cair pada *packing* tersebut dimana semakin luas area kontaknya maka hasilnya akan semakin baik (Rocha et al,1993). Pada percobaan ini *packing* yang digunakan adalah *steel wool* yaitu logam dengan jenis *stainlees steel* dengan properties seperti pada Tabel IV.1. Pemilihan *structured packing* sendiri didasarkan pada penelitian sebelumnya dimana proses permodelan transfer massa yang efisien dilakukan pada *structured packing* dan dilakukan pada berbagai *packed column* dimana tingkat efisiensi dari hasil proses distilasi meningkat sampai 25% dibandingkan dengan proses distilasi yang tidak menggunakan *packing* ataupun menggunakan *random packing*.

(Rix and Olujic, 2008).

Tabel IV.1. *Properties* Serabut Logam

Properties Fisik Serabut		
Bahan	<i>stainless steel</i>	
Warna	silver mengkilat	
Bentuk Pita :		
tebal	0,003	Cm
lebar	0,028	Cm
Densitas	2,11	g/ml

Sumber: Pengukuran dan perhitungan

Serabut logam yang bentuknya tidak beraturan dimasukkan kedalam *support pack* dan dikarakterisasi properties tiap *pack*-nya yang hasilnya dapat dilihat pada Tabel IV.2

Tabel IV.2. *Properties Packing* Serabut Logam

Propertis Packing Serabut		
Massa packing	2,22	g
Diameter:		
Dalam	3,21	Cm
Luar	3,54	Cm
Tinggi	3,5	Cm

Sumber: Pengukuran

Untuk variable *void fraction* yang berbeda, maka terdapat beberapa *properties* yang berbeda yaitu seperti yang ditunjukkan pada Tabel IV.3.

Tabel IV.3. *Properties* Variabel *Void Fraction*

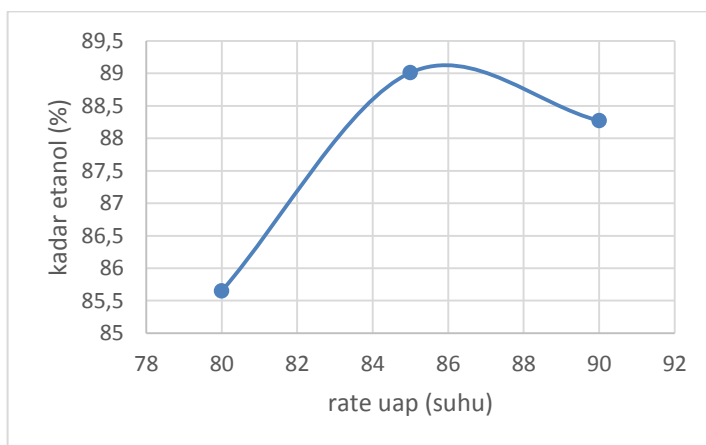
void fraction (ϵ)	massa serabut/pack
20%	48 gram
40%	36 gram
60%	24 gram

Sumber: Pengukuran dan perhitungan

Berikut merupakan hasil analisa kadar etanol menggunakan *gas chromatography* yang telah dilakukan:

Tabel IV.4. Kadar etanol dalam distilat untuk setiap *rate* uap dan porositas

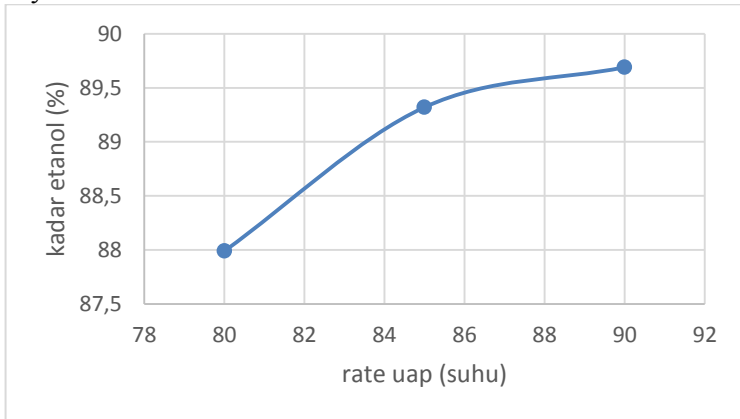
Porositas (%)	Rate Uap (kg/s)	Kadar (%)
20	2.3519×10^{-4}	85.65
	2.9413×10^{-4}	89.01
	3.48126×10^{-4}	88.27
40	2.3519×10^{-4}	87.99
	2.9413×10^{-4}	89.32
	3.48126×10^{-4}	89.69
60	2.3519×10^{-4}	84.81
	2.9413×10^{-4}	89.31
	3.48126×10^{-4}	86.76



Gambar IV.1. Komposisi mol etanol untuk porositas 20%

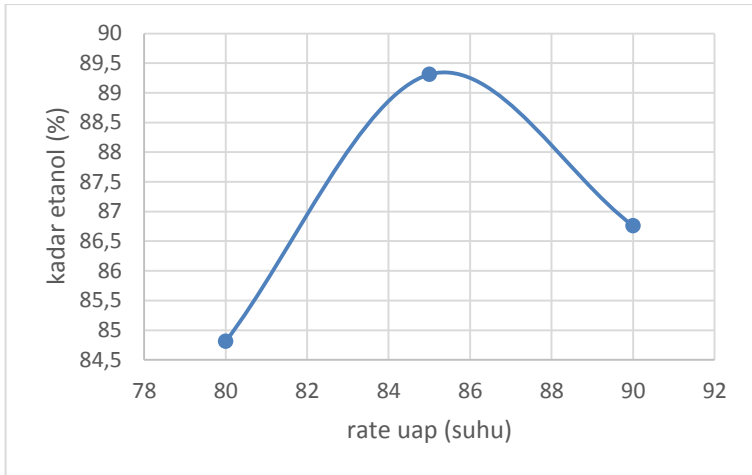
Dari hasil penelitian pada variabel porositas 20% pada *rate* uap 2.3519×10^{-4} kg/s dengan suhu operasi 80 °C didapatkan komposisi etanol sebesar 85.65%. Sedangkan pada *rate* uap

2.9413×10^{-4} kg/s dengan suhu operasi 85 °C didapatkan komposisi etanol sebesar 89.01%. Pada variabel *rate* uap 3.48126×10^{-4} kg/s dengan suhu operasi 90 °C komposisi etanol turun menjadi 88.27%. Penurunan ini dikarenakan *rate* yang semakin besar sehingga mengakibatkan suhu meningkat dan mendekati titik didih dari air, sehingga air yang ikut teruapkan menjadi lebih banyak.



Gambar IV.2. Komposisi mol etanol untuk porositas 40%

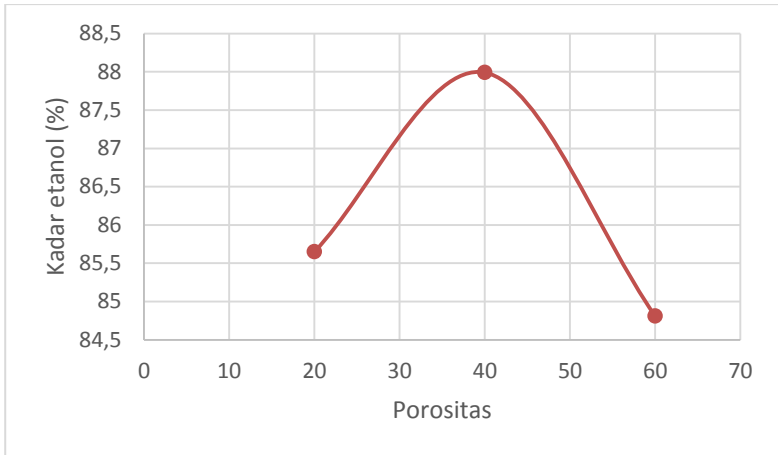
Pada variabel porositas 40% pada *rate* 2.3519×10^{-4} kg/s dengan suhu operasi 80°C didapatkan kadar etanol sebesar 87.99 %. Pada *rate* uap 2.9413×10^{-4} kg/s dengan suhu operasi 85 °C didapatkan kadar etanol sebesar 89.32%. Pada *rate* uap 3.48126×10^{-4} kg/s dengan suhu operasi 90 °C kadar etanol naik menjadi 89.69 %. Kenaikan ini menunjukkan bahwa nilai optimum dari *rate* uap untuk proses distilasi ini berada pada porositas 40% dan suhu rentang antara 80°C - 90°C dan hal ini dikarenakan *rate* yang besar menyebabkan suhu meningkat dan laju percepatan uap meningkat pula akan tetapi begitu pula kecepatan kontak antara uap dengan packing sehingga kadar yang didapatkan semakin murni dan mengalami kenaikan.



Gambar IV.3. Komposisi mol etanol untuk porositas 60%

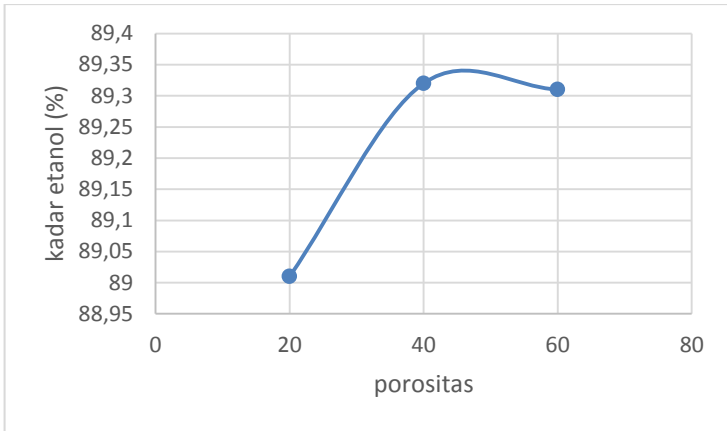
Pada hasil penelitian pada variabel porositas 60% pada *rate* uap 2.3519×10^{-4} kg/s dengan suhu operasi 80 °C didapatkan komposisi etanol sebesar 84.81 %. Sedangkan pada *rate* uap 2.9413×10^{-4} kg/s dengan suhu operasi 85 °C didapatkan komposisi etanol sebesar 89.31%. Pada variabel *rate* uap 3.48126×10^{-4} kg/s dengan suhu operasi 90 °C komposisi etanol turun menjadi 86.76%. Penurunan ini dikarenakan *rate* yang semakin besar sehingga mengakibatkan suhu meningkat dan mendekati titik didih dari air, sehingga air yang ikut teruapkan menjadi lebih banyak.

Komposisi etanol tertinggi dihasilkan pada variabel porositas 40% dengan *rate* uap sebesar 3.48126×10^{-4} kg/s yaitu sebesar 89,69%.



