



**DISTILASI ADSORPTIF MENGGUNAKAN GEL
SILIKA PADA PEMURNIAN ETANOL**

Skripsi

**diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana
Teknik Program Studi Teknik Kimia**

Oleh

Reni Ainun Jannah

5213412023

**JURUSAN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG**

2016

PERSETUJUAN PEMBIMBING

Nama : Reni Ainun Jannah
NIM : 5213412023
Nama : Indi Rahayuningtiyas
NIM : 5213412027
Jurusan : S-1 Teknik Kimia

Skripsi

Judul Skripsi : Distilasi Adsorptif Menggunakan Gel Silika Pada
Pemurnian Etanol

Skripsi ini telah disetujui oleh pembimbing untuk diajukan ke panitia ujian skripsi
Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.

Semarang, 12 Agustus 2016
Pembimbing



Dr. Megawati, S.T., M.T.
NIP 197211062006042001

PENGESAHAN

Skripsi dengan judul Distilasi Adsorptif Menggunakan Gel Silika pada Pemurnian Etanol telah dipertahankan di depan sidang Panitia Ujian Skripsi Fakultas Teknik UNNES pada tanggal 22 bulan Agustus tahun 2016

Oleh

Nama : Reni Ainun Jannah NIM. 5213412023
Nama : Indi Rahayuningtiyas NIM. 5213412027
Program Studi : S-1 Teknik Kimia

Panitia

Ketua Panitia



Dr. Wara Dyah Pita Rengga, S.T., M.T.
NIP 197405191999032001

Sekretaris



Dr. Megawati, S.T.,M.T.
NIP 197211062006042001

Penguji I



Dr. Widi Astuti, S.T., M.T.
NIP 197310172000032001

Penguji II



Dr. Wara Dyah P.R., S.T., M.T.
NIP 197405191999032001

Pembimbing



Dr. Megawati, S.T.,M.T.
NIP 197211062006042001

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik



Dr. Nur Qudus, M.T.
NIP 196911301994031001

PERNYATAAN KEASLIAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa :

1. Skripsi ini, adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik (sarjana, magister, dan/atau doktor), baik di Universitas Negeri Semarang (UNNES) maupun di perguruan tinggi lain.
2. Karya tulis ini adalah murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain, kecuali arahan Pembimbing dan masukkan Tim Penguji.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya ini, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi ini.

Semarang, 12 Agustus 2016

Yang membuat pernyataan,



Reni Ainun Jannah
NIM 5213412023

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

MOTTO

Sesungguhnya sesudah kesulitan ada kemudahan. Maka apabila engkau telah selesai (dari suatu urusan), maka kerjakanlah (urusan yang lain) dengan sungguh-sungguh. (QS. Al-Insyirah : 6-7).

PERSEMBAHAN

1. Allah SWT.
2. Ayah dan Ibu.
3. Dosen-dosenku.
4. Sahabat-sahabatku.
5. Almamaterku.

ABSTRAK

Jannah, Reni Ainun dan Rahayuningtiyas, Indi. 2016. Distilasi Adsorptif Menggunakan Gel Silika pada Pemurnian Etanol. Skripsi: Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang. Dosen Pembimbing: Dr. Megawati, S.T., M.T.

Kebutuhan bahan bakar minyak, khususnya premium semakin meningkat. Berkenaan dengan itu, perlu dicari alternatif pengganti yang dapat diperbaharui, misalnya etanol. Etanol sebagai bahan bakar/ campuran bahan bakar harus dapat melampaui titik azeotrop campuran etanol-air yaitu $>96,5\%$ v/v. Etanol $>96,5\%$ tidak bisa diperoleh jika menggunakan proses distilasi sederhana, sehingga perlu metode pemurnian yang dapat menghasilkan konsentrasi hingga melampaui titik azeotropnya, yaitu metode distilasi adsorptif dengan menggunakan adsorben gel silika biru dan putih. Adapun tujuan penelitian ini untuk membandingkan kedua jenis adsorben tersebut dan memperoleh parameter optimum proses, seperti koefisien transfer massa (k_{ca}), koefisien dispersi aksial (D_{ax}) dan konstanta Henry (H) yang sangat diperlukan dalam perancangan kolom adsorpsi. Pada penelitian ini konsentrasi etanol umpan $90,8\%$ v/v dan suhu proses dijaga konstan 78°C . Uap etanol mengalir pada kolom adsorben yang tingginya $14,5$ cm dan berisi gel silika sebanyak $25,5$ g. Hasil percobaan menunjukkan bahwa metode distilasi adsorptif menggunakan gel silika sebagai adsorben dapat digunakan untuk memurnikan etanol melebihi kadar azeotropnya. Konsentrasi etanol tertinggi diperoleh menggunakan adsorben gel silika putih yaitu $96,671\%$, sedangkan menggunakan gel silika biru hanya $95,662\%$. Kondisi tersebut dicapai pada waktu 50 dan 55 menit, masing-masing untuk gel silika putih dan biru. Distilasi adsorptif dengan menggunakan gel silika putih dapat melampaui titik azeotrop, sedangkan gel silika biru tidak dapat. Kapasitas adsorpsi gel silika putih sebesar $0,56$ g air/g adsorben. Nilai C/C_{A0} pada gel silika biru sebesar $0,507$, sedangkan untuk gel silika putih adalah $0,622$. Adapun hasil pemodelan yang paling baik ditunjukkan pada model 2 (adanya dispersi *unsteady state*) dengan ralat rerata $4,39\%$ dan $6,63\%$ masing-masing untuk gel silika biru dan putih. Model 2 pada gel silika biru diperoleh nilai k_{ca} , D_{ax} , C_A^* , dan H masing-masing yaitu $0,038/\text{det}$; $0,01$ cm^2/det ; $4,25\%$ dan $2,0706$, tetapi nilai yang diperoleh dari gel silika putih yaitu $0,045/\text{det}$; $0,01$ cm^2/det ; $4,15\%$ dan $2,120$.

Kata kunci : distilasi adsorptif, transfer massa gel, silika, pemurnian, etanol

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT, yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya. Penulis sangat bersyukur karena dengan rahmat dan hidayah-Nya serta partisipasi dari berbagai pihak yang telah banyak membantu baik moril maupun materil sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi yang berjudul “Distilasi Adsorptif Menggunakan Gel Silika Pada Pemurnian Etanol”. Oleh karena itu dengan kerendahan hati penulis sampaikan ucapan terimakasih kepada:

1. Dr. Nur Qudus, M.T., sebagai Dekan Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang yang telah memberikan ijin penelitian dalam memperlancar penyelesaian skripsi ini.
2. Dr. Wara Dyah Pita Rengga, S.T., M.T., sebagai Ketua Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang sekaligus menjadi Dewan Penguji yang telah memberikan masukan dan pengarahan dalam penyempurnaan penyusunan skripsi ini.
3. Dr. Megawati, S.T., M.T., sebagai Dosen Pembimbing yang telah memberikan waktu, bimbingan, motivasi dan petunjuk dalam menyelesaikan skripsi ini.
4. Dr. Widi Astuti, S.T., M.T., sebagai Dewan Penguji yang telah memberikan masukan dan pengarahan dalam penyempurnaan penyusunan skripsi.
5. Kedua orang tua yang senantiasa memberikan dukungan dan doa.
6. Keluarga besar mahasiswa Teknik Kimia angkatan 2012 yang selalu memberikan semangat dan motivasi hingga terselesainya skripsi ini.
7. Semua pihak yang telah membantu hingga terselesaikannya skripsi ini.

Penulis juga menyadari bahwa dalam skripsi ini masih banyak kekurangan, oleh karena itu dengan segala kerendahan hati penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dalam perbaikan skripsi ini.

Semarang, Agustus 2016

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERSETUJUAN PEMBIMBING	ii
PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN	iv
MOTTO DAN PERSEMBAHAN	v
ABSTRAK	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
DAFTAR NOTASI	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Identifikasi Masalah	5
1.3 Pembatasan Masalah	5
1.4 Perumusan Masalah	5
1.5 Tujuan Penelitian.....	6
1.6 Manfaat Penelitian	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	8
2.1 Sistem Azeotrop Etanol-Air	8
2.2 <i>Fixed Adsorptive Distillation</i>	11
2.3 Gel Silika	13
2.4 Persamaan Model Matematis Distilasi Adsorptif pada Kolom <i>Fixed Bed</i>	16
BAB III METODE PENELITIAN	22
3.1 Waktu dan Tempat Pelaksanaan	22
3.2 Alat dan Bahan Penelitian	22

3.3 Variabel Penelitian	23
3.4 Prosedur Penelitian.....	23
3.5 Teknik Analisis Data	24
3.6 Metode Pemilihan Model	24
3.7 Algoritma	25
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	26
1.1 Performa Alat Distilasi Adsorptif.....	26
1.2 Perbedaan Gel Silika Biru dan Putih	27
1.3 Perbandingan Rasio Berat Air Terjerap Terhadap Berat Air Mula- mula Menggunakan Gel Silika Biru dan Putih.....	30
1.4 Berat Air yang Terjerap Adsorben Setiap Waktu	32
1.5 Hasil Pemodelan Distilasi Adsorptif Etanol Air	35
1.6 Model Adanya Dispersi Aksial dan Tanpa Dispersi Aksial Pada Kondisi <i>Steady State</i> dan <i>Unsteady State</i>	38
1.7 Pengaruh Tinggi <i>Bed</i> Terhadap Konsentrasi Air	41
BAB V PENUTUP	43
5.1 Simpulan	43
5.2 Saran	43
DAFTAR PUSTAKA	44
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Data Keseimbangan Sistem Etanol-Air pada Tekanan 1 atm.....	27
Tabel 4.2 Kosentrasi Etanol Hasil Distilasi Adsorptif Menggunakan Adsorben Gel Silika Biru	28
Tabel 4.3 Kosentrasi Etanol Hasil Distilasi Adsorptif Menggunakan Adsorben Gel Silika Putih	29
Tabel 4.4 Data Konsentrasi Etanol Terhadap Densitas	32
Tabel 4.5 Data Berat Air yang Terjerap Setiap Waktu Menggunakan Gel Silika Putih	34
Tabel 4.6 Hasil Parameter Optimum Proses 4 Model Pada Gel Silika Biru	36
Tabel 4.7 Hasil Parameter Optimum Proses 4 Model Pada Gel Silika Putih	37

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Data Statistik Konsumsi/Penjualan BBM	2
Gambar 2.1 Kurva Kesetimbangan Sistem Etanol-Air pada Tekanan 1 atm.....	8
Gambar 2.2 Diagram Proses <i>Pressure Swing Distillation</i>	9
Gambar 2.3 Pemisahan Sistem Etanol-Air dengan Cara <i>Extractive Distillation</i> ..	11
Gambar 2.4 Tiga zona operasi <i>fixed adsorptive distillation</i> pada titik didih minimum azeotrop: distilasi (I), adsorpsi (II) dan distilasi (III)	12
Gambar 2.5 Hubungan Antara Waktu Terhadap Konsentrasi Etanol pada Jenis Tumpukan Terstruktur (Zeolit Alam dan Gel Silika)	15
Gambar 2.6 Hubungan Antara Waktu Terhadap Konsentrasi Etanol pada Jenis Tumpukan Acak (Zeolit Alam dan Gel Silika)	15
Gambar 2.7 Elemen Volume Setebal Δz	18
Gambar 3.1 Rangkaian Alat Distilasi Adsorptif	23
Gambar 4.1 Hubungan Antara Waktu Terhadap Konsentrasi Pada Gel Silika Putih dan Biru	30
Gambar 4.2 Kurva Rasio Berat Air Terjerap Terhadap Air Mula-mula Menggunakan Adsorben Gel Silika Biru dan Putih	31
Gambar 4.3 Hubungan Antara Waktu Terhadap Berat Air yang Terjerap Adsorben Menggunakan Adsorben Gel Silika Putih	35
Gambar 4.4 Perbandingan Model 1 (dengan Dispersi Aksial) dan 3 (tanpa Dispersi Aksial) pada Kondisi <i>Steady State</i> Menggunakan Gel Silika Biru	39
Gambar 4.5 Perbandingan Model 2 (dengan Dispersi Aksial) dan 4 (tanpa Dispersi Aksial) pada Kondisi <i>Unsteady State</i> Menggunakan Gel Silika Biru	39
Gambar 4.6 Perbandingan Model 1 (dengan Dispersi Aksial) dan 3 (tanpa Dispersi Aksial) pada Kondisi <i>Steady State</i> Menggunakan Gel Silika Putih	40
Gambar 4.7 Perbandingan Model 2 (dengan Dispersi Aksial) dan 4 (tanpa Dispersi Aksial) pada Kondisi <i>Unsteady State</i> Menggunakan Gel	

Silika Putih	40
Gambar 4.8 Prediksi Konsentrasi Etanol Sepanjang <i>Bed</i> pada Distilasi Adsorptif Etanol-Air Menggunakan Gel Silika Biru	41
Gambar 4.9 Prediksi Konsentrasi Etanol Sepanjang <i>Bed</i> pada Distilasi Adsorptif Etanol-Air Menggunakan Gel Silika Putih	42

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1. Hasil Uji *Gas Chromatography* Konsentrasi Etanol Menggunakan Adsorben Gel Silika Biru
- Lampiran 2. Hasil Uji *Gas Chromatoraphy* Konsentrasi Etanol Menggunakan Adsorben Gel Silika Putih
- Lampiran 3. Perhitungan Perbandingan Rasio Berat Air Terjerap Terhadap Berat Air Mula-mula
- Lampiran 4. Perhitungan Berat Air yang Terjerap Setiap Waktu
- Lampiran 5. Perhitungan Model Matematis

DAFTAR NOTASI

- C_A : konsentrasi air dalam etanol
- C_A^* : konsentrasi air dalam etanol yang setimbang dengan permukaan butir adsorben
- k_{ca} : koefisien transfer massa (1/waktu)
- H : konstanta Hukum Henry
- X_A : g uap air teradsorpsi / g adsorben
- ε : porositas *bed*, fraksi
- ρ_b : *bulk density* butir-butir adsorben
- F : kecepatan uap air masuk (volume/waktu)
- S : luas penampang kolom
- t : waktu
- Δz : jarak elemen volum
- D_{ax} : koefisien dispersi aksial
- % v/v : persen volum/volum
- % w/w : persen massa/massa
- ρ_A : densitas larutan etanol hasil analisis *Gas Chromatography* (g/mL)
- C_{A0} : konsentrasi air mula-mula

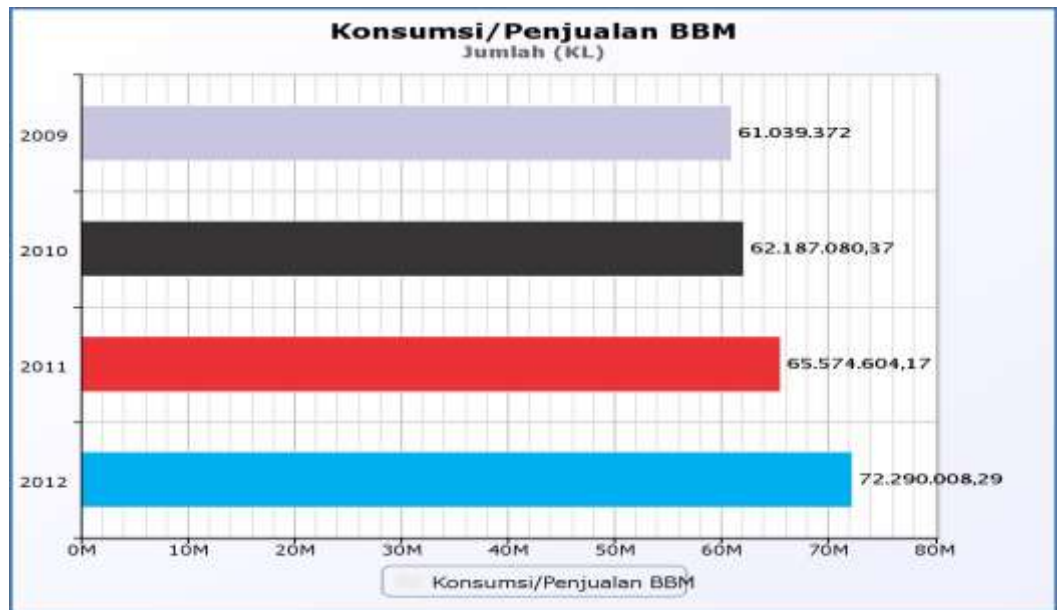
BAB I

PENDAHULAN

1.1 Latar Belakang

Dewasa ini energi sangat diperlukan dalam menjalankan berbagai aktivitas khususnya di Indonesia, baik untuk kebutuhan konsumsi maupun untuk aktivitas produksi berbagai sektor perekonomian dan transportasi. Energi harus dimanfaatkan sebaik-baiknya sebagai sumber daya alam bagi kemakmuran masyarakat dan pengelolaannya harus mengacu pada asas pembangunan berkelanjutan, sehingga diharapkan dapat meningkatkan kesejahteraan rakyat. Berdasarkan Kementerian ESDM (2009), Indonesia merupakan negara yang kaya dengan sumber daya energi baik energi yang bersifat dapat diperbaharui maupun yang tidak dapat diperbaharui. Namun selama ini sumber daya energi lebih banyak berasal dari eksplorasi minyak bumi atau sumber daya fosil yang bersifat tidak dapat diperbaharui, sedangkan ketersediaannya semakin menipis. Kondisi ini menyebabkan ketersediaan energi fosil, khususnya minyak mentah di Indonesia semakin langka.