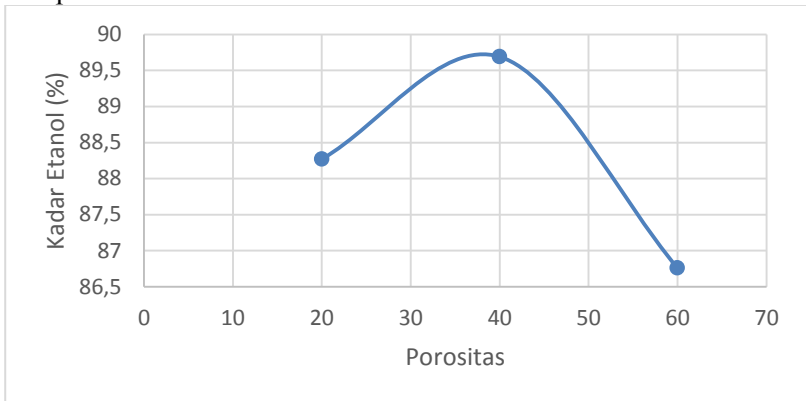
Gambar IV.4. Komposisi etanol untuk porositas 20% ,40%, dan 60% untuk rate uap pada suhu 80°C

Pada hasil penelitian kadar etanol pada suhu rate uap 80°C dengan berbagai variasi porositas didapatkan pada porositas 20% didapatkan kadar etanol sebesar 85.65% dan sementara pada porositas 40% mengalami kenaikan kadar yang signifikan yaitu sebesar 87.99 % dan setelah itu mengalami penurunan pada porositas 60% sehingga didapatkan kadar etanol sebesar 84.81 %. Dan dapat dilihat bahwa porositas yang paling optimum berada pada porositas 40% dimana kadar etanol tertinggi dan hal ini disebabkan karena kontak uap cair dengan packing yang optimum pada porositas demikian sehingga proses pemurnian etanol sehingga didapatkan kadar yang tinggi.



Gambar IV.5. Komposisi etanol untuk porositas 20% ,40%, dan 60% untuk rate uap pada suhu 85°C

Pada hasil penelitian kadar etanol pada suhu rate uap 85°C dengan berbagai variasi porositas didapatkan pada porositas 20% didapatkan kadar etanol sebesar 89.01% dan sementara pada porositas 40% mengalami kenaikan yaitu sebesar 89.32 % dan setelah itu mengalami penurunan pada porositas 60% sehingga didapatkan kadar etanol sebesar 89.31 %.



Gambar IV.6. Komposisi etanol untuk porositas 20% ,40%, dan 60% untuk rate uap suhu 90°C

Pada hasil penelitian kadar etanol pada suhu rate uap 85°C dengan berbagai variasi porositas didapatkan pada porositas 20% didapatkan kadar etanol sebesar 88.27% dan sementara pada porositas 40% mengalami kenaikan kadar yang signifikan yaitu sebesar 89.69 % dan setelah itu mengalami penurunan pada porositas 60% sehingga didapatkan kadar etanol sebesar 86.76 %. Dan dapat dilihat bahwa porositas yang paling optimum berada pada porositas 40% dimana kadar etanol tertinggi dan hal ini disebabkan karena kontak uap cair dengan packing yang optimum pada porositas demikian sehingga proses pemurnian etanol sehingga didapatkan kadar yang tinggi.

Dari tiga grafik di atas dapat dilihat bahwa pengaruh kadar etanol terbaik didapatkan pada porositas 40 % dimana hal ini terjadi karena terjadi transfer massa pada kontak uap – cair pada packing terjadi pada luas area yang besar dan optimum yaitu pada luasan area 200 – 400 cm²/cm³ dan sesuai dengan penelitian terdahulu yang dilakukan pada packing komersial berbagai jenis (Rocha et al, 1993). Dan kadar etanol rata – rata yang didapat sebesar 89.15 %.

Selanjutnya dilakukan evaluasi parameter *Height Packing to a Theoretical Plate* (HETP) dari setiap variabel *rate* uap yang menghasilkan kadar etanol tertinggi. Pemilihan korelasi pada evaluasi HETP sendiri sesuai dengan percobaan terdahulu yang dilakukan dimana penentuan nilai dari HETP didasarkan pada percobaan berbagai korelasi sehingga didapatkan pemilihan korelasi terbaik dimana hasil distilat yang diinginkan mencapai 98% untuk distilat berupa C₈–C₁₁. (Orlando et al, 2009). Proses evaluasi HETP ini menggunakan korelasi dari *Fenske Equation* sesuai dengan penelitian sebelumnya dengan harapan bahwa percobaan yang dilakukan haruslah memenuhi secara teoritis agar efisiensi dan plate yang didapatkan semakin baik sehingga efisiensi dari proses distilasi ini sendiri meningkat.

Tabel IV.5. Perhitungan HETP untuk setiap rate uap

Porositas (%)	Rate Uap (kg/s)	N_{\min}	HETP (m)
20	2.3519×10^{-4}	4	0.15
	2.9413×10^{-4}	5	0.12
	3.48126×10^{-4}	4	0.15
40	2.3519×10^{-4}	5	0.12
	2.9413×10^{-4}	6	0.10
	3.48126×10^{-4}	4	0.15
60	2.3519×10^{-4}	6	0.10
	2.9413×10^{-4}	6	0.10
	3.48126×10^{-4}	5	0.12

Dari hasil perhitungan HETP untuk setiap *rate* uap dan porositas dapat disimpulkan bahwa sudah mendekati HETP *steel wool* secara teoritis yaitu 0,13 m (www.homedistiller.org) , adanya selisih hasil percobaan dengan teoritis adalah posisi penataan *steel wool* saat percobaan sedikit berbeda dengan posisi penataan *steel wool* saat dilakukan perhitungan secara teoritis.

Selain HETP, parameter lainnya yang digunakan adalah *pressure drop* kolom. Perhitungan *pressure drop* menggunakan korelasi Ergun dimana korelasi Ergun ini didasarkan pada penelitian menggunakan *packed column* dengan memperhitungkan laju fluida pada media berlubang (*porous*) dan dilakukan pada *fixed bed* seperti yang diaplikasikan pada berbagai proses absorpsi, distilasi, dan reaksi katalitik (Ergun and Orning, 1952).

Tabel IV.6. Hasil perhitungan *pressure drop* untuk setiap *rate* uap

Porositas (%)	Rate Uap (kg/s)	ΔP teoritis (mmH ₂ O)	ΔP eksperimen (mmH ₂ O)
20	2.3519×10^{-4}	33.06	8
	2.9413×10^{-4}	44.08	8
	3.48126×10^{-4}	55.10	8

40	2.3519×10^{-4}	3.78	3
	2.9413×10^{-4}	4.36	4
	3.48126×10^{-4}	8.55	5
60	2.3519×10^{-4}	0.54	1
	2.9413×10^{-4}	0.59	1
	3.48126×10^{-4}	0.69	1

Terdapat sedikit perbedaan pembacaan *pressure drop* pada manometer U dengan perhitungan *pressure drop* secara teoritis pada saat porositas 20%, dimana pembacaan pada alat hanya mencapai 8 mmH₂O, hal ini disebabkan adanya akumulasi liquida dalam *packing* karena kerapatan *packing* yang sangat rapat sehingga mengakibatkan gangguan pada pembacaan manometer.

IV.2. Adsorpsi

Proses adsorpsi diawali dengan mempersiapkan alat adsorpsi yang terdiri dari labu leher dua, *hot plate*, kolom adsorpsi, kondensor dan tempat hasil adsorpsi. Sebelum merangkai alat adsorpsi terlebih dahulu kolom adsorpsi diisi dengan *adsorbent*. *Adsorbent* yang digunakan adalah *molecular sieve 3A* dan *bio based adsorbent*. Setelah *adsorbent* dimasukkan ke dalam kolom adsorpsi dimulai pemasangan alat adsorpsi. Setelah alat adsorpsi terpasang baru kemudian air pendingin dialirkan ke dalam kondensor dan campuran feed hasil distilasi dimasukkan kedalam labu leher tiga. Baru kemudian *hot plate* dinyalakan.

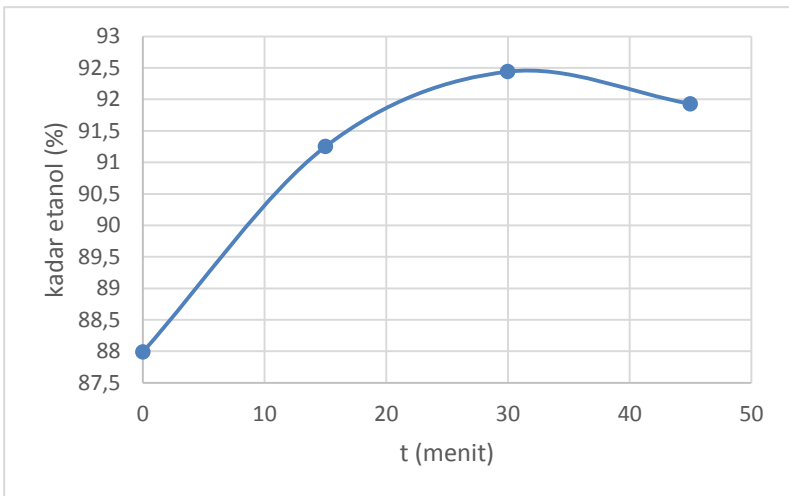
Tabel IV.7. Komposisi *feed* untuk adsorpsi

Komposisi <i>Feed</i> (%)		
Etanol	Air	2 - Propanol
87.99	3.58	8.43

Hasil yang didapatkan dari adsorpsi dengan *molecular sieve 3A* adalah sebagai berikut:

Tabel IV.8. Komposisi hasil adsorpsi dengan *molecular sieve 3A*

t (menit)	Kadar (%)		
	Etanol	Air	2 - Propanol
0	87.99	3.58	8.43
15	91.25	0.53	8.22
30	92.44	0.43	7.13
45	91.93	0,39	7.68



Gambar IV.7. Komposisi etanol pada hasil adsorpsi dengan *Molecular Sieve 3A* setiap 15 menit

Molecular sieve yang digunakan memiliki pori-pori berukuran 3 Angstrom karena tujuannya adalah menyerap air yang memiliki diameter 2,75 Angstrom dan etanol memiliki diameter sekitar 4,5 Angstrom sehingga tidak ikut terserap.

Dari hasil penelitian dengan *molecular sieve 3A* didapatkan pada saat proses adsorpsi dilakukan pada suhu 120 °C kadar etanol tertinggi adalah 92,44%. Terjadi peningkatan kadar sebesar

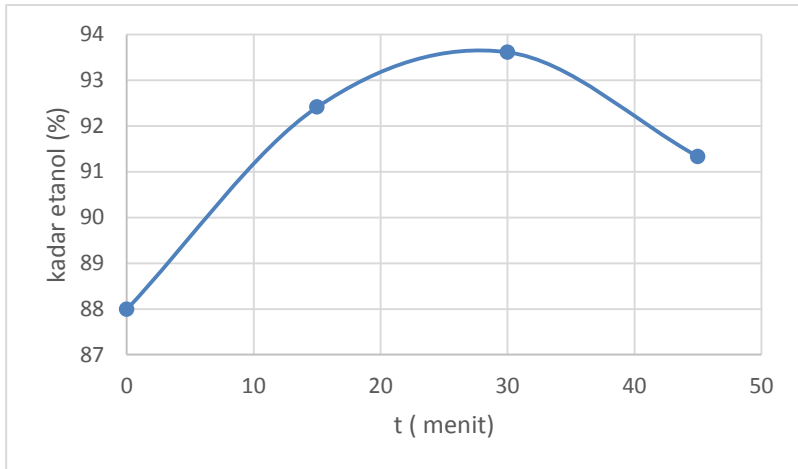
4,54%. Kadar etanol mengalami peningkatan setiap waktu pengambilan sampel. Pada awal proses penyerapan banyak terdapat kandungan air tetapi seiring dengan berjalannya waktu didapatkan kadar etanol yang meningkat. Peningkatan ini menandakan bahwa penggunaan *molecular sieve 3A* sebagai *adsorbent* yang cukup baik.