Menurut data statistik Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (2015), di Indonesia konsumsi energi terutama bahan bakar minyak dari tahun 2009 sampai 2012 terus meningkat. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 1.1.



Gambar 1.1 Data Statistik Konsumsi/Penjualan BBM

Sumber: Kementerian ESDM, 2015

Pada Gambar 1.1 menunjukkan konsumsi/penjualan BBM dari tahun 2009 hingga 2012 terus mengalami kenaikan. Kenaikan yang signifikan ditunjukkan pada tahun 2011 ke tahun 2012. Menghadapi kondisi tersebut pemerintah telah menerbitkan Peraturan Presiden Republik Indonesia No. 5 tahun 2006 tentang kebijakan energi nasional untuk mengembangkan sumber energi alternatif sebagai pengganti bahan bakar minyak. Kebijakan tersebut menekankan pada sumber daya yang dapat diperbaharui sebagai alternatif pengganti bahan bakar minyak, salah satunya adalah etanol.

Industri etanol sebagian besar menggunakan proses fermentasi dalam menghasilkan produk dengan konsentrasi etanol 8-12%. Mengingat pemanfaatan etanol yang luas di bidang farmasi, kosmetik, bahan kimia dan campuran bahan bakar, industri penghasil etanol harus menyesuaikan permintaan karena setiap bidang membutuhkan tingkat kemurnian etanol yang berbeda-beda. Etanol murni adalah salah satu produk bioenergi atau energi terbarukan yang dapat digunakan sebagai alternatif pengganti bahan bakar sebagai solusi krisis energi. Etanol dapat diproduksi secara komersial melalui proses fermentasi biomassa dan distilasi

sederhana. Pada proses distilasi etanol-air, terdapat titik azeotrop yang sulit dicapai menjadi etanol murni (99,5%) melalui proses distilasi sederhana (Taufanny dkk., 2015).

Beberapa proses pemurnian etanol agar melampaui titik azeotropnya, diantaranya yaitu *extractive distillation*, *pressure swing distillation*, teknologi membran, dan distilasi adsorptif (Tadayon dkk., 2014; Kumar dkk., 2010; Mujiburohmah dkk., 2006; Dyartanti dkk., 2012; Chen dan Sheng, 2013). Kelemahan dari metode *extractive distillation*, yaitu membutuhkan *entrainer* sebagai komponen ketiga yang berperan dalam mengubah volatilitas relatif komponen kunci (Mujiburohman dkk., 2006; Kumar dkk., 2010; Bisowarno dkk., 2010). Pada metode *extractive distillation*, *entrainer* yang digunakan berupa garam terlarut, *ionic liquid*, dan senyawa-senyawa seperti benzena, n-pentana, sikloheksana, heksana, n-heptana, isooktana, aseton, dietil eter, dan polimer (Mujiburohman dkk., 2006; Kumar dkk., 2010; Bisowarno dkk., 2010). *Entrainer* tersebut memiliki beberapa kelemahan, antara lain harganya mahal, biaya modal dan konsumsi energi yang tinggi, serta ketergantungan pada bahan kimia beracun, seperti benzena (karsinogenik) (Tadayon dkk., 2014) dan sikloheksana (mudah terbakar) (Mujiburohman dkk., 2006; Kumar, 2010). Metode *pressure swing distillation* berbeda dengan distilasi biasa. Distilasi biasa dilakukan pada tekanan tetap tetapi *pressure swing distillation* dilakukan pada tekanan yang berbeda. Kondisi distilasi pada tekanan yang berbeda dimaksudkan untuk memurnikan suatu campuran dengan kadar melewati titik azeotropnya. Distilasi yang dioperasikan dengan beda tekanan (*pressure swing distillation*) akan membuat komposisi azeotrop suatu campuran berbeda pula sehingga titik azeotropnya akan terlewati ketika tekanannya dibuat beda. Metode ini relatif kurang efektif dan resiko tinggi (Kumar dkk., 2010; Wahyuni, 2012).

Teknologi membran digunakan sebagai metode untuk memisahkan campuran etanol-air untuk melampaui titik azeotropnya. Membran didefinisikan sebagai selaput tipis *semi permeabel* yang berfungsi sebagai rintangan (*barrier*) yang bersifat selektif diantara 2 fasa, sehingga hanya komponen tertentu yang

dapat menembus membran sedangkan komponen lainnya akan tertahan (Al-Asheh dkk.,2004). Teknologi membran atau yang dikenal dengan pervorasi telah digunakan untuk melampaui titik azeotrop campuran etanol-air dengan menggunakan membran polivinil alkohol (Cussler, 1997; Hickley dan Slater, 1990; Strathmann dan Gudernatsch, 1991; Choi dkk., 1992; Bruschke, 1990). Kelemahan dengan menggunakan teknologi membran adalah tidak cocok untuk diaplikasikan pada pemisahan yang melibatkan konsentrasi air yang tinggi dan mahal (Al-Asheh, 2004). Metode distilasi adsorptif merupakan metode untuk memurnikan campuran yang secara simultan uap campuran hasil distilasi diadsorpsi menggunakan *molecular sieve* (Al-Asheh, 2004; Chen dan Sheng, 2013; Mujiburohman dkk., 2006; Mujiburohman dkk., 2007; Tadayon dkk., 2014; Taufanny dkk., 2015). Beberapa peneliti tersebut (Al-Asheh, Chen, dan Taufanny) menggunakan distilasi adsorptif menggunakan zeolit. Secara khusus Taufanny dkk., (2010) menggunakan *molecular sieve* zeolit 3A, kadar etanol dapat meningkat dari 92% v/v menjadi 99,5% v/v. Pada kondisi ini, titik azeotrop sudah terlampaui. Hasil penelitiannya menyebutkan bahwa *breakthrough time* yang dibutuhkan *molecular sieve* zeolit 3A untuk mencapai kondisi jenuhnya pada 28 menit dengan suhu 90°C. Mujiburohman dkk., (2006) dan Mujiburohman dkk. (2007) menggunakan distilasi adsorptif untuk memurnikan isopropil alkohol (IPA)-air menggunakan gel silika sebagai adsorben. Hasilnya menunjukkan bahwa kadar IPA-air dapat meningkat dari 87,2% menjadi 99,5% selama 55 menit.

Berdasarkan uraian di atas menunjukkan bahwa metode distilasi adsorptif efektif dibandingkan dengan beberapa metode lainnya, sehingga dipilih untuk dilakukan pada penelitian ini. Metode distilasi adsorptif juga lebih ekonomis ditinjau dari kebutuhan energinya. Proses adsorpsi pada metode distilasi adsorptif, fase uap campuran etanol-air dilakukan terintegasi dengan distilasinya, jadi tidak perlu melakukan pemanasan dari awal untuk melakukan distilasi lanjut (Xie, 2001). Alternatif penggunaan gel silika sebagai adsorben untuk memurnikan etanol menggunakan metode distilasi adsorptif akan memberikan hasil yang sangat menjanjikan.

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan di atas, penulis mengidentifikasi beberapa masalah yang ada dalam penelitian ini sebagai berikut.

1. Konsumsi BBM Nasional yang semakin meningkat, namun produksi bahan bakar fosil yang menurun serta cadangan minyak bumi yang makin menipis.
2. Pemurnian etanol sulit dicapai jika hanya menggunakan distilasi sederhana.
3. Beberapa metode yang telah dilakukan yaitu *extractive distillation*, *vacum distillation*, *membran*, dan distilasi adsorptif.
4. Jenis adsorber yang pernah digunakan yaitu zeolit alam, zeolit 3A, bio adsorben dan gel silika.
5. Alat yang digunakan yaitu rangkaian alat distilasi sederhana.
6. Uap hasil distilasi adsorptif dapat diasumsikan terkondensasi sempurna.

1.3 Pembatasan Masalah

1. Metode yang digunakan yaitu distilasi adsorptif dengan pemanas hot plate suhu 170°C dan suhu dijaga konstan 78°C hingga memperoleh sampel yang diambil setiap 5 menit.
2. Jenis adsorber yang digunakan pada penelitian ini yaitu gel silika biru dan putih sebanyak 25,5 g.
3. Desain alat disusun secara simultan, artinya uap hasil distilasi langsung di adsorpsi dan kemudian dikondensasi.
4. Kecepatan aliran uap diambil rata-rata volume yang diperoleh setiap 5 menit.
5. Parameter optimum proses yang akan dipelajari meliputi konstanta Henry (H), koefisien dispersi aksial (D_{ax}) dan konstanta kesetimbangan (k_{ca}) untuk menyusun pemodelan matematis.

1.4 Perumusan Masalah

Pada sistem distilasi adsorptif, salah satu komponen uap akan dijerap supaya komposisinya berubah, yaitu komponen air, maka titik azeotropnya dapat terlampaui. Jika kebutuhan adsorbennya memenuhi sampai komposisinya murni,

maka tidak perlu didistilasi. Namun, bila kebutuhan adsorbennya sangat banyak, pemurnian dapat dilanjutkan menggunakan distilasi lagi. Model neraca massa untuk distilasi tipe ini dapat dikembangkan menjadi pemodelan dengan tanpa dispersi aksial pada kondisi *steady state* (model 1) dan *unsteady-state* (model 2), adanya dispersi aksial pada kondisi *steady state* (model 3), dan *unsteady state* (model 4).

Pada peristiwa distilasi adsorptif untuk meningkatkan kadar etanol, komponen air harus dikurangi. Dengan asumsi bahwa adsorben hanya menjerap air, maka jumlah etanol masuk dan keluar dalam distilasi adsorptif tetap, sehingga pemodelan dapat diselesaikan menggunakan perhitungan neraca massa air sebelum dan sesudah melalui distilasi adsorptif. Dari model perpindahan massa dapat disimulasikan dinamika konsentrasi uap air di setiap titik. Akhirnya dapat diperoleh parameter-parameter optimum proses, seperti koefisien transfer massa ($k_c a$), koefisien dispersi aksial (D_{ax}) dan konstanta Henry (H) yang sangat diperlukan dalam perancangan kolom adsorpsi.

Berdasarkan uraian di atas, ada dua masalah yang diangkat dalam penelitian ini, yaitu:

1. Bagaimana pengaruh jenis gel silika terhadap peningkatan konsentrasi etanol dalam proses pengambilan uap air dalam sistem campuran etanol-air agar melampaui titik azetropnya?
2. Bagaimana pengaruh jenis gel silika terhadap parameter optimum proses distilasi adsorptif untuk perancangan kolom adsorpsi?

1.5 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan pada penelitian ini adalah:

1. Menganalisis pengaruh jenis gel silika terhadap peningkatan konsentrasi etanol dalam proses pengambilan uap air dalam sistem campuran etanol-air agar melampaui titik azetropnya.
2. Menganalisis pengaruh jenis gel silika terhadap parameter optimum proses distilasi adsorptif untuk perancangan kolom adsorpsi.

1.6 Manfaat Penelitian

Melalui penelitian ini, diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

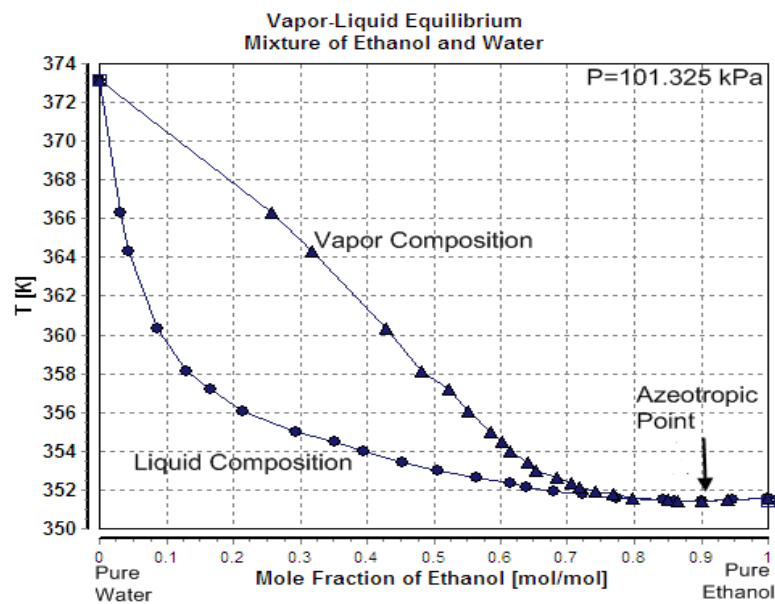
1. Memperoleh produk etanol hingga melampaui titik azeotropnya.
2. Memberikan informasi proses untuk memperoleh etanol murni kepada masyarakat khususnya perusahaan dan instansi yang memproduksi etanol.
3. Memberikan informasi mengenai faktor-faktor yang berpengaruh terhadap konsentrasi etanol dengan menggunakan distilasi adsorptif.
4. Memperoleh model matematis yang mendiskripsikan konsentrasi air di dalam adsorben.
5. Memperoleh parameter optimum proses distilasi adsorptif yang sangat diperlukan dalam perancangan kolom adsorpsi, sehingga dapat digunakan pada skala industri.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Azeotrop Etanol - Air

Larutan etanol–air membentuk titik azeotrop dari komposisi 89,4% mol etanol dan 10,6% mol air pada 78,2°C dan pada tekanan atmosferik (1 atm). Etanol mendidih pada 78,4°C dan air mendidih pada 100°C, tetapi titik didih azeotrop pada 78,2°C yang mana lebih rendah dibandingkan dengan keduanya. Suhu 78,2 °C adalah suhu minimum untuk larutan etanol–air, yang tentu saja dapat mendidih. Titik azeotrop etanol-air dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Keseimbangan Sistem Etanol-Air pada Tekanan 1 atm