Pada saat menit ke-45 kadar etanol mulai menurun. Hal ini disebabkan karena *molecular sieve* yang digunakan telah jenuh. Kapasitas maksimum *molecular sieve 3A* adalah 22% dari berat *molecular sieve 3A* sendiri (www.3angstrom.com). Massa air yang diharapkan dapat diadsorpsi sebesar 21 gram, maka dari itu digunakan *molecular sieve 3A* sebanyak 100 gram. Diharapkan dari 100 mg *molecular sieve* yang dipakai dapat mengadsorpsi air yang tersisa. Total air yang diadsorpsi oleh *molecular sieve* sebesar 3.15 mL sesuai hasil perhitungan di appendiks bahwa terjadi penurunan kadar air sebesar 3.16%/, hasil ini belum optimum hal ini disebabkan karena *molecular sieve* yang digunakan telah mengandung kadar air karena kelembapan air di udara yang cukup tinggi sehingga kemampuannya untuk menyerap air kurang maksimal.

Sementara untuk hasil adsorpsi dengan menggunakan *bio based adsorbent* didapatkan data sebagai berikut :

Tabel IV.9. Komposisi hasil adsorpsi dengan *bio based adsorbent*

t (menit)	Kadar (%)		
	Etanol	Air	2 - Propanol
0	87.99	3.58	8.43
15	92.41	0.32	7.27
30	93.61	0.21	6.18
45	91.33	0,26	8.41



Gambar IV.8. Komposisi etanol pada hasil adsorpsi dengan *Bio Based Adsorbent* setiap 15 menit

Dari hasil penelitian *Bio Based Adsorbent* dengan didapatkan pada saat proses adsorpsi dilakukan pada suhu 120 °C kadar etanol tertinggi adalah 93,61%. Terjadi peningkatan kadar sebesar 4,72%. Kadar etanol mengalami peningkatan setiap waktu pengambilan sampel. Pada awal proses penyerapan banyak terdapat kandungan air tetapi seiring dengan berjalannya waktu didapatkan kadar etanol yang meningkat. Peningkatan ini menandakan bahwa penggunaan *Bio Based Adsorbent* sebagai *adsorbent* yang cukup baik

Bio – based adsorbent atau sering juga disebut *bio – based dessicants* merupakan *adsorbent* yang merupakan berbahan dasar selulosa dan pati dan memiliki kemampuan untuk menyerap air dan memisahkannya dari bahan baku organik (Ladisch,1997). Kemampuan yang dimiliki oleh pati dan selulosa untuk mampu secara selektif untuk mengadsorpsi air disebabkan oleh adanya interaksi secara kimia oleh ikatan hidrogen antara gugus hidroksil (-OH) pada senyawa monomer glukosa dan berikatan dengan molekul air. Air sendiri di alam merupakan senyawa yang lebih

polar dibandingkan dengan senyawa organil seperti alkohol oleh karena itu interaksi gugus hidroksil dari senyawa monomer glukosa yang terdapat di *bio – based adsorbent* ini yang menyebabkan air mampu berikatan dengannya. (Beery and Ladisch, 2001). Seperti yang telah diteliti oleh Ladisch dan Dyck (1979) menunjukkan proses pemisahan campuran etanol – air pada fasa uap dimana menggunakan *adsorbent* berbahan dasar jagung, pati, dan carboxymethyl cellulose dimana energi yang dibutuhkan lebih baik dibandingkan menggunakan CaO dan NaOH. Dimana total energi yang dikonsumsi untuk proses pengeringan etanol dengan menggunakan CaO yaitu sebesar 3669 kJ/kg sementara untuk menggunakan selulosa hanya sebesar 2873 kJ/kg. (Ladisch and Dyck,1979). Keuntungan lainnya yaitu bahwa proses adsorpsi dengan menggunakan *bio – based adsorbent* ini lebih hemat energi dibandingkan dengan proses distilasi azeotrop serta *bio – based adsorbent* ini sendiri merupakan bahan yang ramah lingkungan dimana memiliki sifat *biodegradeable* serta bersumber dari bahan baku yang dapat diperbaharui.(Lee and Ladisch,1987)

Kemampuan penyerapan air dari *bio – based adsorbent* sendiri dari penelitian sebelumnya memiliki kapasitas hampir sama dengan molecular sieve dimana mencapai 0.15 g air /g adsorbent (Wang and Xin, 2002). Sementara total air yang diadsorpsi oleh *Bio Based Adsorbent* sebesar 3.37 mL sesuai hasil perhitungan di apendiks bahwa terjadi penurunan kadar air sebesar 3.37% , hasil ini belum optimum seperti yang didapatkan di literatur bahwa kemampuannya menyerap air hingga 7 – 9 % , hal ini disebabkan kondisi kolom yang kurang ideal serta kelembapan udara yang mempengaruhi kejenuhan adsorbent ini oleh air di udara.

Dari hasil penelitian, kadar etanol tertinggi dari distilasi sebesar 89,69% dihasilkan pada porositas 40% dengan *rate* uap 3.48126×10^{-4} kg/s. Sedangkan kadar etanol tertinggi dari hasil adsorpsi dengan *bio based adsorbent* dihasilkan pada menit ke-30 dengan kadar sebesar 93.61%.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

V.1. Kesimpulan

1. Hasil dari penelitian pada bagian distilasi didapatkan etanol dengan kadar tertinggi pada variabel *rate* uap 3.48126×10^{-4} kg/s dengan porositas 40% yaitu didapatkan sebesar 89.69% v/v.
2. HETP kolom untuk tiap *rate* uap dan *reflux ratio* sekitar 0.09 – 0.15 m.
3. *Pressure drop* tiap *rate* uap masih memenuhi ketentuan secara teoritis.
4. Dari hasil penelitian ini, tahap adsorpsi yang paling baik menggunakan *bio based adsorbent* dengan kadar etanol sebesar 93.61% v/v.

V.2. Saran

1. Adsorbent yang digunakan pada proses adsorpsi sebaiknya terlebih dahulu dilakukan proses desorpsi dan ditaruh pada wadah yang tersegel rapat dan diberi juga adsorbent lain untuk mencegah adsorbent yang ingin digunakan menjadi jenuh oleh karena kelembapan air di udara.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, A. , 2014, *Pemisahan Campuran Ethanol – Oktanol – Air dengan Proses Distilasi Dalam Structured Packing dan Dehidrasi Menggunakan Adsorbent.*
- Al-Asheh S., Banat F., Al-Lagtah N., 2004, *Separation Of Ethanol – Water Mixtures Using Molecular Sieves And Biobased Adsorbents*, Chemical Engineering Research and Design, 82(A7): 855–864
- Arce et al. , 1994, *Liquid - Liquid Equilibria of Water + Methanol + 1-Octanol and Water + Ethanol + 1-Octanol at Various Temperatures.* Journal Chemical Engineering Data, 1994 vol 39 page 378 – 380
- Arce et al. , 1995, *Isobaric Vapor - Liquid Equilibria of Methanol + 1-Octanol and Ethanol + 1-Octanol Mixtures.* Journal Chemical Engineering Data, 1995 vol 40 page 1011 - 1014
- Basari, I., 1994, *Kimia Organik Untuk Universitas*, Bandung: Armico.
- Bessou, Vincent, David Rouzineau, Michel Prevost, Francois Abbe, Charles Dumont, Jeant-Pierre Maumus, dan Michel Meyer, 2010, *performance Characteristics of a New Structured Packing*, France : Universite de Toulouse.
- Boonfung, C. 2010, *Pressure Swing Adsorption with Cassava Adsorbent for Dehydration of Ethanol Vapor*, World Academy of Science , Engineering and Technology Vol : 4 2010-11-22
- Bouzenada, S., Salmon, T., Fraikin, L., Kaabi, A., Léonard, A., 2013, *Experimental investigation on mass transfer for regeneration of liquid desiccant*, International Conference on Renewable Energies and Power Quality
- Carlo, L. D., Olujić, Ž. and Pagliant, A., 2006, *Comprehensive Mass Transfer Model for Distillation Columns Equipped with Structured Packings*, Ind. Eng. Chem. Res., 45: 7967.
- Claassen, P.A.M., van Lier, J.B., Contreras, A.M.L., van Niel, E.W.J., Sijtsma, L., Stams, A.J.M., de Vries, S.S.,

- Weusthuis, R.A., 1999. *Utilisation of biomass for the supply of energy carriers*. Appl. Microbiol. Biotechnol. 52 (6), 741–755
- Cheng, H. C., Wang, F. S., 2007, *Trade-off Optimal Design of a Biocompatible Solvent for an Extractive Fermentation Process*, Chemical Engineering Science, 62: 4316 – 4324.
- Cheng, H. C., Wang, F. S., 2008, *Optimal Process / Solvent Design for Ethanol Extractive Fermentation with Cell Recycling*, Biochemical Engineering Journal, 41: 258–265.
- Farrell, A.E., Plevin, R.J., Turner, B.T., Jones, A.D., O’Hare, M., Kammen, D.M., 2006. *Ethanol Can Contribute to Energy and Environmental Goals*. Science 311, 506– 508.
- Fernandez, M.J., Gomis, V., Loras, S., Ruiz, F., 2001, *Isobaric Vapor – Liquid Equilibria for the System 1-Pentanol + Ethanol + Water at 101.3 kPa*, Journal Chemical Engineering Data, 46, 665-667.
- 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.
- G. Vareli, P. Demertzis and K. Akrida-Demertzi, *Effect of Regeneration Thermal Treatment of Cellulosic and Starchy Materials on Their Capacity to Separate Water and Ethanol*. J. Cereal Sci., vol. 31, pp. 147-154, 2000.
- Galbe, M., Zacchi, G., 2002. *A Review of The Production of Ethanol from Softwood*. Appl. Microbiol. Biotechnol. 59 (6), 618–628.
- Geankoplis, C.J., 2003, *Transport Process and Separation Process Principles 4th ed.*, New Jersey: Pearson Education Inc.
- IPCC, 2007. Summary for policymakers. In: Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M., Miller, H.L. (Ed.), *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report on the Intergovernmental*

- Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Kollerup, F., Daugulis, A.J., 1985, *A Mathematical Model for Ethanol Production by Extractive Fermentation in a Continuous Stirred Tank Fermentor*, *Biotechnology and Bioengineering* XXVII, 1335–1346.
- Kollerup, F., Daugulis, A.J., 1985, *Screening and Identification of Extractive Fermentation Solvents using a Database*, *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, 63: 919–927.
- Ladisch, M.R., Voloch, M., Hong, J., Bienkowski, P., Tsao, G.T., 1984. Cornmeal adsorber for dehydrating ethanol vapors. *Ind. Eng. Chem. Process Des. Dev.* 23, 437.
- Lee, J.Y., Westgate, P.J., Ladisch, M.R., 1991. *Water and Ethanol Sorption Phenomena on Starch*. *AIChE J.* 37, 1187–1195.
- M. Ladisch and K. Dyck, *Dehydration of Ethanol: New Approach Gives Positive Energy Balance*, *Science*, vol. 205, pp. 898–900, 1979
- McCabe, W.L., Smith, J.C., Harriott, P., 2005, *Unit Operations of Chemical Engineering 7th ed.*, New York: McGraw-Hill.
- Minier, M., Goma, G., 1982, *Ethanol Production by Extractive Fermentation*, *Biotechnology and Bioengineering* 29, 1565–1579.
- Mira, S., Khalimatussa'diyah, 2012, *Pemisahan Ethanol dari Campuran Solvent Berbasis Alkohol dan Air dengan Proses Distilasi pada Packed Kolom dan Adsorpsi*.
- Orlando Jr., A.E., Medina, L.C., Mendes, M.F., Nicolaiewsky, E.M.A., 2009, *HETP Evaluation of Structured Packing Distillation Column*, *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, vol. 26 no. 03: 619-633.
- Pramuang S.S., Exell R.H.B., 2007, *The Regeneration Of Silica Gel Desiccant By Air From A Solar Heater With A Compound Parabolic Concentrator*, *Journal of Renewable Energy*, 32, 173-18

- Rix, A., Olujic, Z. 2008. *Pressure Drop of Internals for Packed Columns*. Chemical Engineering and Processing, 47: 1520-1529.
- Rocha, J. A., Bravo, J. L. and Fair, J. R., 1985, *Mass Transfer in Gauze Packings*, Hydrocarbon Processing, 64: 1, 91.
- Rocha, J. A., Bravo, J. L. and Fair, J. R., 1996, *Distillation Columns Containing Structured Packings: A Comprehensive Model for their Performance. 2. Mass-Transfer Model*, Industrial Engineering Chemistry Research, 35: 1660.
- Roth, Tim dan Peter Kreis, 2009, *Reate Based Modelling and Simulation Srudies of Hybrid Processes Consisting of Distillation, Vapour Permeation and Adsorption for the Dehydration of Ethanol*, German : Technische Universität Dortmund.
- Seader, J.D., Henley, E.J., 1998, *Separation Process Principles*, New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Setyowati, Y dan Aniendia, 2014, *Teknik Produksi Etanol Food Grade Menggunakan Fermentasi dan Distilasi Untuk Memanfaatkan Batang Sorghum*.
- Sinawang, Garry dan Lutfia, 2013, *Pemisahan Campuran Ethanol – Amil Alkohol – Air dengan Proses Distilasi Dalam Structured Packing dan Dehidrasi Menggunakan Adsorbent*
- Shi, M. G. and Mersmann, A., 1985, *Effective Interfacial Area in Packed Columns*, German Chemical Engineering, 8: 87.
- Teo, Wah Koon dan Douglas M. Routvan, 1986, *Adsorption of Water from Aqueous Ethanol Using 3-A Molecular Sieve*, Ind. Eng. Chem Process Des 1986 vol 25 : 17-21.
- Treybal, R.E., 1980, *Mass-transfer Operations*, Singapore: McGraw-Hill Book Company.
- Vane, Leland M., 2008, *Separation Technologies for Recovery and Dehydration of Alcohols from Fermentation Broths*

- Wang, Y., Achenie, L.E.K., 2002, *Computer Aided Solvent Design for Extractive Fermentation*, Fluid Phase Equilibria, 201: 1–18
- Wang, Y., et al. 2010. *Separation of Ethanol/Water Azeotrope Using Compound Starch-based Adsorbent*. Hanjin University
- X. Han, X. Ma, J. Liu and H. Li, “Adsorption Characterisation of Water and Ethanol on Wheat Starch and Wheat Gluten Using inverse Gas Chromatography,” *Carbohydrate. Polym.*, vol. 78, pp. 533-537, 2009..
- <http://homedistiller.org/theory/refluxdesign/hetp>
- <http://www.ddbst.com/en/EED/VLE/VLE%20Ethanol%3B2-Propanol%3BWater.php>
- <http://www.deltaadsorbents.com>
- <http://www.sigmaaldrich.com/chemistry/chemical-synthesis/learning-center/technical-bulletins/al-1430/molecular-sieves.html>

APPENDIKS

A.1. Distilasi Perhitungan Porositas *Packing*

Tabel A.1. *Properties Steel Wool*

<i>Properties Fisik Serabut</i>		
Bahan :	stainless	
Bentuk Pita :		
	tebal :	0.003 cm
	lebar :	0.028 cm
Densitas :	2.11 g/ml	
<i>Properties Packing Serabut</i>		
massa packing:	2.22	g
massa serabut/pack:	4.22	g
Diameter:		
	dalam:	3.21 cm
	luar:	3.54 cm
Tinggi :	3.50 cm	
<i>porosity</i> (ϵ)	0.93	
<i>Bulk Density</i> :	0.15 g/ml	
panjang serabut/pack:	23809.52	cm
luas permukaan:	52.10	cm ² /cm ³

a. Porositas 60%

$$V_{\text{serabut}} = \frac{m_{\text{serabut}}}{\rho_{\text{serabut}}}$$

$$V_{\text{serabut}} = \frac{24}{2.11}$$

$$V_{\text{serabut}} = 11.37 \text{ cm}^3$$

$$V_{\text{packing}} = \frac{1}{4} \times \frac{22}{7} \times id_{\text{packing}}^2 \times t_{\text{packing}}$$

$$V_{packing} = \frac{1}{4} \times \frac{22}{7} \times 3.21^2 \times 3.5$$

$$V_{packing} = 28.34 \text{ cm}^3$$

$$Porositas = \frac{V_{packing} - V_{serabut}}{V_{packing}}$$

$$Porositas = \frac{28.34 - 11.37}{28.34}$$

$$Porositas = 0.6$$

Tabel A.2. Perhitungan massa *steel wool* untuk setiap porositas

m(g)	V _{serabut} (cm ³)	V _{packing} (cm ³)	a (cm ² /cm ³)	ε
24	11.37	28.34	296.28	0.60
36	17.06	28.34	444.42	0.40
48	22.75	28.34	592.55	0.20

Perhitungan *latent heats* (λ)

Komponen	Titikdidih (°C)	Heat capacity		Berat molekul (g/mol)	Latent heat vaporization (J/mol)
		Liquid (J/mol.K)	Vapor (J/mol.K)		
Etanol	78.37	112.4	87.53	46.07	38744.87
2-Propanol	82.6	268.0	154.02	60.1	39850
Air	100	74.5	28.03	18	40680

$$\lambda_i = c_{pli}(T_{pi} - T_{ref}) + \lambda_{ib} - c_{pvi}(T_{pi} - T_{ref})$$

Komponen (i)

A = Etanol

B = 2 - Propanol

C = Air

Perhitungan *rate* uap

$$Q = m_v \times \lambda$$

Perhitungan *density* uap

Komponen	Volume	Berat molekul (g/mol)
Etanol	0.017V	46.07
2 – Propanol	0.041V	60.1
Air	0.192 V	18

Volume total (V_1) = 0.25 L

Suhu awal (T_1) = 303.15 K

Perhitungan dilakukan secara STP sehingga volume molar = 22.4 L/mol

Contoh perhitungan untuk massa etanol

$$m = \frac{V}{v_m} \times M = \frac{0.0170}{22.4} \times 46.07 = 0.0350 \text{ g}$$

Komponen	Massa (g)
Etanol	0.0350
2 – Propanol	0.1100
Air	0.1543

T_2 (K)

353.15

358.15

363.15

T_2 (°C)

80

85

90

Massa total = 0.2993 g

Contoh perhitungan *density* untuk putaran knop *hot plate* 2 (suhu 80°C)

$$V_2 = \frac{V_1}{T_1} \times T_2 = \frac{0.25}{303.15} \times 353.15 = 0.2912 \text{ L}$$

$$\rho = \frac{m}{V_2} = \frac{0.2993}{0.2912} = 1.0275 \frac{\text{g}}{\text{L}}$$

Knop *hot*

<i>plate</i>	T ₂ (°C)	Rate uap (kg/s)	Density (g/L)
2	80	2.35197 x 10 ⁻⁴	1.02912
2.5	85	2.94138 x 10 ⁻⁴	1.00984
3	90	3.48124 x 10 ⁻⁴	0.9992

Perhitungan *viscosity*

Komponen	Berat molekul (g/mol)	<i>Viscosity vapor</i> (Pa.s)	Fraksi volume
Etanol	46.07	0.0000108	0.068
2 – Propanol	60.15	0.002073	0.164
Air	18	0.000013	0.768

Komponen

1 = Etanol

2 = 2 – Propanol

3 = Air

μ_m

$$= \frac{\mu_1}{1 + \left(\frac{x_2}{x_1}\right) \varphi_{12} + \left(\frac{x_3}{x_1}\right) \varphi_{13} + \dots} + \frac{\mu_2}{1 + \left(\frac{x_1}{x_2}\right) \varphi_{21} + \left(\frac{x_3}{x_2}\right) \varphi_{23} + \dots} + \dots$$

$$\phi_{ij} = \frac{\left[1 + \left(\frac{\mu_i}{\mu_j} \right)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{M_j}{M_i} \right)^{\frac{1}{4}} \right]^2}{\left(\frac{4}{\sqrt{2}} \right) \left[1 + \left(\frac{M_i}{M_j} \right)^{\frac{1}{2}} \right]}$$

Contoh perhitungan untuk ϕ_{12}

$$\begin{aligned} \phi_{12} &= \frac{\left[1 + \left(\frac{\mu_1}{\mu_2} \right)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{M_2}{M_1} \right)^{\frac{1}{4}} \right]^2}{\left(\frac{4}{\sqrt{2}} \right) \left[1 + \left(\frac{M_1}{M_2} \right)^{\frac{1}{2}} \right]} = \frac{\left[1 + \left(\frac{0.0000108}{0.02073} \right)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{60.15}{46.07} \right)^{\frac{1}{4}} \right]^2}{\left(\frac{4}{\sqrt{2}} \right) \left[1 + \left(\frac{46.07}{60.15} \right)^{\frac{1}{2}} \right]} \\ &= 0.3086 \end{aligned}$$