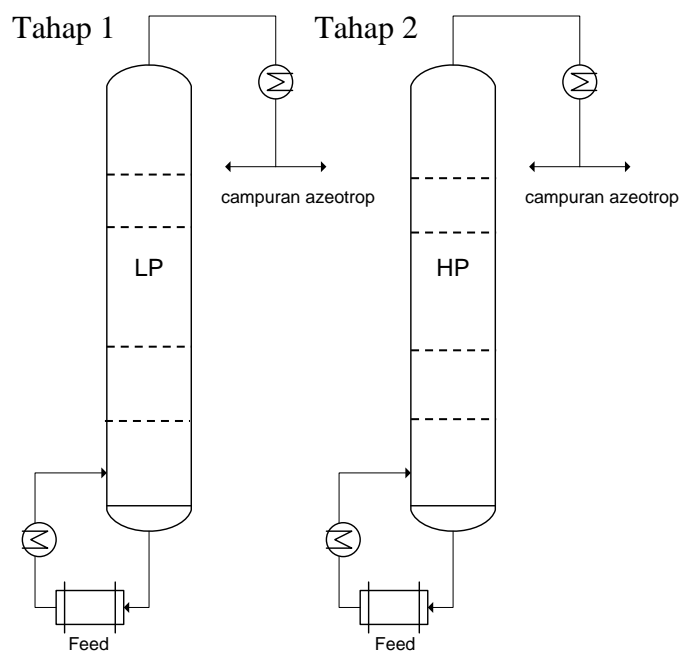
Sumber: Dortmund Data Bank

Ketika azeotrop secara sebagian mendidih, menghasilkan uap yang perbandingannya dengan cairannya akan sama. Karena komposisinya yang tidak berubah melalui proses pendidihan sementara. Azeotrop juga disebut dengan *constant boiling mixture* dan pemisahan lebih lanjut dengan distilasi konvensional tidak memungkinkan. Oleh karena itu, larutan etanol–air diproduksi melalui proses fermentasi dengan pemurnian secara terus–menerus untuk memberikan

hasil terbaik dengan 89,4% mol etanol pada tekanan atmosferik (1 atm). Jadi, membutuhkan proses khusus untuk mengurangi sisa air yang dibutuhkan untuk mencapai etanol murni (Kumar dkk., 2010). Proses pembuatan etanol murni ditingkatkan secara terus-menerus untuk mencapai kualitas dan kuantitas produk. Berikut ini beberapa proses untuk menghasilkan etanol murni.

2.1.1 Pressure Swing Distillation

Pressure swing distillation prinsipnya dilakukan pada tekanan yang berbeda. Kondisi pada tekanan yang berbeda dimaksudkan untuk memurnikan suatu campuran dengan kadar melewati titik azeotropnya. Distilasi yang dioperasikan dengan beda tekanan akan membuat komposisi azeotrop suatu campuran tersebut akan berbeda pula, sehingga komposisi azeotropnya akan terlewati ketika tekanannya dibuat beda. Pada sistem distilasi ini, distilasi dilakukan secara bertahap menggunakan 2 kolom distilasi yang beroperasi pada tekanan yang berbeda. Diagram PSD yang ditunjukkan pada Gambar 2.2, yang mana menunjukkan dua kolom distilasi, yang mewakili 2 jenis operasi dari kolom distilasi yang sama: (1) *low pressure distillation* dan (2) *high pressure distillation*.



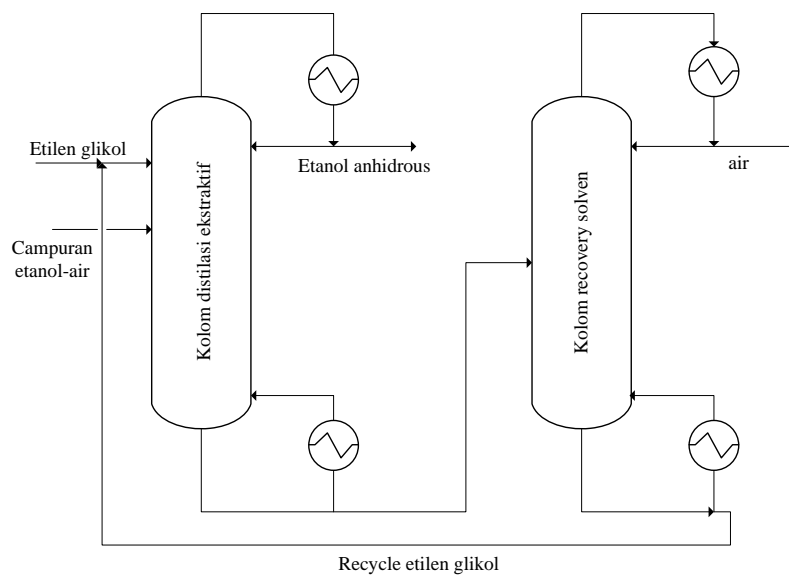
Gambar 2.2 Diagram Proses *Pressure Swing Distillation*

2.1.2 Vacuum Distillation

Vacuum distillation dapat digunakan untuk memproduksi etanol murni. Prinsip metode *vacuum distillation* hampir sama dengan PSD, yaitu mengubah titik didih campuran dengan mengoperasikan distilasi tersebut pada tekanan yang berbeda (Black dan Ditsler, 1972). Jika pada kolom kedua beroperasi pada tekanan 1 atm, maka kolom pertama dioperasikan pada kondisi tekanan vakum. Konsentrasi azeotrop etanol dipengaruhi oleh tekanan yang digunakan. Konsentrasi etanol pada titik azeotrop etanol-air meningkat dengan turunnya tekanan. Contoh kasus untuk etanol pada tekanan di bawah 11,5 kPa etanol dan air tidak membentuk campuran azeotrop, sehingga secara teori komponen etanol dan air dapat dipisahkan dengan distilasi sederhana. Seperti pemisahan pada tekanan rendah yang melibatkan 2 kolom, kolom yang pertama kondisi etanol pada tekanan menengah yang mendekati komposisi azeotrop, dan yang kedua dehidrasi mendekati campuran azeotrop dengan distilasi pada tekanan rendah (di bawah 11,5 kPa). Kekurangan dari operasi ini adalah membutuhkan temperatur kondensasi 24,5°C pada 70 torr. Pengoperasian tekanan yang tinggi dapat melewati azeotrop tetapi dapat menyebabkan terjadinya dekomposisi termal. Selain itu metode ini juga tidak direkomendasikan karena konversinya yang terlalu kecil, maka kurang ekonomis (Kumar dkk., 2010; Wahyuni, 2012).

2.1.3 Extractive Distillation

Pada prinsipnya distilasi ekstraktif hampir sama dengan distilasi azeotrop, yaitu dengan menambahkan solven. Tidak seperti distilasi azeotrop, solven yang dipakai pada distilasi ekstraktif tidak membentuk azeotrop pada komponen yang akan dipisahkan. Dalam salah satu kasus, solven ditambahkan untuk mengubah sifat non ideal dari sistem etanol-air dengan mengubah molekulernya. Air menjadi produk dan pelarut akan muncul pada produk bawah dan secara normal akan terpisah dari produk bawah untuk di daur ulang ke kolom untuk keberlanjutan proses (Black dan Ditsler, 1972; Kumar dkk., 2010). Gambar 2.3 menunjukkan diagram alir dari proses *extractive distillation* untuk memisahkan air dari etanol menggunakan etilen glikol sebagai pelarut.



Gambar 2.3 Pemisahan Sistem Etanol-Air dengan Cara *Extractive Distillation*

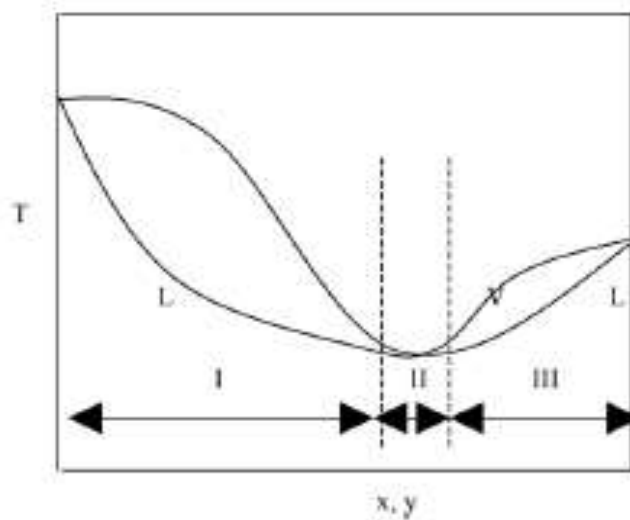
Sumber: Khumar, 2010

Solven yang digunakan pada distilasi ekstraktif, antara lain etilen glikol (Kumar dkk., 2010; Zhigang dkk., 2002), kalsium klorida (Nishi, 1975), dan jenis terbaru dari *extractive distillation* dengan menggunakan *ionic liquid* sebagai komponen ketiga (Kumar dkk., 2010; Wahyuni, 2012). Masalah utama dari proses *extractive distillation* adalah pemilihan komponen ketiga yang tepat. Komponen ketiga yang tepat digunakan untuk memenuhi beberapa sifat yang berbeda. Titik didih komponen ketiga harus lebih tinggi daripada titik didih komponen yang lain, harus pemanasan stabil, murah, dan tak berbahaya (Bisowarno, 2010). Secara umum, penggunaan komponen ketiga mahal dan susah karena adanya penambahan proses daur ulang. Secara langsung, menambah biaya operasi dan lebih kompleks (Kumar dkk., 2010).

2.2 *Fixed Adsorptive Distillation*

Fixed adsorptive-distillation adalah integasi dari teknik pemisahan secara konvensional untuk mengatasi pemisahan dalam keadaan azeotrop. Berdasarkan teorinya, distilasi konvensional tidak dapat mencapai titik azeotrop sekalipun menggunakan jumlah tingkat yang tak terbatas karena adanya *pinch point*, yaitu

kondisi optimal dimana perubahan temperatur yang terkecil di antara aliran panas dan dingin, sehingga tidak memerlukan energi tambahan yang besar. Satu dari teknik konvensional untuk mencapai atau melewati titik azeotrop adalah dengan adsorpsi. Oleh sebab itu, yang cocok untuk mencapai tujuan ini yaitu dengan titik azeotrop. Walaupun sederhana, *fixed adsorptive distillation* dibagi menjadi 3 zona yaitu distilasi–adsorpsi–distilasi yang dapat dideskripsikan dalam diagram VLE (Mujiburohman dkk., 2006).



Gambar 2.4 Tiga Zona Operasi *Fixed Adsorptive-Distillation* Pada Titik Didih Minimum Azeotrop: Distilasi (I), Adsorpsi (II) dan Distilasi (III) (Mujiburohman dkk., 2006)

Adsorptive distillation merupakan metode pemisahan dimana distilasi dan absorpsi dilakukan secara simultan. Dalam proses ini terdapat 2 kolom distilasi dan 1 kolom adsorben yang terletak diantara kedua kolom tersebut. Pada kolom distilasi pertama akan menghasilkan distilat yang berada di bawah komposisi titik azeotrop. Hasil distilasi pertama dipanaskan dan uapnya akan melewati tumpukan adsorben. Adsorben akan menyerap salah satu komponen (uap air) sehingga kemurnian etanol akan naik dan dapat melewati titik azeotrop. Terakhir di kolom distilasi kedua senyawa tersebut dimurnikan kembali konsentrasinya (Silviana dan Purbasari, 2008).

Menurut Mujiburohman (2006), ada tiga pokok pendekatan yang digunakan pada metode *fixed adsorptive distillation*, yaitu:

1. Aplikasi dari dua teknik pemisahan pada tiga zona operasi: (a) distilasi dari konsentrasi *feed* 0 sampai di bawah titik azeotrop; (b) adsorpsi dari bawah menuju ke atas titik azeotrop; (c) distilasi dari atas menuju ke titik azeotrop hingga konsentrasi 100%.
2. Aplikasi dua *stream* pada operasi adsorpsi, setelah melewati satu adsorben dan yang lain di *bypass* untuk mengoptimalkan proses adsorpsi.
3. Aplikasi *recycle* produk samping untuk mempertahankan konsentrasi *feed*.

Prinsip dasar dari *adsorptive distillation* adalah karena salah satu komponen diadsorpsi lebih kuat maka komponen yang tidak teradsorpsi akan meningkat komposisi pada fase cairan. Walaupun adsorben memiliki kemampuan menangkap semua komponen yang terdapat dalam campuran, adsorben akan mengadsorpsi dengan proporsi yang berbeda berdasarkan perbedaan polaritas (Mujiburohman dkk., 2006; Silviana dan Purbasari, 2008).

2.3 Gel Silika

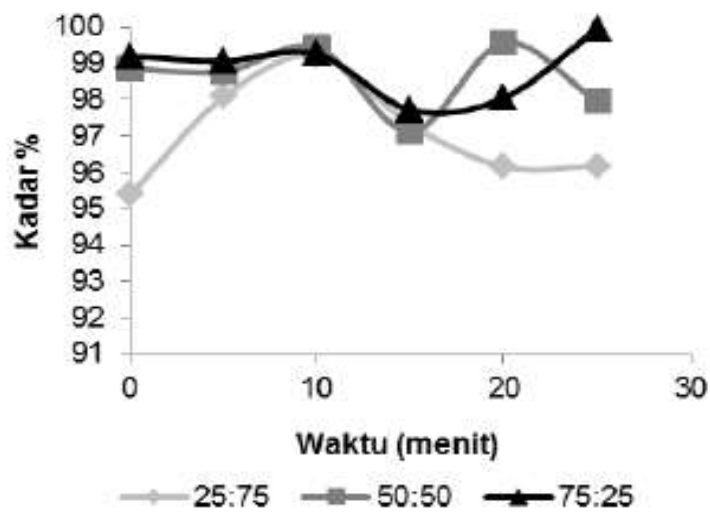
Gel silika merupakan silika amorf yang tersusun dari tetrahedral SiO_4 yang tersusun secara tidak beraturan. Rumus kimia gel silika secara umum adalah $\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$. Ukuran pori gel silika yaitu antara 3-4 $^\circ\text{A}$, sehingga mampu menjerap molekul air yang memiliki diameter 2,75 $^\circ\text{A}$ (Silviana dan Purbasari, 2008). Adapun ukuran molekul etanol yaitu 4,4 $^\circ\text{A}$. Hal ini menyebabkan etanol lolos dari gel silika (Al-Asheh, 2004). Gel silika dapat menyerap kelembaban udara hingga 40% dari beratnya. Porositas gel silika 38-48%, dan ketika jenuh dengan air gel silika dapat diregenerasi (dikeringkan) dengan pemanasan sampai 150 $^\circ\text{C}$, sedangkan luas area permukaan gel silika antara 600-800 m^2/g (Perry, 2008).

Gel silika merupakan salah satu adsorben yang paling sering digunakan dalam proses adsorpsi. Hal ini disebabkan oleh mudahnya silika diproduksi dan sifat permukaan (struktur geometri pori dan sifat kimia pada permukaan) yang dapat dengan mudah dimodifikasi. Gel silika banyak digunakan karena memiliki

beberapa kelebihan, antara lain sangat inert, hidrofilik, dan biaya sintesis yang cukup rendah. Di samping itu, bahan ini memiliki kestabilan termal dan mekanik yang cukup tinggi, relatif tidak mengembang dalam pelarut organik jika dibandingkan dengan padatan polimer organik (Sulastri dkk., 2010).