ϕ_{12}	0.3086
ϕ_{21}	45.3752
ϕ_{13}	0.5547
ϕ_{31}	1.7090
ϕ_{23}	18.1378
ϕ_{32}	0.38701

$$\begin{aligned} \mu_m &= \frac{0.0000108}{1 + \left(\frac{0.164}{0.068} \right) 0.3086 + \left(\frac{0.768}{0.068} \right) 0.5547} + \frac{0.002073}{1 + \left(\frac{0.068}{0.164} \right) 45.3752 + \left(\frac{0.768}{0.164} \right) 18.1378} \\ &+ \frac{0.000013}{1 + \left(\frac{0.068}{0.768} \right) 1.709 + \left(\frac{0.164}{0.768} \right) 0.38701} \\ \mu_m &= 0.0000316858 \text{ Pa} \cdot \text{s} \end{aligned}$$

Perhitungan Densitas Uap (ρ)

$$\rho\left(\frac{g}{cm^3}\right) = \frac{P \text{ (atm)} \times BM_{cam}}{R \times T \text{ (K)}} = \sum x_i \times BM_i$$

$$P = 1 \text{ atm}$$

$$R = 82,057 \text{ cm}^3 \cdot \text{atm/g mol} \cdot \text{K}$$

BM_{camp}

Porositas (%)	Rate Uap (kg/s)	Komponen	X	BM _{camp}	T (K)	ρ (g/cm ³)
20	2.3519 x 10 ⁻⁴	Etanol	0.843159387	41.711	353.15	0.00136
		Air	0.063330515			
		2 - Propanol	0.092266181			
	2.94138 x 10 ⁻⁴	Etanol	0.883600698	42.700	358.15	0.00139
		Air	0.042586754			
		2 - Propanol	0.066510782			
3.48126 x 10 ⁻⁴	Etanol	0.869918843	40.494	363.15	0.00126	
	Air	0.016856623				
	2 - Propanol	0.103084107				
40	2.3519 x 10 ⁻⁴	Etanol	0.866194915	41.247	353.15	0.00142
		Air	0.044984771			
		2 - Propanol	0.083544995			
	2.94138 x 10 ⁻⁴	Etanol	0.886678062	43.140	358.15	0.00148
		Air	0.031468534			
		2 - Propanol	0.074551637			
3.48126 x 10 ⁻⁴	Etanol	0.883913232	38.741	363.15	0.00127	
	Air	0.037612913				

		2 - Propanol	0.072625184			
60	2.3519×10^{-4}	Etanol	0.834890223	46.494	353.15	0.00160
		Air	0.074262569			
		2 - Propanol	0.091968868			
	2.94138×10^{-4}	Etanol	0.886578792	42.695	358.15	0.00147
		Air	0.044373611			
		2 - Propanol	0.06174583			
	3.48126×10^{-4}	Etanol	0.855037485	43.456	363.15	0.00148
		Air	0.06226887			
		2 - Propanol	0.082249013			

Perhitungan *Pressure Drop*

Data hasil pengamatan evaluasi untuk pressure drop pada manometer air

Porositas	Rate Uap (kg/s)	ΔP Pengamatan (mm H ₂ O)	ΔP Pengamatan (Pa)	ΔP Perhitungan (Pa)
0.2	2.3519×10^{-4}	2	19.6133	9.089
	2.94138×10^{-4}	2	19.6133	11.394
	3.48126×10^{-4}	2	19.6133	12.119
0.4	2.3519×10^{-4}	1	9.80665	1.039
	2.94138×10^{-4}	1	9.80665	1.088
	3.48126×10^{-4}	1	9.80665	1.198
0.6	2.3519×10^{-4}	1	9.80665	0.147
	2.94138×10^{-4}	1	9.80665	0.155
	3.48126×10^{-4}	1	9.80665	0.161

Pressure drop untuk setiap rate uap dihitung dengan Persamaan

Ergun

$$\frac{\Delta p}{(G')^2} \frac{D_p}{Z} \frac{\varepsilon^3}{(1-\varepsilon)} = \frac{150}{N_{Re,p}} + 1.75$$

Dimana nilai :

Z = 1.5 m (tinggi kolom distilasi)

D = 0.5 cm (diameter kolom distilasi)

$\mu_m = 0.0000316858 \text{ Pa.s}$

$$Dp = \frac{6(1-\varepsilon)}{a_p}$$

$$G' = \frac{G}{A}$$

$$A = \frac{\pi}{4} D^2$$

$$N_{Re,p} = \frac{DpG'}{\mu_m(1-\varepsilon)}$$

ε	$\rho \text{ (g/cm}^3\text{)}$	$a_p \text{ (m}^2\text{/m}^3\text{)}$	$d_p \text{ (m)}$
0,2	0.00136	59255.5	0.000081
	0.00139		
	0.00126		
0,4	0.00142	44441.6	0.000081
	0.00148		
	0.00127		
0,6	0.00160	29627.7	0.000081
	0.00147		
	0.00148		

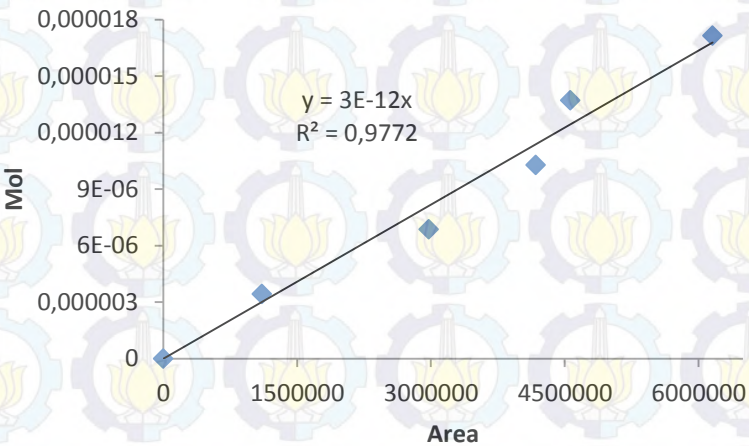
ε	Rate uap G (kg/s)	G' (kg/m ² .s)	Re	$\Delta P/Z$ (Pa/m)	ΔP (Pa)
0,2	2.3519×10^{-4}	1.20E-01	3.83E-05	958.37	9.089
	2.94138×10^{-4}	1.50E-01	3.83E-05	1135.91	11.394
	3.48126×10^{-4}	1.77E-01	3.83E-05	1277.82	12.119
0,4	2.3519×10^{-4}	1.20E-01	6.39E-05	109.50	1.039
	2.94138×10^{-4}	1.50E-01	6.39E-05	116.42	1.088
	3.48126×10^{-4}	1.77E-01	6.39E-05	126.35	1.198
0,6	2.3519×10^{-4}	1.20E-01	1.13E-04	15.53	0.147
	2.94138×10^{-4}	1.50E-01	1.13E-04	16.22	0.155
	3.48126×10^{-4}	1.77E-01	1.13E-04	17.01	0.161

Perhitungan % Komponen Hasil Gas Chromatography
Kalibrasi Analisa Gas Chromatography

a. Etanol

Tabel A.4 Data Kalibrasi Etanol

Vol (mL)	Density (g/ml)	Massa (g)	BM	Mol	Area
0	0.789	0.000000	46.07	0	0
0.0002	0.789	0.000158	46.07	3.43E-06	1106407
0.0004	0.789	0.000316	46.07	6.85E-06	2976400
0.0006	0.789	0.000473	46.07	1.03E-05	4172433
0.0008	0.789	0.000631	46.07	1.37E-05	4562880
0.001	0.789	0.000789	46.07	1.71E-05	6156932

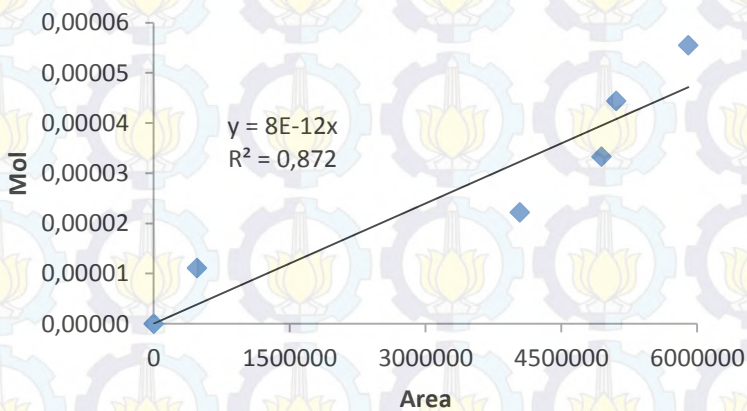


Gambar A.1 Kurva Kalibrasi Etanol

b. Air

Tabel A.5 Data Kalibrasi Air

Vol (mL)	Density (g/ml)	Massa (g)	BM	Mol	Area
0	1	0	18.02	0	0
0.0002	1	0.0002	18.02	1.11E-05	476627
0.0004	1	0.0004	18.02	2.22E-05	4043360
0.0006	1	0.0006	18.02	3.33E-05	4942965
0.0008	1	0.0008	18.02	4.44E-05	5107734
0.001	1	0.0010	18.02	5.55E-05	5903498

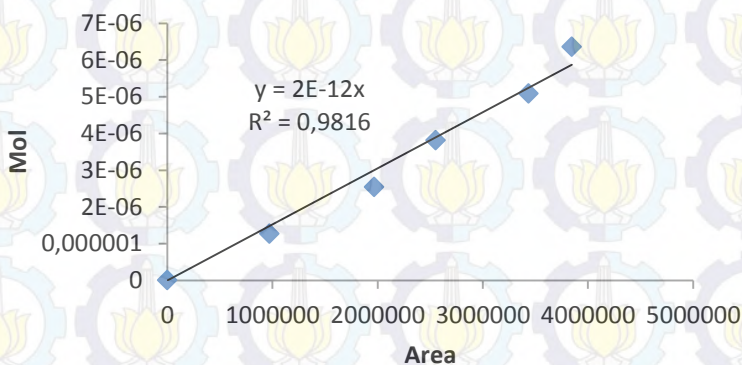


Gambar A.2 Kurva Kalibrasi Air

c. 2 – Propanol

Tabel A.6 Data Kalibrasi 2 –
Propanol

Vol (mL)	Density (g/ml)	Massa (g)	BM	Mol	Area
0	0.827	0	60.1	0	0
0.0002	0.827	0.0002	60.1	1.27E-06	970228
0.0004	0.827	0.0003	60.1	2.54E-06	1965546
0.0006	0.827	0.0005	60.1	3.81E-06	2551655
0.0008	0.827	0.0007	60.1	5.08E-06	3433424
0.001	0.827	0.0008	60.1	6.35E-06	3845744



Gambar A.3 Kurva Kalibrasi 2 – Propanol

Contoh perhitungan %volume komponen

Perhitungan menggunakan *rate* uap 2.3519×10^{-4} kg/s dan

Komponen	<i>R. Time</i>	<i>Area</i>
Etanol	3.956	3.98E+07
Air	2.33	1.57E+06
2 – Propanol	5.892	7.61E+07

Etanol

Area = 3.98E+07

Faktor kalibrasi (slope) = 3×10^{-12}

Konsentrasi volume = Area \times *Faktor kalibrasi*

$$= 3.98E + 07 \times 3 \times 10^{-12}$$

Konsentrasi volume = 0.000119316

Volume inject = 0.001 mL

$$\begin{aligned} \%Volume &= \frac{\text{Konsentrasi volume}}{\text{Volume inject}} \times 100 \\ &= \frac{0.000119316}{0.001} \times 100 = 11.9316\% \end{aligned}$$

Air

Area = 1.57E+06

Faktor kalibrasi (slope) = 8×10^{-12}

Konsentrasi volume = Area \times

Faktor kalibrasi = $1.57E+06 \times 8 \times 10^{-12}$

Konsentrasi volume = 1.25596E-05

Volume inject = 0.001 mL

$$\begin{aligned} \%Volume &= \frac{\text{Konsentrasi volume}}{\text{Volume inject}} \times 100 \\ &= \frac{1.25596E - 05}{0.001} \times 100 = 1.2559\% \end{aligned}$$

2 – Propanol

Area = 7.61E+07

Faktor kalibrasi (slope) = 2×10^{-12}

Konsentrasi volume = Area \times Faktor kalibrasi

$$= 7.61E+07 \times 2 \times 10^{-12}$$

Konsentrasi volume = 0.000152278

Volume inject = 0.001 mL

%Volume = $\frac{\text{Konsentrasi volume}}{\text{Volume inject}} \times 100$

$$= \frac{0.000152278}{0.001} \times 100 = 15.2277\%$$

Total %volume = 11.9316% + 1.2559% + 15.2277 = 28.4153
%

Perhitungan %volume dan kadar di sampel

$$\%vol\ etanol = \frac{11.9316}{28.4153} \times 100 = 41.99\%$$

$$\text{Kadar etanol} = \%vol\ etanol \times \rho\ etanol \\ = 41.99 \times 0.78075 = 32.783$$

$$\%vol\ air = \frac{1.2559}{28.4153} \times 100 = 4.42\%$$

$$\text{Kadar air} = \%vol\ air \times \rho\ air = 4.42 \times 0.99658 \\ = 4.40\ g/L$$

$$\%vol\ 2 - propanol = \frac{15.2277}{28.4153} \times 100 = 53.59\%$$

$$\text{Kadar 2 - propanol} \\ = \%vol\ 2 - propanol \times \rho\ 2 - propanol \\ = 53.59 \times 0.786 = 42.12\ g/L$$

Hasil Gas Chromatography untuk Distilasi 1

Distilat pada Porositas 20 %

Rate Uap (kg/s)	Komponen	R.Time	Area	Faktor Kalibrasi	Konsentrasi volume	Volume Inject (mL)	% Volume	Total	% Volume disampel	Total (%)	Kadar (g/L)	Total (g)	% Massa disampel
2.3519×10^{-4}	Etanol	3.942	3.98E+07	3.00E-12	0.000119316	0.001	11.931584	28	0.4199	1	32.7836925	79.31	0.41336
	Air	2.333	1.57E+06	8.00E-12	1.25596E-05	0.001	1.2559563		0.0442		4.4048836		0.05554
	2 - Propanol	5.892	7.61E+07	2.00E-12	0.000152278	0.001	15.227759		0.5359		42.12174		0.5311
2.9413×10^{-4}	Etanol	4.441	4.49E+07	3.00E-12	0.000134649	0.001	13.464905	29	0.4671	1	36.4688325	79.18	0.46059
	Air	2.519	1.41E+06	8.00E-12	1.12712E-05	0.001	1.1271201		0.0391		3.8966278		0.04921
	2 - Propanol	6.422	7.12E+07	2.00E-12	0.000142346	0.001	14.234575		0.4938		38.81268		0.49019
3.48126×10^{-4}	Etanol	4.201	3.97E+07	3.00E-12	0.000119017	0.001	11.901692	27	0.4355	1	34.0016625	79.22	0.42919
	Air	2.413	1.79E+07	8.00E-12	0.00014323	0.001	14.323024		0.0404		4.0261832		0.05082
	2 - Propanol	6.104	5.52E+06	2.00E-12	1.10408E-05	0.001	1.1040835		0.5241		41.19426		0.51998

Distilat pada Porositas 40%

Rate Up (kg/s)	Komponen	R.Time	Area	Faktor Kalibrasi	Konsentrasi volume	Volume Inject (mL)	% Volume	Total	% Volume disampel	Total (%)	Kadar (g/L)	Total (g)	% Massa disampel
2.3519 x 10 ⁻⁴	Etanol	3.819	6.08E+07	3.00E-12	0.00018238	0.001	18.238009	29	0.6362	1	49.671315	78.08	0.62629
	Air	2.113	7.78E+05	8.00E-12	6.22076E-06	0.001	0.6220761		0.0217		1.6942275		0.02136
	2 - Propanol	6.582	4.90E+07	2.00E-12	9.80701E-05	0.001	9.8070149		0.3421		26.7094575		0.33677
2.9413 x 10 ⁻⁴	Etanol	4.101	6.31E+07	3.00E-12	0.000189427	0.001	18.942743	29	0.6456	1	50.40522	78.08	0.63661
	Air	2.624	1.00E+06	8.00E-12	8.01017E-06	0.001	0.8010175		0.0273		2.1314475		0.02692
	2 - Propanol	5.994	4.80E+07	2.00E-12	9.59754E-05	0.001	9.5975392		0.3271		25.5383325		0.32254
3.48126 x 10 ⁻⁴	Etanol	4.107	5.90E+07	3.00E-12	0.000176881	0.001	17.688118	28	0.6321	1	49.3512075	78.89	0.62295
	Air	2.557	1.04E+06	8.00E-12	8.31098E-06	0.001	0.8310981		0.0297		2.9598426		0.03736
	2 - Propanol	6.336	4.73E+07	2.00E-12	9.46388E-05	0.001	9.4638844		0.3382		26.58252		0.33554



Distilat pada Porositas 60%

Rate Uap (kg/s)	Komponen	R.Time	Area	Faktor Kalibrasi	Konsentrasi volume	Volume Inject (mL)	% Volume	Total	% Volume disampel	Total (%)	Kadar (g/L)	Total (g)	% Massa disampel
2.3519 x 10 ⁻⁴	Etanol	3.939	5.07E+07	3.00E-12	0.000152007	0.001	15.200674	28	0.5348	1	41.75451	78.08	0.52647
	Air	2.412	1.91E+06	8.00E-12	1.52632E-05	0.001	1.5263205		0.0537		4.1926275		0.05286
	2 - Propanol	5.959	5.85E+07	2.00E-12	0.000116961	0.001	11.696106		0.4115		32.1278625		0.40509
2.9413 x 10 ⁻⁴	Etanol	4.013	5.93E+07	3.00E-12	0.000177834	0.001	17.783447	29	0.6134	1	47.891205	78.08	0.60485
	Air	2.551	1.63E+06	8.00E-12	1.30172E-05	0.001	1.3017228		0.0449		3.5055675		0.04427
	2 - Propanol	6.004	4.95E+07	2.00E-12	9.90643E-05	0.001	9.9064297		0.3417		26.6782275		0.33694
3.48126 x 10 ⁻⁴	Etanol	4.281	5.57E+07	3.00E-12	0.000167211	0.001	16.721064	28	0.6055	1	47.2744125	78.99	0.59673
	Air	2.661	1.15E+06	8.00E-12	9.22351E-06	0.001	0.922351		0.0334		3.3285772		0.04202
	2 - Propanol	6.308	4.99E+07	2.00E-12	9.97188E-05	0.001	9.9718848		0.3611		28.38246		0.35826

**Hasil Gas Chromatography untuk Distilasi 2
Distilat pada Porositas 20 %**

Rate Up (kg/s)	Komponen	R.Ti me	Area	Faktor Kalibrasi	Konsentrasi volume	Volume Inject (mL)	% Volume	Total	% Volume disampel	Total (%)	Kadar (g/L)	Total (g)	% Massa disampel
2.3519 $\times 10^{-4}$	Etanol	4.019	8.25E+07	3.00E-12	0.000247617	0.001	24.761672	29	0.8565	1	66.8712375	79.21	0.84316
	Air	2.551	1.82E+06	8.00E-12	1.45708E-05	0.001	1.4570791		0.0504		5.0227632		0.06333
	2 - Propanol	6.431	1.35E+07	2.00E-12	2.69155E-05	0.001	2.6915489		0.0931		7.31766		0.09227
2.9413 $\times 10^{-4}$	Etanol	3.891	8.64E+07	3.00E-12	0.00025912	0.001	25.911968	29	0.8901	1	69.96186	78.6	0.8836
	Air	2.731	1.56E+06	8.00E-12	1.24887E-05	0.001	1.2488748		0.0429		3.37194		0.04259
	2 - Propanol	6.145	9.75E+06	2.00E-12	1.95046E-05	0.001	1.9504571		0.067		5.2662		0.06651
3.4812 6×10^{-4}	Etanol	4.229	8.07E+07	3.00E-12	0.000242134	0.001	24.213432	27	0.8827	1	68.9168025	78.42	0.86992
	Air	2.156	4.59E+05	8.00E-12	3.67577E-06	0.001	0.3675767		0.0134		1.3354172		0.01686
	2 - Propanol	6.209	1.43E+07	2.00E-12	2.85009E-05	0.001	2.8500913		0.1039		8.16654		0.10308

Distilat pada Porositas 40%

Rate Uap (kg/s)	Komponen	R. Time	Area	Faktor Kalibrasi	Konsentrasi volume	Volume Injeksi (mL)	% Volume	Total	% Volume disampel	Total (%)	Kadar (g/L)	Total (g)	% Massa disampel
2.3519 x 10 ⁻⁴	Etanol	4.132	8.50E+07	3.00E-12	0.000254943	0.001	25.494311	29	0.8799	1	68.6981925	78.89	0.86619
	Air	2.684	1.30E+06	8.00E-12	1.03727E-05	0.001	1.0372728		0.0358		3.5677564		0.04498
	2-Propanol	6.313	1.22E+07	2.00E-12	2.44252E-05	0.001	2.4425166		0.0843		6.62598		0.08354
2.9413 x 10 ⁻⁴	Etanol	3.908	8.76E+07	3.00E-12	0.000262734	0.001	26.273389	29	0.8932	1	70.20552	78.6	0.88668
	Air	2.448	1.17E+06	8.00E-12	9.32452E-06	0.001	0.9324523		0.0317		2.49162		0.03147
	2-Propanol	5.987	1.10E+07	2.00E-12	2.20906E-05	0.001	2.209059		0.0751		5.90286		0.07455

3.48126 $\times 10^{-4}$	Etanol	4.201	8.11E+07	3.00E-12	0.000243436	0.001	24.34357	27	0.8969	1	70.0254675	78.76	0.88391
	Air	2.443	1.01E+06	8.00E-12	8.11543E-06	0.001	0.8115428		0.0299		2.9797742		0.03761
	2 - Propanol	6.388	9.93E+06	2.00E-12	1.98679E-05	0.001	1.9867871		0.0732		5.75352		0.07263