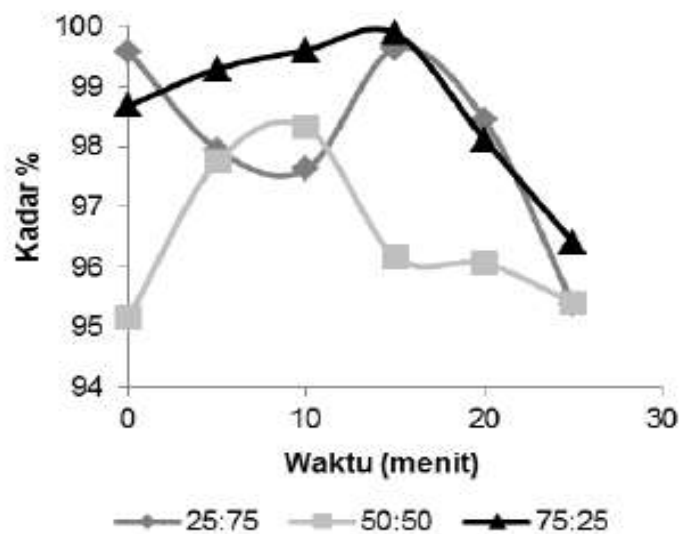
Metode adsorpsi adalah salah satu proses pengeringan etanol melalui suatu proses pemisahan bahan dari campuran gas atau campuran cairan, bahan harus dipisahkan ditarik oleh permukaan adsorben padat dan diikat oleh gaya-gaya yang bekerja pada permukaan yang besar. Permukaan luas ini terbentuk karena banyaknya pori-pori yang halus pada permukaan tersebut. Pemilihan adsorben yang baik didasarkan pada luas permukaannya yang besar (Dyartanti dkk., 2012).

Adsorben yang lazim digunakan adalah zeolit alam teraktivasi dan gel silika. Gel silika adalah adsorben yang memiliki daya serap tinggi terhadap air. Gel silika relatif mudah diregenerasi dan dapat langsung dipakai tanpa harus diaktivasi terlebih dahulu (Dyartanti dkk., 2012). Hasil penelitian Dyartanti (2012) dapat dilihat pada Gambar 2.5 yang menunjukkan hubungan antara konsentrasi etanol pada jenis tumpukan terstruktur menggunakan perbandingan berat adsorben zeolit alam dan gel silika. Pada perbandingan zeolit dan gel silika 25:75, 50:50 dan 75:25, hasil konsentrasi etanol tertinggi masing-masing yaitu 99,23% w/w (10 menit), 99,58% w/w (20 menit) dan 99,95% w/w (25 menit). Hal ini disebabkan oleh gel silika mempunyai *adsorption surface area* sebesar $800\text{m}^2/\text{g}$ lebih besar dibandingkan zeolit ($300\text{m}^2/\text{g}$). Sehingga semakin banyak gel silika semakin luas *adsorption surface area* dan semakin banyak molekul air yang terperap dalam adsorben.



Gambar 2.5 Hubungan Antara Waktu Terhadap Konsentrasi Etanol pada Jenis Tumpukan Terstruktur (Zeolit Alam dan Gel Silika)

Sumber: Dyartanti, 2012



Gambar 2.6 Hubungan Antara Waktu Terhadap Konsentrasi Etanol pada Jenis Tumpukan Acak (Zeolit Alam dan Gel Silika)

Sumber: Dyartanti, 2012

Gambar 2.6 menunjukkan hubungan antara konsentrasi etanol pada jenis tumpukan acak menggunakan perbandingan berat adsorben zeolit alam dan gel silika. Pada perbandingan zeolit alam dan gel silika 25:75, 50:50 dan 75:25, hasil

konsentrasi etanol tertinggi masing-masing yaitu 99,63% w/w (15 menit), 98,32% w/w (10 menit) dan 99,88% w/w (15 menit). Hal ini menunjukkan, meskipun disusun secara acak jika semakin banyak gel silika, maka molekul air yang terjerap juga semakin banyak, sehingga menghasilkan konsentrasi etanol yang lebih tinggi. Menurut Dyartanti (2012), tumpukan adsorben terstruktur konsentrasi etanol yang diperoleh lebih tidak stabil dibandingkan tumpukan acak. Hal ini disebabkan pada jenis tumpukan terstruktur saat gel silika jenuh, maka etanol yang masih banyak terkandung air akan langsung melewati gel silika yang telah jenuh.

Dalam penelitian Silviana dan Purbasari (2008) mengenai pengambilan air dari sistem isopropil alkohol-air dengan distilasi adsorptif menggunakan zeolit alam dan gel silika. Hasilnya gel silika lebih selektif dalam menjerap air daripada zeolit yang selain menjerap air juga menjerap IPA. Karena ukuran pori zeolit yang besar juga dapat menjerap IPA. Konsentrasi IPA tertinggi menggunakan gel silika dicapai hingga 91,6%. Proses distilasi adsorptif akan lebih efektif jika menggunakan adsorben gel silika. Hal ini terlihat dari kadar rata-rata IPA setelah keluar kolom kedua proses distilasi adsorptif menggunakan adsorben gel silika lebih besar daripada menggunakan zeolit alam. Ini dikarenakan sifat adsorpsi gel silika yang lebih selektif menyerap air daripada zeolit alam. Hal ini membuktikan bahwa gel silika cukup menjanjikan untuk digunakan sebagai adsorben.

2.3 Persamaan Model Matematis Distilasi Adsorptif pada Kolom *Fixed Bed*

Etanol mengandung air (A) dengan konsentrasi air yang sangat kecil akan dihilangkan airnya dengan cara adsorpsi fasa uap. Etanol dipanaskan dan uap tersebut dialirkan dari bawah ke atas pada kolom *fixed bed* yang berisi butir-butir adsorben. Proses adsorpsi terjadi pada permukaan pori-pori dalam butir adsorben, sehingga untuk bisa teradsorpsi, uap air mengalami proses-proses seri sebagai berikut.

- a. Perpindahan massa uap air ke permukaan butir.
- b. Difusi dari permukaan butir ke dalam butir melalui pori.
- c. Perpindahan massa uap air dalam pori ke dinding pori.
- d. Adsorpsi pada dinding pori.

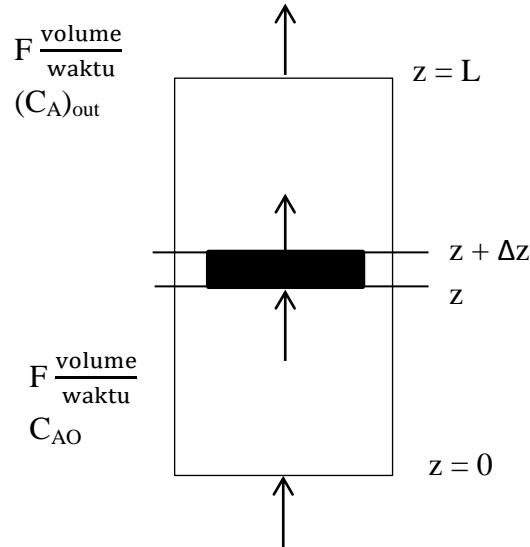
Perpindahan massa uap air dalam pori ke dinding pori (proses c) umumnya berlangsung sangat cepat sehingga tidak mengontrol. Adsorpsi pada dinding pori (proses d) umumnya juga berlangsung relatif sangat cepat, sehingga tidak mengontrol juga. Jadi yang umumnya mengontrol kecepatan proses adsorpsi adalah proses a atau proses b atau keduanya. Jika butir-butir sangat kecil (seperti serbuk) maka difusi dari permukaan ke dalam butir (proses b) berlangsung relatif sangat cepat sehingga tidak mengontrol. Akibatnya yang mengontrol adalah perpindahan massa uap air ke permukaan butir. Sebaliknya, jika butir-butir berukuran besar, difusi dari permukaan ke dalam butir sangat relatif sangat lambat, sehingga yang mengontrol adalah proses difusinya.

Pada proses yang dibahas, mekanisme a dapat didekati dengan berbagai model. Model neraca massa untuk metode distilasi adsorptif tipe ini dapat dikembangkan menjadi model adanya dispersi aksial pada kondisi *steady-state* (model 1) dan *unsteady-state* (model 2). Juga, tanpa adanya dispersi aksial pada kondisi *steady-state* (model 3) dan *unsteady-state* (model 4). Model yang paling kompleks adalah adanya dispersi aksial dan kondisi *steady state*. Model tersebut dapat disederhanakan dengan asumsi tanpa dispersi aksial. Asumsi tanpa dispersi aksial dapat terjadi karena beberapa hal yaitu ukuran butiran adsorben yang sangat kecil (seperti serbuk), karena difusi dari permukaan ke dalam butir berlangsung sangat cepat, sehingga dispersi aksial dapat diabaikan.

Model yang kompleks juga bisa disederhanakan lagi dengan asumsi prosesnya *steady state*. Proses *steady state* dalam mekanisme distilasi adsorptif bisa terjadi karena tidak ada uap air yang terakumulasi di dalam *bed* adsorben. Selain itu juga diasumsikan jika adsorben hanya menjerap uap air, maka jumlah etanol masuk dan keluar dalam metode distilasi adsorptif tetap.

Bulk density butir-butir adsorben = ρ_b . Porositas *bed* = ϵ . Kecepatan uap air masuk = F volume/waktu. Luas penampang kolom = S . Perpindahan massa uap arah aksial dalam kolom terjadi karena dibawa arus ($=F.C_A$) dan difusi aksial ($= -D_{ax}S \cdot \frac{\partial C_A}{\partial Z}$). Aliran dianggap *plug flow*. Model neraca massa untuk metode distilasi adsorptif dapat dituliskan sebagai berikut.

2.3.1 Model 1 : Adanya Dispersi Aksial *Steady State*



Gambar 2.7 Elemen Volume Setebal Δz

Neraca massa uap air dalam elemen volume setebal Δz

Rate of Input – Rate of Output = Rate of Accumulation

$$\left[-D_{ax} \cdot S \cdot \frac{\partial C_A}{\partial z} \Big|_{z+\Delta z} + F \cdot C_A \Big|_{z+\Delta z} \right] - \left[-D_{ax} \cdot S \cdot \frac{\partial C_A}{\partial z} \Big|_z + F \cdot C_A \Big|_z + k_c \cdot a \cdot (C_A - C_A^*) \cdot S \cdot \Delta z \right] = S \cdot \Delta z \cdot \varepsilon \cdot \frac{\partial C_A}{\partial t} \quad (2.1)$$

$$\frac{\frac{\partial C_A}{\partial z} \Big|_{z+\Delta z} - \frac{\partial C_A}{\partial z} \Big|_z}{\Delta z} - \frac{F}{S \cdot D_{ax}} \left[\frac{C_A \Big|_{z+\Delta z} - C_A \Big|_z}{\Delta z} \right] - \frac{k_c \cdot a}{D_{ax}} [C_A - C_A^*] = \frac{\varepsilon}{D_{ax}} \cdot \frac{\partial C_A}{\partial t} \quad (2.2)$$

Jika $\Delta z \rightarrow 0$, maka diperoleh:

$$\frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\partial C_A}{\partial z} \right) - \frac{F}{S \cdot D_{ax}} \cdot \frac{\partial C_A}{\partial z} - \frac{k_c \cdot a}{D_{ax}} \cdot (C_A - C_A^*) = \frac{\varepsilon}{D_{ax}} \cdot \frac{\partial C_A}{\partial t} \quad (2.3)$$

$$\frac{\partial^2 C_A}{\partial z^2} - \frac{F}{S \cdot D_{ax}} \cdot \frac{\partial C_A}{\partial z} - \frac{k_c \cdot a}{D_{ax}} \cdot (C_A - C_A^*) = \frac{\varepsilon}{D_{ax}} \cdot \frac{\partial C_A}{\partial t} \quad (2.4)$$

Persamaan diferensial parsial diselesaikan secara numeris menggunakan *finite difference approximation* (metode implisit), karena ada dispersi aksial pada kondisi *steady state*, maka:

$$\frac{dC_A}{dt} = 0 \quad (2.5)$$

Persamaan neraca massa air dapat ditulis:

$$\frac{\partial^2 C_A}{\partial z^2} - \frac{F}{S \cdot D_{ax}} \frac{\partial C_A}{\partial z} - \frac{k_c \cdot a}{D_{ax}} [C_A - C_A^*] = 0 \quad (2.6)$$

Hal ini dapat ditulis dalam persamaan berikut:

$$-\frac{D_{ax}}{\varepsilon} \frac{C_{A_{i-1,j+1}} - 2C_{A_{i,j+1}} + C_{A_{i+1,j+1}}}{(\Delta z)^2} + \frac{F}{S \cdot \varepsilon} \left(\frac{C_{A_{i,j+1}} - C_{A_{i-1,j+1}}}{\Delta z} \right) + \frac{k_c \cdot a}{\varepsilon} (C_{A_{i,j+1}} - C_A^*) = 0 \quad (2.7)$$

Sehingga diperoleh persamaan:

$$(2v - u(\Delta z))C_{A_{i-1,j+1}} + DC_{A_{i,j+1}} = BC_A^* \quad (2.8)$$

Dimana:

$$B = \frac{k_c \cdot a \cdot (\Delta z)^2}{\varepsilon}, \quad D = -2v + u(\Delta z) + B \quad (2.9)$$

2.3.2 Model 2 : Adanya Dispersi Aksial *Unsteady State*

Persamaan diferensial parsial diselesaikan secara numeris menggunakan *finite difference approximation* (metode implisit) dimana persamaan diferensial dapat ditulis sebagai berikut:

$$\begin{aligned} & (v - u(\Delta z))_{A_{i-1,j+1}} + (-2v + u(\Delta z) + \frac{k_c \cdot a \cdot (\Delta z)^2}{\varepsilon} + \frac{(\Delta z)^2}{\Delta t})C_{A_{i,j+1}} + vC_{A_{i+1,j+1}} \\ & = \frac{(\Delta z)^2}{\Delta t} C_{A_{i,j}} + \frac{k_c \cdot a \cdot (\Delta z)^2}{\varepsilon} C_A^* \end{aligned} \quad (2.10)$$

Dengan asumsi $C_{A_{i+1,j+1}} = C_{A_{i-1,j+1}}$, sehingga persamaan (2.10) menjadi:

$$(2v - u(\Delta z))C_{A_{i-1,j+1}} + DC_{A_{i,j+1}} = AC_{A_{i,j}} + BC_A^* \quad (2.11)$$

Dimana:

$$u = \frac{F}{S\varepsilon}, \quad v = -\frac{Dax}{\varepsilon}, \quad A = \frac{(\Delta z)^2}{\Delta t}, \quad B = \frac{kc.a.(\Delta z)^2}{\varepsilon}, \quad D = -2v + u(\Delta z) + A + B \quad (2.12)$$

2.3.3 Model 3 : Tanpa Dispersi Aksial *Steady State*

Sementara itu neraca massa uap air selama proses diasumsikan tanpa dispersi aksial pada kondisi *steady state*, yang persamaannya ditulis sebagai berikut.

$$\frac{F}{S.\varepsilon} \left(\frac{C_{Ai,j+1} - C_{Ai-1,j+1}}{\Delta z} \right) + \frac{k_c.a}{\varepsilon} (C_{Ai,j+1} - C_A^*) = 0 \quad (2.13)$$

$$u = \frac{F}{S\varepsilon}$$

$$u \left(\frac{C_{Ai,j+1} - C_{Ai-1,j+1}}{\Delta z} \right) + \frac{kc.a}{\varepsilon} (C_{Ai,j+1} - C_A^*) = 0 \quad (2.14)$$

Penyederhanaan persamaan (2.14) menghasilkan:

$$-uC_{Ai-1,j+1} + DC_{Ai,j+1} = AC_{Aij} + BC_A^* \quad (2.15)$$

Karena kondisi Model 3 *steady state*, sehingga nilai A=0, sehingga

$$-uC_{Ai-1,j+1} + DC_{Ai,j+1} = BC_A^* \quad (2.16)$$

Dimana:

$$A = 0, \quad B = \frac{kc.a.\Delta z}{\varepsilon}, \quad D = u + B \quad (2.17)$$

2.3.4 Model 4 : Tanpa Dispersi Aksial *Unsteady State*

Jika model yang digunakan tanpa dispersi aksial *unsteady state*, maka digunakan persamaan (2.15).

$$-uC_{Ai-1,j+1} + DC_{Ai,j+1} = AC_{Aij} + BC_A^* \quad (2.18)$$

dimana:

$$A = \frac{\Delta z}{\Delta t}, \quad B = \frac{kc.a.\Delta z}{\varepsilon}, \quad D = u + A + B \quad (2.19)$$

Parameter-parameter seperti koefisien transfer massa (kca), koefisien dispersi aksial (Dax) dan C_A^* , dicari menggunakan metode *curve-fitting* sesuai dengan data percobaan. Evaluasi terhadap model yang lebih sesuai dan nilai-nilai parameternya adalah yang memberikan ralat rerata minimum.