Distilat pada Porositas 60%

Rate Uap (kg/s)	Komponen	R.Ti me	Area	Faktor Kalibrasi	Konsentrasi volume	Volume Injeksi (mL)	% Volume	Total	% Volume disampel	Total (%)	Kadar (g/L)	Total (g)	% Massa disampel
2.3519 x 10^{-4}	Etanol	3.997	8.10E+07	3.00E-12	0.000242926	0.001	24.292552	29	0.8481	1	66.2154075	79.4	0.83489
	Air	2.516	2.12E+06	8.00E-12	1.69283E-05	0.001	1.6928309		0.0591		5.8897878		0.07426
	2 - Propanol	5.994	1.33E+07	2.00E-12	2.65812E-05	0.001	2.6581168		0.0928		7.29408		0.09197

2.9413 x 10 ⁻⁴	Etanol	4.09 3	8.46E+0 7	3.00E- 12	0.00025 3735	0.001	25.373 507	28	0.893 1	1	70.19766	78. 6	0.88658
	Air	2.46 6	1.59E+0 6	8.00E- 12	1.26995 E-05	0.001	1.2699 538		0.044 7		3.51342		0.04437
	2 - Propan ol	5.95 9	8.84E+0 6	2.00E- 12	1.76714 E-05	0.001	1.7671 393		0.062 2		4.88892		0.06175
3.48126 x 10 ⁻⁴	Etanol	4.25	8.07E+0 7	3.00E- 12	0.00024 1992	0.001	24.199 186	28	0.867 6	1	67.73787	79. 19	0.85504
	Air	2.44 6	1.73E+0 6	8.00E- 12	1.38066 E-05	0.001	1.3806 59		0.049 5		4.933071		0.06227
	2 - Propan ol	6.22 9	1.16E+0 7	2.00E- 12	2.31226 E-05	0.001	2.3122 551		0.082 9		6.51594		0.08225

Hasil Gas Chromatography untuk Adsorpsi

Sampel untuk perbandingan adsorbent

Komponen	R. Time	Area	Faktor Kalibrasi	Konsentrasi volume	Volume Inject (mL)	% Volume	Total	% Volume disampel	Total (%)	Kadar (g/L)	Total (g)	% Massa disampel
Etanol	4.132	8.50E+07	3.00E-12	0.000254943	0.001	25.494311	29	0.8799	1	68.6981925	78.89	0.86619
Air	2.684	1.30E+06	8.00E-12	1.03727E-05	0.001	1.0372728		0.0358		3.5677564		0.04498
2 - Propanol	6.313	1.22E+07	2.00E-12	2.44252E-05	0.001	2.4425166		0.0843		6.62598		0.08354

Bio – Based Adsorbent

Waktu (mnt)	Komponen	R.Ti me	Area	Faktor Kalibrasi	Konsentrasi volume	Volume Injekt (mL)	% Volume	Tot al	% Volume disampel	Tot al, %	Kadar (g/L)	Tot al (g)	% Massa disampel
0	Etanol	4.132	8.50E+07	3.00E-12	0.000254943	0.001	25.494311	29	0.8799	1	68.6981925	78.89	0.86619
	Air	2.684	1.30E+06	8.00E-12	1.03727E-05	0.001	1.0372728		0.0358		3.5677564		0.04498
	2-Propanol	6.313	1.22E+07	2.00E-12	2.44252E-05	0.001	2.4425166		0.0843		6.62598		0.08354
Waktu (menit)	Komponen	R.Ti me	Area	Faktor Kalibrasi	Konsentrasi volume	Volume Injekt (mL)	% Volume	Tot al	% Volume disampel	Tot al (%)	Kadar (g/L)	Tot al (g)	% Massa disampel
15	Etanol	4.116	9.09E+07	3.00E-12	0.000272755	0.001	27.275458	30	0.9241	1	72.1491075	78.18	0.90971
	Air	2.555	1.18E+05	8.00E-12	9.44502E-07	0.001	0.0944502		0.0032		0.3189056		0.00402
	2-Propanol	6.993	1.07E+07	2.00E-12	2.14579E-05	0.001	2.1457914		0.0727		5.71422		0.07205

Waktu (menit)	Komponen	R.Ti me	Area	Faktor Kalibrasi	Konsentrasi volume	Volume Injeksi (mL)	% Volume	Total	% Volume disampel	Total (%)	Kadar (g/L)	Total (g)	% Massa disampel
30	Etanol	3.94	8.87E+07	3.00E-12	0.000266226	0.001	26.62259	28	0.9361	1	73.0860075	78.15	0.92152
	Air	2.579	7.47E+04	8.00E-12	5.97238E-07	0.001	0.0597238		0.0021		0.2092818		0.00264
	2 - Propanol	6.352	8.79E+06	2.00E-12	1.75759E-05	0.001	1.7575858		0.0618		4.85748		0.06125
Waktu (menit)	Komponen	R.Ti me	Area	Faktor Kalibrasi	Konsentrasi volume	Volume Injeksi (mL)	% Volume	Total	% Volume disampel	Total (%)	Kadar (g/L)	Total (g)	% Massa disampel
45	Etanol	4.108	8.84E+07	3.00E-12	0.000265075	0.001	26.507528	29	0.9133	1	71.3058975	78.18	0.89907
	Air	2.449	9.43E+04	8.00E-12	7.54621E-07	0.001	0.0754621		0.0026		0.2591108		0.00327
	2 - Propanol	6.219	1.22E+07	2.00E-12	2.44091E-05	0.001	2.44091		0.0841		6.61026		0.08335

Adsorbent Molecular Sieve 3A

Waktu (menit)	Komponen	R. Time	Area	Faktor Kalibrasi	Konsentrasi volume	Volume Injekt (mL)	% Volume	Total	% Volume disampel	Total (%)	Kadar (g/L)	Total (g)	% Massa disampel
0	Etanol	4.132	8.50E+07	3.00E-12	0.000254943	0.001	25.494311	29	0.8799	1	68.6981925	78.89	0.86619
	Air	2.684	1.30E+06	8.00E-12	1.03727E-05	0.001	1.0372728		0.0358		3.5677564		0.04498
	2 - Propanol	6.313	1.22E+07	2.00E-12	2.44252E-05	0.001	2.4425166		0.0843		6.62598		0.08354
Waktu (mnt)	Komponen	R. Time	Area	Faktor Kalibrasi	Konsentrasi volume	Volume Injekt (mL)	% Volume	Total	% Volume disampel	Total (%)	Kadar (g/L)	Total (g)	% Massa disampel
15	Etanol	4.199	8.55E+07	3.00E-12	0.00025639	0.001	25.638969	28	0.9125	1	71.2434375	78.23	0.89829
	Air	2.562	1.86E+05	8.00E-12	1.48917E-06	0.001	0.1489168		0.0053		0.5281874		0.00666
	2 - Propan	6.392	1.15E+07	2.00E-12	2.30961E-05	0.001	2.3096145		0.0822		6.46092		0.08146

Waktu (menit)	Komponen	R. Time	Area	Faktor Kalibrasi	Konsentrasi volume	Volume Injeksi (mL)	% Volume	Total	% Volume disampel	Total (%)	Kadar (g/L)	Total (g)	% Massa disampel
30	Etanol	4.103	9.11E+07	3.00E-12	0.000273189	0.001	27.318886	30	0.9244	1	72.17253	78.21	0.91
	Air	2.892	1.59E+05	8.00E-12	1.27078E-06	0.001	0.1270783		0.0043		0.4285294		0.0054
	2 - Propanol	6.443	1.05E+07	2.00E-12	2.10714E-05	0.001	2.107136		0.0713		5.60418		0.07066
Waktu (menit)	Komponen	R. Time	Area	Faktor Kalibrasi	Konsentrasi volume	Volume Injeksi (mL)	% Volume	Total	% Volume disampel	Total (%)	Kadar (g/L)	Total (g)	% Massa disampel
45	Etanol	4.335	8.72E+07	3.00E-12	0.000261467	0.001	26.146731	28	0.9193	1	71.7743475	78.2	0.90498
	Air	2.921	1.39E+05	8.00E-12	1.10924E-06	0.001	0.1109238		0.0039		0.3886662		0.0049
	2 - Propanol	6.39	1.09E+07	2.00E-12	2.18435E-05	0.001	2.1843456		0.0768		6.03648		0.07611

Perhitungan fraksi uap pada hasil distilasi

Komponen

1 = Etanol

2 = 2 – Propanol

3 = Air

Mencari P^{sat} dengan Antoine
Etanol dan Air

$$\ln P^{\text{sat}} (\text{kPa}) = A - \frac{B}{T(^{\circ}\text{C}) + C}$$

Komponen	A	B	C
Etanol	16.8958	3795.17	230.918
Air	16.3872	3885.7	230.17

2 – Propanol

$$\ln P^{\text{sat}} (\text{bar}) = A - \frac{B}{T(\text{K}) + C}$$

Komponen	A	B	C
2 – Propanol	4.57795	1221.423	-87.474

Contoh perhitungan P^{sat} tiap komponen pada *feed*

Suhu *feed* = $30^{\circ}\text{C} = 303.15 \text{ K}$

Etanol

$$\begin{aligned} \ln P^{\text{sat}} (\text{kPa}) &= A - \frac{B}{T(^{\circ}\text{C}) + C} \\ &= 16.8958 + \frac{3795.17}{30 + 230.918} = 2.3503 \end{aligned}$$

$$P^{\text{sat}} = e^{2.3503} = 10.4867 \text{ kPa}$$

Air

$$\ln P^{sat} (kPa) = A - \frac{B}{T(^{\circ}C) + C}$$
$$= 16.3872 + \frac{3885.7}{30 + 230.17} = 1.4520$$

$$P^{sat} = e^{1.4520} = 4.2709 \text{ kPa}$$

2 – Propanol

$$\ln P^{sat} (bar) = A - \frac{B}{T(K) + C}$$
$$= 4.57795 + \frac{1221.423}{303.15 + (-87.474)}$$
$$= -1.0853$$

$$P^{sat} = 100 \times (e^{-2.4177}) = 33.7845 \text{ kPa}$$

Menghitung P

$$P = x_1 P_1^{sat} + x_2 P_2^{sat} + x_3 P_3^{sat}$$

Contoh perhitungan P pada *feed*

$$P = 0.068 \times 10.4867 + 0.768 \times 8.9146 + 0.164$$
$$\times 33.7845 = 9.533 \text{ kPa}$$

Menghitung fraksi uap (y_i)

$$y_i = \frac{x_i \times P^{sat}}{P}$$

Contoh perhitungan y_i pada tiap komponen di *feed*

Etanol

$$y_1 = \frac{x_1 \times P^{sat}}{P} = \frac{0.068 \times 10.4867}{9.533} = 0.0748$$

2 - Propanol

$$y_2 = \frac{x_2 \times P^{sat}}{P} = \frac{0.164 \times 33.7845}{9.533} = 0.5812$$

Air

$$y_3 = \frac{x_3 \times P^{sat}}{P} = \frac{0.768 \times 4.2709}{9.533} = 0.3440$$