BAB III

METODE PENELITIAN

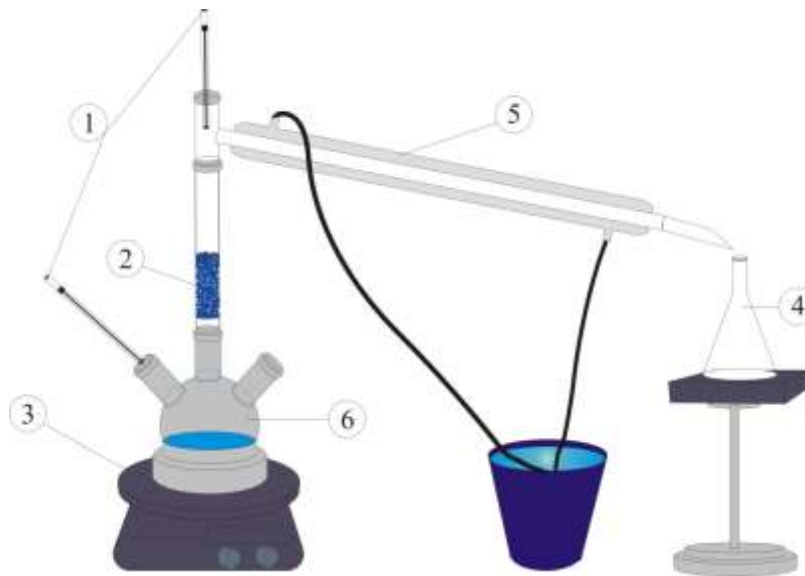
3.1 Waktu dan Tempat Pelaksanaan

Penelitian dilaksanakan selama bulan Desember 2015-Januari 2016 yang dilaksanakan di Laboratorium Operasi Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang. Analisis konsentrasi etanol menggunakan GC (*Gas Chromatography*) di Laboratorium Analisis Instrumentasi Teknik Kimia Universitas Gadjah Mada Yogyakarta.

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu:

1. Termometer
2. Labu leher tiga
3. *Hot plate*
4. Pemanas
5. *Valve*
6. Manometer
7. Kolom adsorber
8. Kondensor
9. Pompa
10. Botol sampel
11. Etanol teknis 90,8% v/v



Gambar 3.1 Rangkaian Alat Distilasi Adsorptif

Keterangan:

1. Termometer
2. Gel silika
3. Hot plate
4. Gelas ukur
5. Kondensor
6. Labu leher tiga

3.3 Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan pada penelitian ini yaitu jenis gel silika (gel silika biru dan putih).

3.4 Prosedur Penelitian

Penelitian ini dimulai dengan proses distilasi etanol dengan konsentrasi 90,8% v/v dengan cara memanaskan etanol di atas *hot plate* yang diset pada suhu 170°C dan suhu campuran etanol-air dijaga konstan 78°C. Etanol mulai mendidih pada suhu 78°C dan uap campuran masuk ke dalam tumpukan adsorben. Uap campuran etanol-air tersebut masuk ke dalam kolom adsorpsi yang diadsorpsi oleh gel silika, sedangkan uap etanol akan lolos dan dikondensasi, sehingga

menghasilkan etanol murni dengan konsentrasi >95,5%. Gel silika yang digunakan untuk mengadsorpsi sebanyak 25,50 g. Kondensat akan ditampung setiap 5 menit untuk kemudian dianalisis menggunakan *Gas Chromatography* (Porapak sistem P-Shimadzu dengan tipe kolom D-4617 dan arus *Thermal Conductivity Detector* (TDC) 80 mA. Helium pada 60 kPa digunakan sebagai gas pembawa).

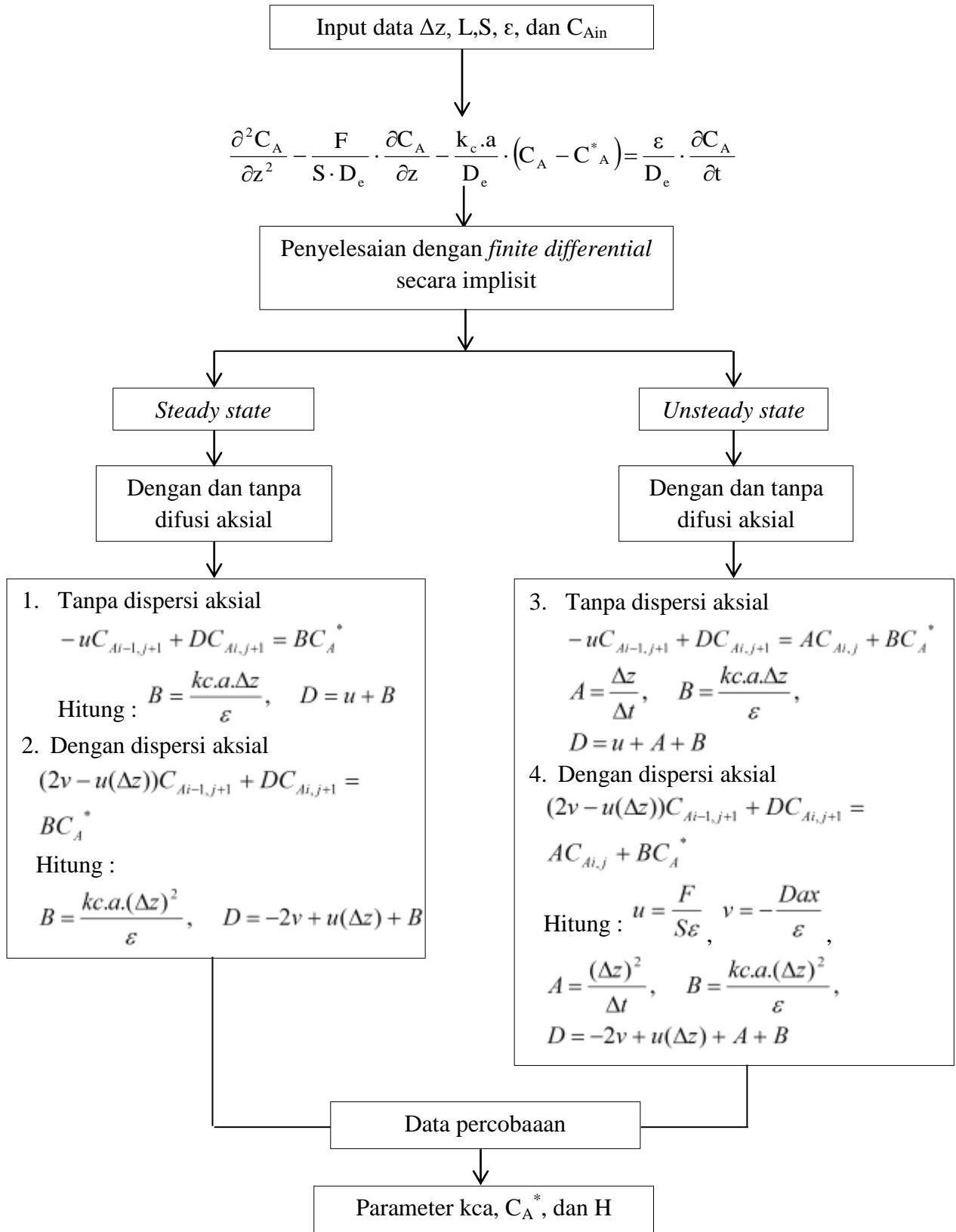
3.5 Teknik Analisis Data

Data hasil distilasi adsorptif yang diperoleh berupa sampel etanol yang diambil setiap 5 menit sampai etanol tidak menetes. Sampel tersebut dianalisis menggunakan GC (*Gas Chromatography*) untuk mengetahui konsentrasinya. Jika data konsentrasi dari beberapa sampel tersebut telah diketahui, kemudian menyusun pemodelan untuk memperoleh nilai koefisien transfer massa (k_{ca}), koefisien dispersi aksial (D_{ax}) dan C_A^* menggunakan persamaan *finite difference approximation*. Evaluasi terhadap model yang lebih sesuai dan nilai-nilai parameternya adalah yang memberikan ralat rerata minimum.

3.6 Metode Pemilihan Model

Pemodelan diselesaikan menggunakan metode *finite differential approximation* secara implisit dan *curve fitting*. Hasil percobaan diselesaikan menggunakan 4 model matematis, diantaranya yaitu adanya dispersi aksial *steady state* (model 1), adanya dispersi aksial *unsteady state* (model 2), tanpa dispersi aksial *steady state* (model 3), dan tanpa dispersi aksial *unsteady state* (model 4). Parameter optimasi proses yang ingin diperoleh, antara lain k_{ca} , D_{ax} , C_A^* , dan H . Dari keempat model tersebut, dipilih model yang paling mendekati dengan hasil percobaan dan kesalahan atau *error* terendah. Kondisi pada saat percobaan diasumsikan tekanan dan temperaturnya konstan serta tidak ada volume etanol yang ditambahkan. Pada pemodelan ini ingin dicari pengaruh ada dan tidaknya dispersi yang dipengaruhi oleh ukuran gel silika yang digunakan pada kondisi *steady* dan *unsteady state*.

3.7 Algoritma



BAB IV

PEMBAHASAN

1.1 Performa Alat Distilasi Adsorptif

Serangkaian alat yang digunakan untuk distilasi adsorptif sudah didesain sedemikian rupa lengkap dengan isolasi. Isolasi berfungsi untuk meminimalisir *heat loss*, sehingga dapat mencapai kondisi operasi proses pemurnian etanol. Proses pemurnian etanol ini dipengaruhi oleh beberapa aspek, di antaranya yaitu suhu pemanas, ketinggian adsorben dan tekanan. Suhu pemanas *hot plate* yaitu 170°C yang dijaga konstan. Hal ini bertujuan agar panas yang dihasilkan mampu mempertahankan kecepatan uap campuran agar tetap konstan karena proses yang digunakan *steady state*. Panas yang tidak konstan akan menyebabkan ketidakstabilan kecepatan uap campuran, sehingga proses pemurnian tidak *steady state*. Pada proses pemurnian ini tekanan dan suhu telah dijaga konstan, masing-masing yaitu 1 atm dan 78°C. Volume etanol yang diperoleh, dihitung rata-ratanya, kemudian dihitung standar deviasi sebesar 4,51%. Standar deviasi tersebut dianggap kecil, sehingga volume rerata bisa mewakili asumsi kondisi *steady state*.

Pada penelitian ini umpan etanol yang digunakan yaitu etanol teknis dengan konsentrasi 90,8% v/v (fase cair). Proses adsorpsi tidak hanya dilakukan dalam fase cair, namun juga fase uap, seperti pada penelitian ini. Etanol umpan yang dipanaskan akan menguap dan masuk ke dalam adsorben, hal ini yang menyebabkan terjadinya proses transfer massa. Komposisi uap etanol dapat dicari dengan tabel kesetimbangan sistem etanol-air, sehingga diperoleh konsentrasi etanol 91,2% v/v. Pada kondisi tersebut uap air akan terjerap oleh adsorben dan uap etanol yang lebih murni akan lolos kemudian dikondensasi untuk dianalisis, kondensasi ini diasumsikan sempurna. Kondensat akan ditampung setiap 5 menit dan di analisis menggunakan *Gas Chromatography* untuk mengetahui konsentrasinya. Secara ekonomis metode distilasi adsorptif lebih efisien dibandingkan metode lain, karena proses ini tidak melibatkan entrainer dan penggunaan adsorben mudah diregenerasi secara termal. Perbedaan yang

mendasar antara distilasi adsorptif dengan metode lain azeotrop distilasi adalah penambahan komponen tidak dicampurkan bersamaan dengan dengan larutan tetapi pada tempat yang terpisah (Silviana dan Purbasari, 2008).

1.2 Perbedaan Gel Silika Biru dan Putih

Hasil yang diperoleh dari penelitian ini adalah data konsentrasi etanol dengan menggunakan adsorben gel silika biru dan putih. Konsentrasi etanol diperoleh dari hasil analisis menggunakan *Gas Chromatography*. Pada hasil analisis *Gas Chromatography* menunjukkan bahwa terlihat hanya muncul satu *peak*. Hal ini disebabkan oleh etanol yang digunakan sebagai umpan distilasi adsorptif merupakan campuran etanol-air yang tidak mengandung senyawa lain sehingga menghambat proses dan selama proses tidak terjadi kontaminasi dari kotoran alat-alat yang digunakan. Pada penelitian ini, untuk mengetahui konsentrasi etanol umpan masuk ke dalam adsorben, dilakukan analisis *Gas Chromatography* fase cair. Uap hasil distilasi adsorptif dapat diasumsikan terkondensasi sempurna, sehingga analisis konsentrasi dilakukan dalam fase cair. Konsentrasi fase uap etanol dapat diketahui dengan menggunakan tabel data kesetimbangan etanol-air. Data kesetimbangan sistem etanol-air dapat dilihat pada Tabel 4.1 berikut ini.

Tabel 4.1 Data Kesetimbangan Sistem Etanol-Air pada Tekanan 1 atm

Suhu °C	Fraksi Massa		Suhu °C	Fraksi Massa	
	x_A	y_A		x_A	y_A
100	0	0	81	0,6	0,794
98,1	0,02	0,192	80,1	0,7	0,822
95,2	0,05	0,377	79,1	0,8	0,858
91,8	0,1	0,527	78,3	0,9	0,912
87,3	0,2	0,656	78,2	0,94	0,942
84,7	0,3	0,713	78,1	0,96	0,959
83,2	0,4	0,746	78,2	0,98	0,978
82	0,5	0,771	78,3	1	1

Sumber: Geankoplis, 1993

Data konsentrasi etanol hasil pemurnian dari pemakaian masing-masing adsorben disajikan pada Tabel 4.2 dan 4.3. Berdasarkan Tabel 4.2 dan 4.3 dapat diketahui bahwa konsentrasi etanol yang diperoleh cenderung semakin meningkat, masing-masing menggunakan gel silika biru dan putih. Konsentrasi etanol tertinggi hasil pemurnian menggunakan gel silika biru dicapai pada 55 menit sebesar 95,662% v/v. Konsentrasi tersebut belum melampaui titik azeotrop campuran etanol-air pada tekanan 1 atm.

Tabel 4.2 Konsentrasi Etanol Hasil Distilasi Adsorptif Menggunakan Adsorben Gel Silika Biru

Waktu, menit	Konsentrasi, % v/v
0	91,200
5	93,570
15	94,408
20	94,594
30	94,895
35	95,114
45	95,498
55	95,662

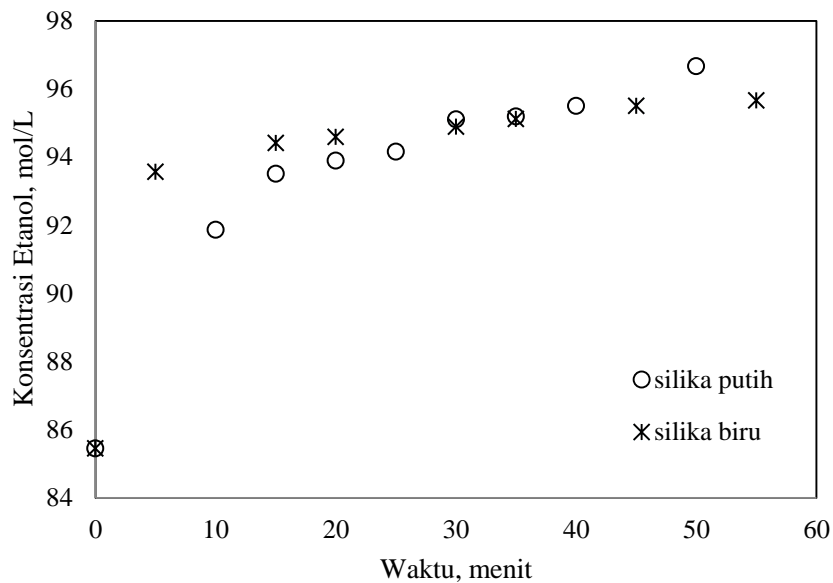
Berdasarkan Tabel 4.2 dapat diketahui bahwa konsentrasi etanol yang diperoleh cenderung semakin meningkat. Pada 20 menit konsentrasi etanol sudah mencapai 94,594%. Hal ini lebih baik jika dibandingkan pada penelitian Silviana dan Purbasari (2008). Pada penelitian tersebut, metode distilasi adsorptif digunakan untuk memurnikan isopropil alkohol-air menggunakan gel silika dan zeolit alam sebagai adsorben. Dari adsorben gel silika, kadar isopropil alkohol selama 20 menit meningkat menjadi 91,6%. Sedangkan untuk zeolit alam, pada waktu yang sama, konsentrasi isopropil alkohol hanya meningkat menjadi 85%. Hal ini berarti, adsorben gel silika lebih sesuai untuk menyerap uap air dibandingkan dengan zeolit alam untuk sistem etanol-air. Menurutnya, hal ini disebabkan zeolit alam tidak hanya menyerap air tetapi juga menyerap isopropil alkohol.

Adapun konsentrasi etanol dengan adsorben gel silika putih dapat dilihat pada Tabel 4.3. Berdasarkan Tabel 4.3 menunjukkan bahwa konsentrasi etanol semakin meningkat dari waktu ke waktu, hingga telah melampaui titik azeotrop pada waktu 50 menit.

Tabel 4.3 Konsentrasi Etanol Hasil Distilasi Adsorptif Menggunakan Adsorben Gel Silika Putih

Waktu, menit	Konsentrasi, % v/v
0	91,200
10	91,864
15	93,515
20	93,899
25	94,159
30	95,112
35	95,195
40	95,498
50	96,671

Selama proses adsorpsi di dalam kolom adsorber, uap air dalam campuran uap etanol-air akan berpindah ke dalam permukaan pori gel silika putih dan lama kelamaan gel silika putih akan mengalami kejenuhan (Dyartanti dkk., 2010; Lourentius dan Retnoningtyas, 2014). Hal ini disebabkan oleh kecepatan transfer massa air yang akan terus menurun seiring bertambahnya waktu adsorpsi. Berdasarkan Tabel 4.2 dan 4.3, konsentrasi etanol yang dihasilkan lebih tinggi menggunakan adsorben gel silika putih daripada gel silika biru. Waktu yang dibutuhkan untuk melampaui azeotropnya juga lebih cepat menggunakan adsorben gel silika putih daripada gel silika biru. Perbedaan tersebut disajikan dalam bentuk gambar yang dapat dilihat pada Gambar 4.1 berikut ini.



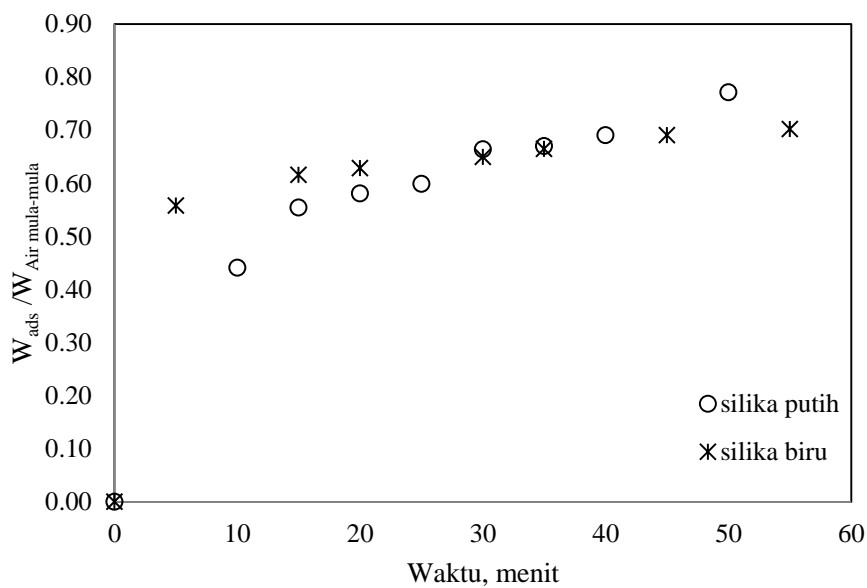
Gambar 4.1 Hubungan Antara Waktu Terhadap Konsentrasi Pada Gel Silika Putih dan Biru

1.3 Perbandingan Rasio Berat Air Terjerap Terhadap Berat Air Mula-mula Menggunakan Gel Silika Biru dan Putih

Rasio berat air yang terjerap terhadap berat air mula-mula dapat dicapai jika suhu pemanasan dijaga konstan dan tidak terlalu tinggi. Suhu yang terlalu tinggi akan menyebabkan kecepatan uap campuran meningkat, sehingga proses transfer massa uap air ke dalam adsorben tidak sempurna dan *pressure drop* akan naik. Jika suhu pemanasan terlalu rendah, maka uap etanol yang panas akan kontak dengan adsorben yang suhunya lebih rendah karena suhu pemanas tidak sampai ke *bed* adsorben, akibatnya uap semakin menurun dan mengembun di *bed* adsorben. Suhu yang terlalu tinggi dan terlalu rendah menyebabkan kurva *breakthrough* tidak tercapai. Akibat adanya perbedaan fenomena transfer massa pada penelitian ini dengan teori adsorpsi, sehingga teori adsorpsi tersebut tidak bisa diikuti, maka kurva rasio berat air yang terjerap terhadap berat air mula-mula digambarkan dengan hubungan antara $W_{ads}/W_{air\ mula-mula}$.

Berdasarkan Grafik 4.2, W_{ads} merupakan air yang terjerap setiap waktu, sedangkan $W_{air\ mula-mula}$ merupakan air mula-mula yang masuk ke dalam kolom

adsorben. Nilai W_{ads}/W_{air} mula-mula naik setiap waktu selama proses. Tetapi nilai tersebut jauh dari nilai konstan (kondisi mendatar). Hal ini menunjukkan bahwa gel silika belum mencapai kejenuhan dan proses adsorpsi masih dapat dilanjutkan (Rattanaphanee, 2013). Pada penggunaan gel silika biru juga menunjukkan bahwa belum mencapai titik jenuh dan adsorpsi masih dapat dilanjutkan. Hal ini berdasarkan penelitian dari Al-Asheh dkk., Chen dan Sheng, Kusuma dan Dwiatmoko, dan Tadayon dkk. Laju uap yang terlalu cepat menyebabkan adsorben tidak mampu untuk menjerap uap air. Pada kondisi ini perpindahan massa sebagai *driving force* menjadi sedikit terhadap kontak uap air dengan adsorben (Mujiburohman, 2006). Waktu yang dibutuhkan untuk W_{ads}/W_{air} mula-mula dari gel silika biru sekitar 0,488 (45 menit) lebih lama dibandingkan gel silika putih (40 menit), sehingga pada penelitian ini menunjukkan bahwa gel silika dapat digunakan untuk pemurnian campuran etanol-air menggunakan metode distilasi adsorptif.



Gambar 4.2 Kurva Rasio Berat Air Terjerap Terhadap Berat Air Mula-mula Menggunakan Adsorben Gel Silika Biru dan Putih

Berdasarkan data-data di atas, metode distilasi adsorptif menggunakan gel silika sebagai adsorben dapat menghasilkan etanol melebihi konsentrasi azeotropnya. Penggunaan gel silika untuk memurnikan etanol melebihi titik

azeotrop juga pernah dilakukan oleh Mujiburohman, dkk. (2006). Namun, bahan baku yang digunakan bukan larutan etanol, melainkan isopropil alkohol-air. Konsentrasi umpan campuran isopropil alkohol-air 87,2% menjadi 99,5% selama 55 menit. Hal ini membuktikan bahwa gel silika mampu menyerap uap air, sehingga konsentrasi isopropil alkohol dapat melampaui titik azeotropnya. Pada menit ke 60, gel silika akan berubah warna yang menandakan bahwa gel silika telah mengalami kejenuhan.

1.4 Berat Air yang Terjerap Adsorben Setiap Waktu

Berat air yang terjerap adsorben setiap waktu dapat dituliskan sebagai g air/g adsorben. Data yang diperlukan untuk menentukan g air/g adsorben densitas etanol, volume etanol, massa adsorben, waktu tinggal uap masuk ke dalam adsorben dan konsentrasi air. Data konsentrasi etanol terhadap densitas etanol dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Data Konsentrasi Etanol Terhadap Densitas

Konsentrasi, % v/v	ρ etanol, g/mL	Konsentrasi, % v/v	ρ etanol, g/mL
0	0,99908	55	0,9235
5	0,9919	60	0,9128
10	0,98569	65	0,9013
15	0,98024	70	0,8892
20	0,97518	75	0,8765
25	0,97008	80	0,8631
30	0,96452	85	0,8488
35	0,95821	90	0,8331
40	0,95097	95	0,8153
45	0,94277	100	0,7932
50	0,9335		

Sumber: <http://infohost.nmt.edu/>

Untuk memperoleh densitas dari sampel (ρ_A) dihitung dengan dengan interpolasi linier Tabel 4.4, sedangkan volume yang digunakan diambil dari volume rerata etanol. Memenuhi atau tidaknya syarat menggunakan volume rerata dapat ditentukan dengan standar deviasi. Standar deviasi merupakan akar dari varian, dimana varian adalah kuadrat dari standar deviasi. Semakin besar nilai

standar deviasi maka data sampel semakin menyebar (bervariasi) dari rata-ratanya. Sebaliknya jika semakin kecil maka data sampel semakin homogen (hampir sama). Berdasarkan dari hitungan, volume rerata etanol yang dihasilkan yaitu 10,44 mL dan diperoleh standar deviasi 4,51%. Nilai tersebut dapat dijadikan basis perhitungan untuk menentukan koefisien transfer massa maupun perhitungan lainnya, karena nilai standar deviasi yang diperoleh masih tergolong kecil.

Kapasitas adsorpsi dipengaruhi oleh beberapa hal, salah satunya yaitu ukuran pori gel silika. Ukuran pori gel silika yaitu antara 3-4⁰A, sehingga mampu menjerap molekul air yang memiliki diameter 2,75⁰A (Silviana dan Purbasari, 2008; Sulastri dan Kristianingum, 2010). Ukuran molekul etanol 4,4⁰A, hal ini yang menyebabkan etanol lolos dari gel silika (Al-Asheh, 2004). Gel silika dapat menjerap kelembaban udara hingga 40% dari beratnya. Porositas gel silika 38-48% dan ketika jenuh dengan air, gel silika dapat diregenerasi (dikeringkan) dengan pemanasan sampai 150°C, sedangkan luas area permukaan gel silika antara 600-800 m²/g (Perry, 2008).

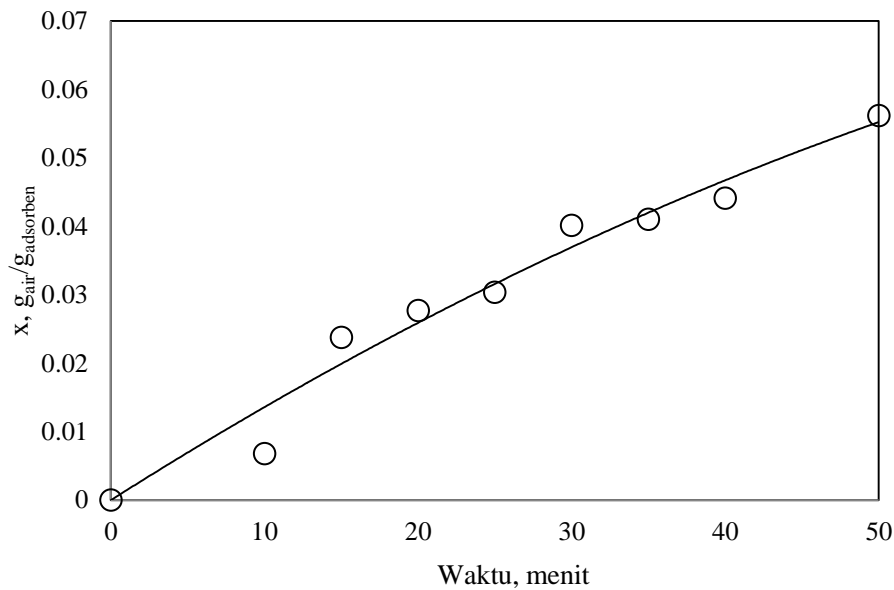
Pada beberapa hasil penelitian, gel silika lebih selektif dalam menjerap air dibandingkan adsorben lain. Menurut Silviana dan Purbasari (2008), gel silika mampu menjerap air dalam campuran isopropil alkohol-air 75% yang menghasilkan produk isopropil alkohol dengan kemurnian mencapai 91,6%. Dyartanti dkk., (2010) menyebutkan bahwa gel silika dapat memurnikan campuran etanol-air pada kadar umpan 95% menjadi 99%. Namun semakin lama proses adsorpsi maka kemampuan gel silika dalam menjerap uap air menurun, sehingga kadar etanol juga menurun atau tidak dapat naik lagi. Hal ini disebabkan karena kecepatan transfer massa air akan terus menurun dengan bertambahnya waktu dan nilainya lebih kecil daripada kecepatan aliran komponen air dalam etanol, akibatnya konsentrasi air ke luar kolom lama makin lama akan makin meningkat dan akan mencapai suatu konsentrasi yang sama dengan konsentrasi air masuk. Pada saat itu kapasitas adsorben untuk mengadsorpsi air telah mencapai maksimum dan selanjutnya adsorben menjadi tidak mampu lagi mengadsorpsi air

dengan kata lain adsorben sudah mengalami kejenuhan (Lourentius dan Retnoningtyas, 2014). Data berat air yang terjerap adsorben setiap waktu pada hasil penelitian ini dapat dilihat Tabel 4.5 berikut.