Feed						
No	Komponen	Vol (%)	x	P sat (kPa)	P (kPa)	y
1	Ethanol	6.8	0.068	10.4867	9.5338	0.0748
2	2 - Propanol	16.4	0.164	33.7845		0.5812
3	Air	76.8	0.768	4.2709		0.3440

Distilasi

Porositas 20 %

Rate Uap 2.3519×10^{-4} kg/s

No	Komponen	Distilat (%)	x	P sat (kPa)	P (kPa)	y
1	Ethanol	85.6500	0.8565	108.7418	102.4955	0.9087
2	2 - Propanol	9.3100	0.0931	98.0725		0.0482
3	Air	5.0400	0.0504	47.4252		0.0431

Rate Uap 2.9413 x 10⁻⁴ kg/s

No	Komponen	Distilat (%)	x	P sat (kPa)	P (kPa)	y
1	Ethanol	89.0100	0.8901	131.9133	127.0510	0.9242
2	2 - Propanol	6.7000	0.067	106.7642		0.0563
3	Air	4.2900	0.0429	57.8514		0.0195

Rate Uap 3.48126 x 10⁻⁴ kg/s

No	Komponen	Distilat (%)	x	P sat (kPa)	P (kPa)	y
1	Ethanol	88.2700	0.8827	159.0620	149.2435	0.9408
2	2 - Propanol	10.3900	0.1039	115.8687		0.0104
3	Air	1.3400	0.0134	70.1331		0.0488

Porositas 40 %**Rate Uap 2.3519 x 10⁻⁴ kg/s**

No	Komponen	Distilat (%)	x	P sat (kPa)	P (kPa)	y
1	Ethanol	87.9900	0.8799	108.7418	103.1909	0.9335
2	2 - Propanol	8.4300	0.0843	98.0725		0.0343
3	Air	3.5800	0.0358	47.4252		0.0390

Rate Uap 2.9413×10^{-4} kg/s

No	Komponen	Distilat (%)	x	P sat (kPa)	P (kPa)	y
1	Ethanol	89.3200	0.8932	131.9133	127.6768	0.9228
2	2 - Propanol	7.5100	0.0751	106.7642		0.0628
3	Air	3.1700	0.0317	57.8514		0.0144

Rate Uap 3.48126×10^{-4} kg/s

No	Komponen	Distilat (%)	x	P sat (kPa)	P (kPa)	y
1	Ethanol	89.6900	0.8969	159.0620	151.2609	0.9559
2	2 - Propanol	7.3200	0.0732	115.8687		0.0232
3	Air	2.9900	0.0299	70.1331		0.0344

Porositas 60 %**Rate Uap 2.3519×10^{-4} kg/s**

No	Komponen	Distilat (%)	x	P sat (kPa)	P (kPa)	y
1	Ethanol	84.8100	0.8481	108.7418	102.4211	0.8998
2	2 - Propanol	9.2800	0.0928	98.0725		0.0565
3	Air	5.9100	0.0591	47.4252		0.0429

Rate Uap 2.9413×10^{-4} kg/s

No	Komponen	Distilat (%)	x	P sat (kPa)	P (kPa)	y
1	Ethanol	89.3100	0.8931	131.9133	127.0384	0.9274
2	2 - Propanol	6.2200	0.0622	106.7642		0.0523
3	Air	4.4700	0.0447	57.8514		0.0204

Rate Uap 3.48126×10^{-4} kg/s

No	Komponen	Distilat (%)	x	P sat (kPa)	P (kPa)	y
1	Ethanol	86.7600	0.8676	159.0620	149.5517	0.9247
2	2 - Propanol	8.2900	0.0829	115.8687		0.0384
3	Air	4.9500	0.0495	70.1331		0.0390

Perhitungan HETP

$$HETP = \frac{Z}{N_{min}}$$

Z = tinggi *packing* = 1,5 m

N_{min} = jumlah plate minimum

Perhitungan menggunakan *Fenske Equation*

$$N_{min} = \frac{\log \left[\left(\frac{x_{LK,D}}{x_{LK,F}} \right) \left(\frac{x_{HK,F}}{x_{HK,D}} \right) \right]}{\log \alpha_{LK, HK}} \quad \alpha_{LK, HK} = \frac{y_{LK} / x_{LK}}{y_{HK} / x_{HK}}$$

LK = *Light Key* (Etanol)

HK = *Heavy Key* (2 - Propanol)

$x_{a,b}$ = fraksi liquid a pada b

Porositas (%)	Rate Uap (kg/s)	Komponen	x	y	α	N min	HETP (m)
20	2.3519×10^{-4}	Etanol	0.8565	0.9087	2.4482	11.029	0.136
		Air	0.0504	0.0431			
		2 - Propanol	0.0931	0.0482			
	2.9413×10^{-4}	Etanol	0.8901	0.9242	2.0486	10.279	0.146
		Air	0.0429	0.0195			
		2 - Propanol	0.067	0.0563			
	3.48126×10^{-4}	Etanol	0.8827	0.9408	1.6443	9.994	0.151
		Air	0.0134	0.0488			
		2 - Propanol	0.1039	0.0104			
40	2.3519×10^{-4}	Etanol	0.8799	0.9335	4.8235	14.565	0.103
		Air	0.0358	0.0390			
		2 - Propanol	0.0843	0.0343			

2.9413 x 10 ⁻⁴	Etanol	0.8932	0.9228	4.3921	13.041	0.115
	Air	0.0317	0.0144			
	2 - Propanol	0.0751	0.0628			
3.48126 x 10 ⁻⁴	Etanol	0,735	0,798	3.2873	12.782	0.118
	Air	0,001	0,000			
	2 - Propanol	0,264	0,202			

Porositas (%)	Rate Uap (kg/s)	Komponen	x	y	α	N min	HETP (m)
60	2.3519×10^{-4}	Etanol	0.8481	0.8998	5.542	16.125	0.093
		Air	0.0591	0.0429			
		2 - Propanol	0.0928	0.0565			
	2.9413×10^{-4}	Etanol	0.8931	0.9274	5.329	17.276	0.087
		Air	0.0447	0.0204			
		2 - Propanol	0.0622	0.0523			
	3.48126×10^{-4}	Etanol	0.8676	0.9247	5.284	18.757	0,085
		Air	0.0495	0.0390			
		2 - Propanol	0.0829	0.0384			

A.2. Adsorpsi

Bio based Adsorbent

Berat total adsorbent yang digunakan = 159.61 g

Kemampuan menyerap air secara teoritis oleh eksperimen : 7 – 9%

Perhitungan jumlah air yang terserap

Perhitungan dilakukan pada saat kadar etanol tertinggi
Komposisi *feed* awal

Komposisi <i>Feed</i> (%)		
Etanol	Air	2 - Propanol
87.99	3.58	8.43

Pada suhu 120 °C kadar etanol tertinggi pada menit ke-30 dengan komposisi

Komposisi Produk (%)		
Etanol	Air	2 - Propanol
93.61	0.21	6.18

Air yang terserap pada *bio based adsorbent* sebesar $(3.58\% - 0.21\%) \times 100 \text{ mL} = 3.37 \text{ mL}$. Dengan efisiensi terbaik sebesar $(3.58/7) \times 100 \% = 67.43\%$.

Molecular Sieve 3A

Kapasitas maksimum air yang dapat diserap

Kapasitas maksimum air yg dapat diserap = 21 mg H₂O / g *molecular sieve 3A*

Berat total *molecular sieve* yang digunakan sepanjang kolom = 304.82 g

Massa air yang dapat diserap = 21 mg x 304.82 = 6401.22 mg = 6.4101 g

Volume air yang mampu diserap secara teoritis = 6.4 ml

Perhitungan jumlah air yang terserap

Perhitungan dilakukan pada saat kadar etanol tertinggi

Komposisi *feed* awal

Komposisi <i>Feed</i> (%)		
Etanol	Air	2 - Propanol
87.99	3.58	8.43

Pada suhu 120 °C kadar etanol tertinggi pada menit ke-30 dengan komposisi

Komposisi Produk (%)		
Etanol	Air	2 - Propanol
92.44	0.43	7.13

Air yang terserap pada *molecular sieve 3A* sebesar $(3.58\% - 0.43\%) \times 100 \text{ mL} = 3.15 \text{ mL}$

Dengan efisiensi sebesar $(3.15 / 6.4) \times 100 \% = 50.85\%$.

RIWAYAT HIDUP PENULIS



Namira Adiya Tedji, putri terakhir dari empat bersaudara dari pasangan Lukman Tedji dan Erna Swadesi. Penulis dilahirkan di Pekanbaru yang terletak di Provinsi Riau, pada tanggal 18 Nopember 1993. Penulis mulai mengenyam pendidikan di SDIT Al-Ittihad Pekanbaru, SMPIT Al-Ittihad Pekanbaru, dan SMA Cendana Pekanbaru. Selanjutnya penulis melanjutkan pendidikan ke jenjang

perkuliahan di Program Studi S-1 Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Penulis memilih Laboratorium Penelitian Teknologi Biokimia dan kemudian melakukan penelitian yang berjudul :

“PEMISAHAN CAMPURAN ETANOL – OKTANOL – AIR DENGAN PROSES DISTILASI DALAM *STRUCTURED PACKING* DAN DEHIDRASI MENGGUNAKAN *MOLECULAR SIEVE AND BIO – BASED ADSORBENT* UNTUK PRODUKSI ETANOL *FOOD GRADE*”.

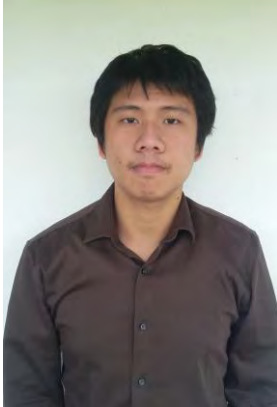
Email Penulis : adiya.tedji@gmail.com

No. HP : +628 12 9907 8656

Motto : There is always good side in every situations.

Pesan : Don't be a procrastinator

RIWAYAT HIDUP PENULIS



Jevon Solnaldo, putra pertama dari dua bersaudara dari pasangan Julianto dan Nelly Nilasari. Penulis dilahirkan di Medan yang terletak di Provinsi Sumatera Utara, pada tanggal 5 April 1993. Penulis mulai mengenyam pendidikan di SD Methodist 3 Medan, SMP Kr. Petra 1 Surabaya, dan SMA Kr. Petra 1 Surabaya. Selanjutnya penulis melanjutkan pendidikan ke jenjang perkuliahan di Program Studi S-

1 Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Penulis memilih Laboratorium Penelitian Teknologi Biokimia dan kemudian melakukan penelitian yang berjudul :

“PEMISAHAN CAMPURAN ETANOL – OKTANOL – AIR DENGAN PROSES DISTILASI DALAM *STRUCTURED PACKING* DAN DEHIDRASI MENGGUNAKAN *MOLECULAR SIEVE AND BIO – BASED ADSORBENT* UNTUK PRODUKSI ETANOL *FOOD GRADE*”.

Email Penulis : jevonsolnaldo@gmail.com

No. HP : +628 78 5504 1549

Motto : In God alone I trust all my hopes and dreams.

Pesan : Just be yourself !