Tabel 4.5 Data Berat Air yang Terjerap Adsorben Setiap Waktu Menggunakan Gel Silika Putih

Waktu, menit	Konsentrasi Etanol, % v/v	Konsentrasi Air (C_{Ao}), % v/v	Volume Etanol, mL	Densitas (ρ_A), (g/mL)	g air/g adsorben
0	91,200	8,800	0	0,828	0
10	91,864	8,136	9,9	0,826	0,006
15	93,515	6,485	9,9	0,820	0,023
20	93,899	6,101	10	0,819	0,027
25	94,159	5,841	10,1	0,818	0,030
30	95,112	4,888	13,2	0,814	0,040
35	95,195	4,805	15	0,814	0,041
40	95,498	4,502	15,4	0,813	0,044
50	96,671	3,329	10,5	0,807	0,056

Pada fenomena transfer massa uap air ke dalam adsorben, tentunya ada frekuensi uap melalui *bed* yaitu 2,578. Adapun volume gel silika diketahui 20,26 cm³ dan waktu tinggal uap dalam *bed* yaitu 1,94 menit. Berdasarkan Tabel 4.5 dengan bertambahnya waktu, nilai g air/g adsorben semakin meningkat. Hal ini menunjukkan bahwa semakin banyak uap air yang dijerap oleh adsorben. Pada Gambar 4.3 menunjukkan hubungan antara waktu dan kapasitas adsorpsi pada gel silika putih yang ditunjukkan dengan nilai x (g air/g adsorben), kapasitas adsorpsi paling besar pada gel silika putih yaitu pada 50 menit yaitu 0,0560 g air/g adsorben.



Gambar 4.3 Hubungan Antara Waktu Terhadap Berat Air yang Terjerap Adsorben Menggunakan Gel Silika Putih

Uraian di atas menunjukkan bahwa metode distilasi adsorptif efektif dibandingkan dengan beberapa metode lainnya, sehingga dipilih untuk dilakukan pada penelitian ini. Metode distilasi adsorptif juga lebih ekonomis ditinjau dari kebutuhan energinya. Proses adsorpsi pada metode distilasi adsorptif, fase uap campuran etanol-air dilakukan terintegasi dengan distilasinya, jadi tidak perlu melakukan pemanasan dari awal untuk melakukan distilasi lanjut (Xie, 2001). Alternatif penggunaan gel silika sebagai adsorben untuk memurnikan etanol menggunakan metode distilasi adsorptif akan memberikan hasil yang sangat menjanjikan.

1.5 Hasil Pemodelan Distilasi Adsorptif Etanol Air

Pada peristiwa distilasi adsorptif untuk meningkatkan kadar etanol, komponen air harus dikurangi. Dengan asumsi bahwa adsorben hanya menyerap air, maka jumlah etanol masuk dan keluar dalam distilasi adsorptif tetap. Sehingga, pemodelan dapat diselesaikan menggunakan metode *finite difference approximation* secara implisit dan *curve-fitting*. Pada hasil percobaan ini, diselesaikan menggunakan 4 model matematis, diantaranya yaitu adanya dispersi

aksial *steady state* (model 1), adanya dispersi aksial *unsteady state* (model 2), tanpa dispersi aksial *steady state* (model 3) dan tanpa dispersi aksial *unsteady state* (model 4), masing-masing untuk gel silika biru dan putih. Model 1 dan 2 dapat dihitung dengan persamaan (2.18) dan (2.21). Namun untuk model 1 nilai $A=0$, sehingga:

$$(2v - u(\Delta z))C_{Ai-1,j+1} + DC_{Ai,j+1} = AC_{Ai,j} + BC_A^* \quad (2.8)$$

Dimana:

$$u = \frac{F}{S\varepsilon}, \quad v = -\frac{Dax}{\varepsilon}$$

$$A = \frac{(\Delta z)^2}{\Delta t}, \quad B = \frac{kc.a.(\Delta z)^2}{\varepsilon}, \quad D = -2v + u(\Delta z) + A + B \quad (2.12)$$

Model 3 dan 4 dihitung dengan persamaan (2.28) dan (2.29). Namun pada model 3 nilai $A=0$, sehingga:

$$-uC_{Ai-1,j+1} + DC_{Ai,j+1} = AC_{Ai,j} + BC_A^* \quad (2.15)$$

Dimana:

$$A = \frac{\Delta z}{\Delta t}, \quad B = \frac{kc.a.(\Delta z)}{\varepsilon}, \quad D = u + A + B \quad (2.19)$$

Berdasarkan keempat model tersebut, maka diperoleh nilai-nilai parameter optimasi proses, seperti $k_{c,a}$, Dax , C_A^* , dan H yang dapat dilihat pada Tabel 4.6 dan 4.7 berikut ini.

Tabel 4.6 Hasil Parameter Optimum Proses 4 Model Pada Gel Silika Biru

Parameter	Model 1 (dispersi- <i>steady state</i>)	Model 2 (dispersi- <i>unsteady state</i>)	Model 3 (tanpa dispersi- <i>steady state</i>)	Model 4 (tanpa dispersi- <i>unsteady state</i>)
$k_{c,a}$	0,041/detik	0,038/detik	0,006/detik	0,005/detik
Dax	0,008 cm ² /detik	0,01 cm ² /detik	0 cm ² /detik	0 cm ² /detik
C_A^*	4,5%	4,25%	4,7%	4,87%
H	1,955	2,070	1,872	1,807
Ralat Rerata	4,47%	4,39%	5,33%	4,65%

Tabel 4.7 Hasil Parameter Optimum Proses 4 Model Pada Gel Silika Putih

Parameter	Model 1 (dispersi- <i>steady state</i>)	Model 2 (dispersi- <i>unsteady state</i>)	Model 3 (tanpa dispersi- <i>steady state</i>)	Model 4 (tanpa dispersi- <i>unsteady state</i>)
k_{ca}	0,034/detik	0,045/detik	0,0043/detik	0,0048/detik
D_{ax}	0,012 cm ² /detik	0,01 cm ² /detik	0 cm ² /detik	0 cm ² /detik
C_A^*	4,3%	4,15%	4,55%	4,65%
H	2,046	2,120	1,934	1,892
Ralat Rerata	7,81%	6,63%	9,10%	7,91%

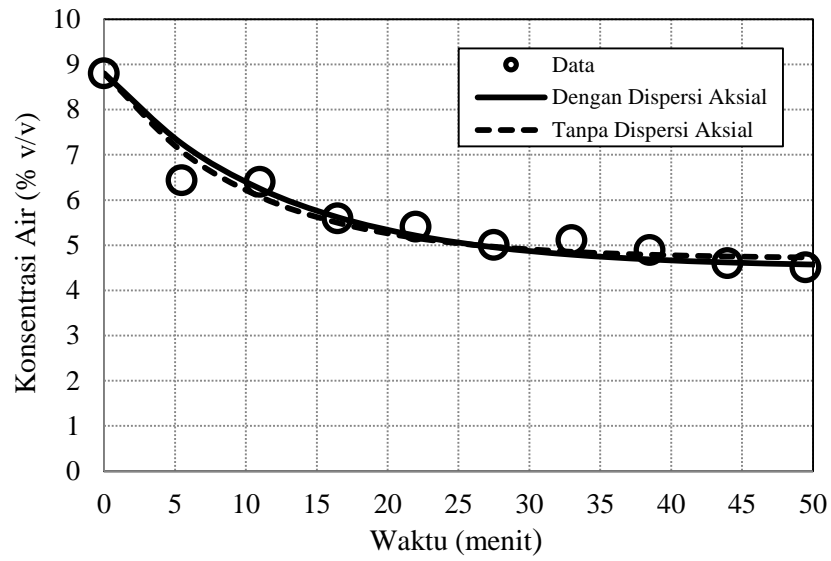
Berdasarkan Tabel 4.6 menunjukkan bahwa nilai k_{ca} dan ralat rerata paling kecil yaitu pada model 2, namun diperoleh konstanta Henry lebih besar dibanding ketiga model lainnya. Adanya dispersi aksial jika bentuk adsorben berupa butiran besar, sedangkan jika adsorben berbentuk butiran halus/serbuk maka dispersi aksial boleh diabaikan. Semakin kecil nilai k_{ca} maka semakin baik proses adsorpsinya, karena waktu jenuh adsorben menjadi lebih lama, begitu juga sebaliknya. Hal ini berarti bahwa model 2 cocok digunakan karena bentuk gel silika berupa butiran besar, sehingga memungkinkan adanya dispersi aksial. Kondisi *unsteady state* dapat disebabkan adanya perubahan suhu maupun tekanan, meskipun dalam percobaan suhu dan tekanan tersebut dijaga agar tetap konstan. Seperti halnya Tabel 4.7, nilai-nilai parameternya juga sama dengan Tabel 4.6 yaitu pada model 2. Pada Tabel 4.7 model 2, nilai k_{ca} lebih besar dari model 1. Namun ralat rerata pada model 2 lebih kecil dibandingkan ketiga model lainnya, sehingga model 2 cocok pada percobaan. Pada penelitian ini, dari keempat model tersebut yang paling mengontrol yaitu model 2 (adanya dispersi aksial *unsteady state*). Keempat model tersebut digunakan untuk memperoleh kecocokan konsentrasi air (data) terhadap konsentrasi air (hitung).

Proses adsorpsi pada dinding pori umumnya juga berlangsung relatif sangat cepat, sehingga tidak mengontrol proses. Pada umumnya yang mengontrol kecepatan proses adsorpsi adalah perpindahan massa uap air dari etanol ke permukaan butir dan atau difusi dari permukaan butir ke dalam butir melalui pori. Jika butir-butir adsorben sangat kecil (seperti serbuk) maka difusi dari permukaan

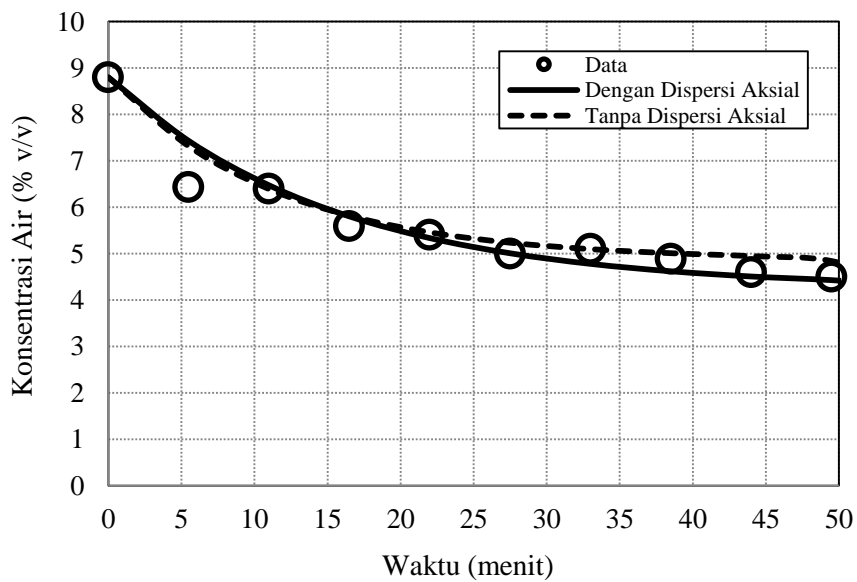
ke dalam butir berlangsung relatif sangat cepat sehingga tidak mengontrol. Akibatnya yang mengontrol adalah perpindahan massa uap air dari etanol ke permukaan butir. Sebaliknya, jika butir-butir berukuran besar, difusi dari permukaan ke dalam butir sangat relatif sangat lambat, sehingga yang mengontrol adalah proses difusinya (Sediawan dan Prasetya, 1997). Hal ini sesuai dengan teori, bahwa k_{ca} yang cocok adalah yang lambat (kecil) seperti pada Tabel 4.8 dan 4.9 bahwa data percobaan cocok dengan model 4.

1.6 Model Adanya Dispersi Aksial dan Tanpa Dispersi Aksial Pada Kondisi *Steady State* dan *Unsteady State*

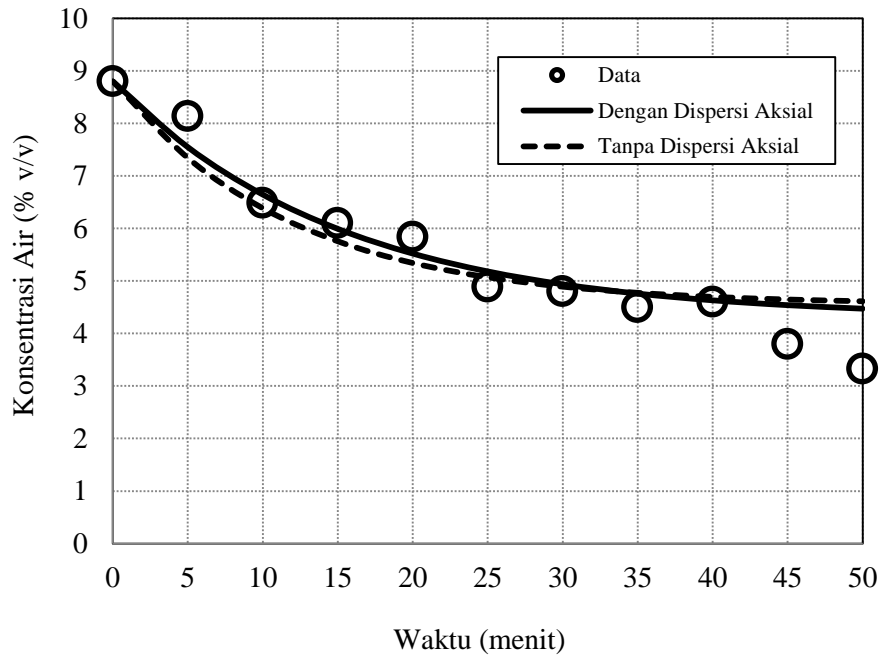
Gambar 4.4 – 4.6 menunjukkan bahwa model dengan memperhitungkan adanya dispersi aksial lebih cocok daripada mengabaikan dispersi aksial. Gambar-gambar tersebut juga memperlihatkan bahwa hasil perhitungan dengan mengabaikan dispersi aksial tidak terlalu menyimpang dari data percobaan. Hal ini dapat disimpulkan bahwa model tanpa dispersi aksial dapat menggambarkan mekanisme distilasi adsorptif menggunakan gel silika sebagai adsorben. Pada percobaan ini gel silika berbentuk butiran besar dengan diameter rata-rata 0,3-0,4 cm. Model 1 dan 3 lebih cocok dengan data yaitu adanya dispersi aksial dan tanpa dispersi aksial pada kondisi *steady state*, dibandingkan dengan model 2 dan 4 pada kondisi *unsteady state*.



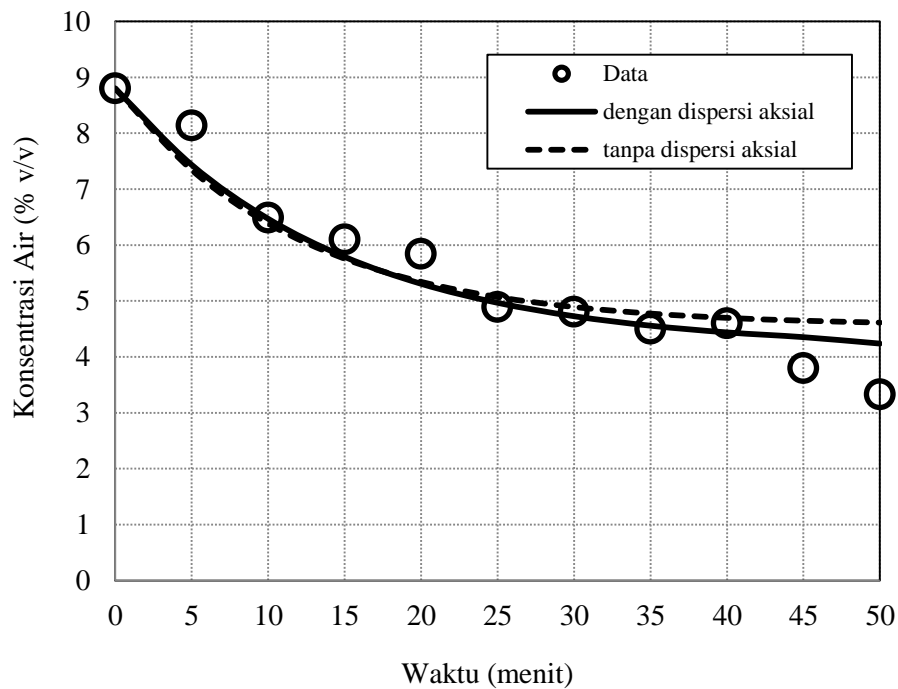
Gambar 4.4 Perbandingan Model 1 (dengan Dispersi Aksial) dan 3 (tanpa Dispersi Aksial) pada Kondisi *Steady State* Menggunakan Gel Silika Biru



Gambar 4.5 Perbandingan Model 2 (dengan Dispersi Aksial) dan 4 (tanpa Dispersi Aksial) pada Kondisi *Unsteady State* Menggunakan Gel Silika Biru



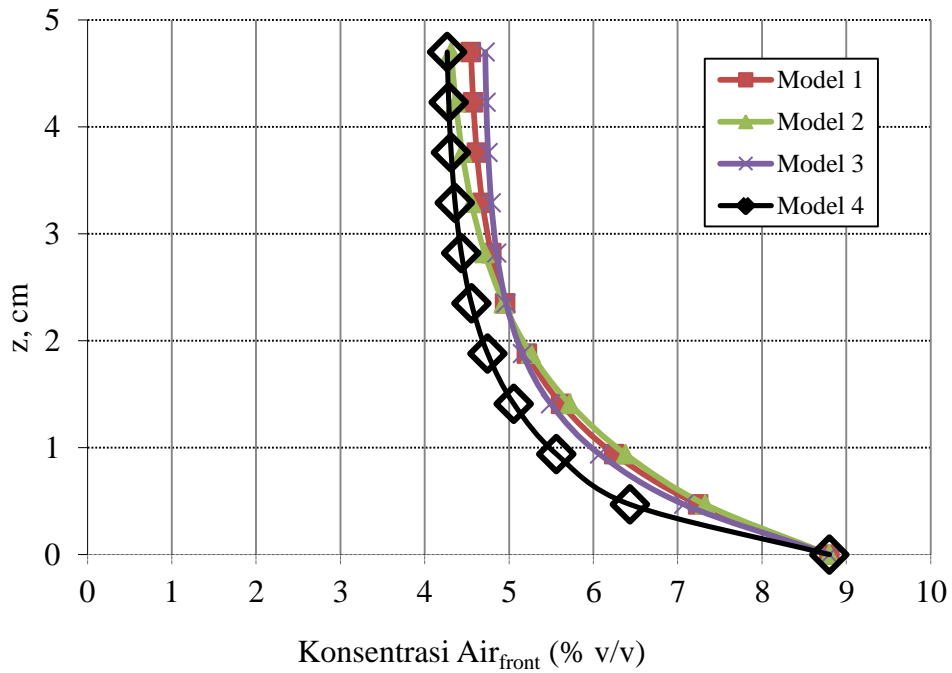
Gambar 4.6 Perbandingan Model 1 (dengan Dispersi Aksial) dan 3 (tanpa Dispersi Aksial) pada Kondisi *Steady State* Menggunakan Gel Silika Putih



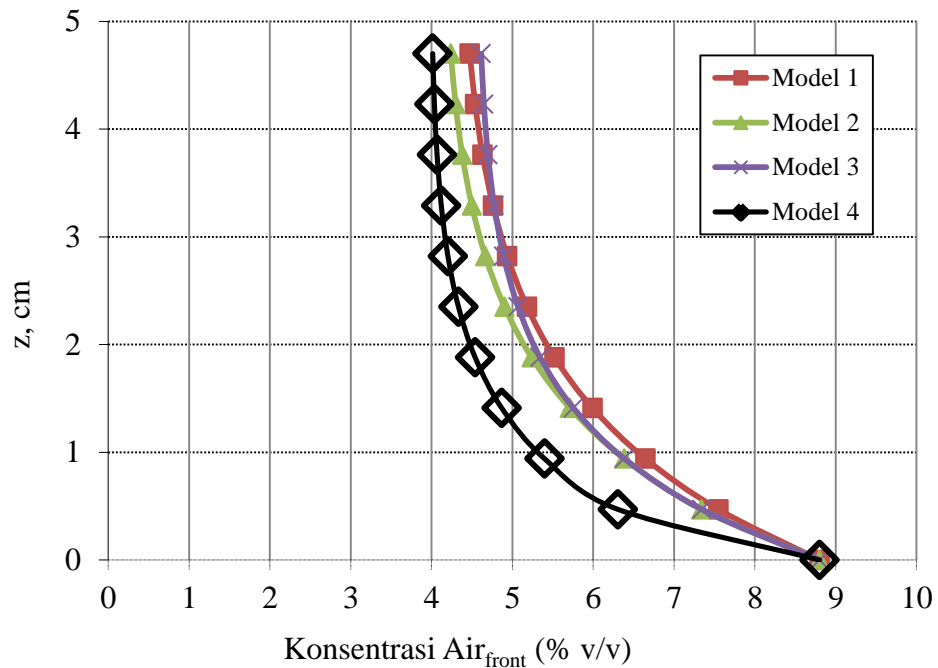
Gambar 4.7 Perbandingan Model 2 (dengan Dispersi Aksial) dan 4 (tanpa Dispersi Aksial) pada Kondisi *Unsteady State* Menggunakan Gel Silika Putih

1.7 Pengaruh Tinggi Kolom Terhadap Konsentrasi Air

Hasil pemodelan ini dapat diaplikasikan untuk mengetahui profil perubahan konsentrasi sepanjang kolom. Hasil perhitungan perubahan konsentrasi tersebut pada variasi model dapat dilihat pada Gambar 4.8 dan 4.9.



Gambar 4.8 Prediksi Konsentrasi Etanol Sepanjang *Bed* pada Distilasi Adsorptif Etanol-Air Menggunakan Gel Silika Biru



Gambar 4.9 Prediksi Konsentrasi Etanol Sepanjang *Bed* pada Distilasi Adsorptif Etanol-Air Menggunakan Gel Silika Putih

Menurut Haryati dkk., (2012) bahwa semakin tinggi kolom, maka luas permukaan kontak adsorben yang digunakan semakin besar sehingga proses penjerapan menjadi lebih baik. Hasil percobaan ini tidak berbeda jauh dengan hasil penelitian tersebut. Berdasarkan Gambar 4.8 dan 4.9, konsentrasi etanol meningkat sepanjang tinggi kolom. Pada ketinggian kolom 4,7 cm dengan konsentrasi etanol sebesar 91,2%v/v, kemudian sepanjang ketinggian mencapai sekitar 4 cm konsentrasi etanol yang dihasilkan meningkat dari 91,2%v/v menjadi 96,67%. Peningkatan konsentrasi etanol setelah itu tidak terlalu signifikan.

BAB V

PENUTUP

5.1 Simpulan

Berdasarkan hasil yang diperoleh dari penelitian, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Konsentrasi etanol tertinggi yang diperoleh menggunakan adsorben gel silika putih, yaitu 96,671% sedangkan konsentrasi etanol menggunakan gel silika biru hanya 95,662%.
2. Pada penelitian ini digunakan 4 model untuk mengetahui parameter proses yang ingin diketahui, yaitu nilai k_{ca} , D_{ax} , C_A^* , dan H . Dari keempat pemodelan tersebut, hasil pemodelan yang paling baik ditunjukkan pada model 2, yaitu adanya dispersi aksial *unsteady state*. Model 2 pada gel silika biru diperoleh nilai k_{ca} , D_{ax} , C_A^* , dan H masing-masing yaitu 0,038/detik; 0,01 cm^2 /detik; 4,25% dan 2,0706 sedangkan nilai yang diperoleh dari gel silika putih yaitu 0,045/detik; 0,01 cm^2 /detik; 4,15% dan 2,120.

5.2 Saran

Beberapa saran yang dapat diterapkan untuk meningkatkan hasil penelitian yang akan datang antara lain adalah sebagai berikut:

1. Jenis gel silika lain dapat digunakan sebagai adsorben sehingga nilai parameter perpindahan massa volumetrisnya dapat diketahui.
2. Rancang bangun serangkaian alat distilasi adsorptif dapat dilengkapi dengan mengatur kecepatan uap masuk adsorber.
3. Jenis adsorben lain, seperti bioadsorben dapat dicoba sebagai pembanding dan usaha dalam mengoptimalkan konservasi dalam bidang energi hijau.
4. Indikator suhu yang digunakan memiliki ketelitian lebih kecil.
5. Desain alat distilasi adsorptif sebaiknya dilengkapi dengan indikator tekanan untuk mengetahui perubahan tekanan setiap waktu.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Asheh, S., Banat, F. dan Fara, A.A. 2009. *Dehydration of Ethanol Water Azeotropic Mixture by Adsorption Through Phillipsite Packed-Column*. Separation Science and Technology 44: 3170-3188. ISSN: 0149-6395.
- Al-Asheh, S.F., Banat, dan N. Al-Lagtah. 2004. *Separation of Ethanol Water Mixture Using Molecular Sieves and Biobased Adsorbents*. Chemical Engineering Research and Design. 82 (A27): 855-864.
- Bisowarno, B.H., Girisuta, B., Wijaya, P., dan Anggaeni Yunita. 2010. *Simulasi Proses Dehidrasi Etanol dengan Kolom Distilasi Azeotrop Menggunakan Isooktan*. Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia “Kejuangan”. ISSN: 1693-4393.
- Black, C, dan Ditsler D.E. 1997. *Dehydration of Aqueous Ethanol Mixtures by Extractive Distillation*. Advances in Chemistry. Volume 115, pp: 1-15. ISBN : 9780841201576.
- Blueprint. 2006. *Blueprint Pengelolaan Energi Nasional 2006 – 2025 (Sesuai Peraturan Presiden Nomor 5 Tahun 2006)*. Jakarta.
- Bruschke, H.E.A. 1990. *Removal of Ethanol from Aqueous Streams by Pervaporation*. Desalination. 77: 323-329.
- Chen, W-C. dan Sheng, C-T. 2013. *Designing and Constructing an Optimization Operating Model for a Bioetanol Production System*. Life Science Journal Vol. 10(2).
- Choi, H.S., Hino, T., Shibata, M., Negishiandlt, Y. Dan Ohya, H. 1992. *The Characteristic of a PPA-PSF Composite Membrane for Separation of Water-Ethanol Mixture Through Pervaporation*. Journal Member of Science. Vol. 72. Hal: 259-266.
- Cussler, E.L. 1997. *Diffusion: Mass Transfer in Fluid Systems*. Cambridge University Press. New York, USA.
- Data Statistik Migas Indonesia. 2013. *Keseimbangan Produksi Minyak Mentah dan Konsumsi BBM Nasional*. Jakarta: 2004.
- Dortmund Data Bank. *Thermophysical Data for Process Design*. <http://www.ddbst.com/en/EED/VLE/VLE%20Ethanol%3BWater.php>
- Dyartanti, E.R., Putra, F.C., dan Rendy O.P. 2012. *Pembuatan Etanol Fuel Gade dalam Kolom Unggun Tetap dengan Absorbent Hybrid Active Ganulated Zeolit – Gel silika*. Ekuilibrium. Vol. 11, No.2 Halaman : 63 – 66. ISSN: 1412-9124.

- Dyartanti, E.R., W. Bimo, S., dan O. Siti, M. 2010. *Pengeringan Etanol dalam Kolom Unggun Tetap dengan Adsorbent Silica Gel*. Seminar Rekayasa Kimia Dan Proses. ISSN : 1411-4216
- Hickey, P.J dan Slater, C.S. 1990. *The Selective Recovery of Alcohols from Fermentation Broths by Pervaporation*. Separation Purification Methods. Vol. 19. No. 93: 115.
- Hu, X dan Xie W. 2001. *Fixed-Bed Adsorptim and Fluidized-Bed Regeneratiom for Breaking The Azeotrope of Ethanol and Water*. Separation Science and Technology. Vol. 36. Hal. 125-136.
- Kementerian ESDM. 2015. *Data Statistik Konsumsi/ Penjualan BBM*. <http://statistik.migas.esdm.go.id/index.php?r=konsumsiBbm/index> diakses pada 6 Desember 2015 Pukul 21.12 WIB
- Kumar, S., Singh1, N., dan Prasad, R. 2010. *Anhydrous Ethanol: A Renewable Source of Energy*. Renewable and Sustainable Energy Review 14 (2010) 1830 – 1844.
- Kusuma, D.S. dan Dwiatmoko, A.A. 2009. *Pemurnian Etanol untuk Bahan Bakar*. Berita IPTEK, 47(1), 48-56.
- Lourentius, S. 2012. *Analisis Keseimbangan Adsorpsi dan Kurva Breakthrough Pada Proses Dehidrasi Bioetanol Menjadi Fuel Gade Ethanol (FGE) Menggunakan Adsorpsi Zeolit Alam Malang*. Surabaya. ISSN 1976-9427.
- Lourentius, S. dan Retnoningtyas, E.S. 2014. *Koefisien Transfer Massa Pada Proses Pemurnian Bioetanol dalam Kolom Teraduk Menggunakan Adsorben Zeolit Alam Termodifikasi*. Simposium Nasional RAPI XIII–2014 FT UMS. ISSN 1412-9612.
- Mujiburohman, M., Sediawan, W., dan Sulisty H. 2007. *Modeling of Fixed Adsorptive Distillation in Batch Operation*. Separation Science and Technology, 42: 103 – 124. ISSN 0149-6395.
- Mujiburohman, M., Sediawan, W., dan Sulisty H.. 2006. *A Preliminary Study: Distillation of Isopropanol-Water Mixture Using Fixed Adsorptive Distillation Method*. Separation and Purification Technology 48 (2006) 85 – 92.
- Nishi, Y. 1975. *Vapor-Liquid Equilibrium Relations For The System Accompanied Byhypothetical Chemical Reactions Containing Salts*. Journal Chemical Engineering Of Japan. Volume 8, No. 3, Hal:187-191.
- Novitasari, D., Kusumaningum, D., Tutuk D. Kusworo.2012. *Pemurnian Bioetanol Menggunakan Proses Adsorpsi dan Distilasi Adsorptif dengan Adsorbent Zeolit*. Jurnal Teknologi Kimia dan Industri, Vol. 1, No. 1, Halaman 534 – 539. Universitas Diponegoro: Semarang.

- Perry, R.H dan Geen, D.W. 2008. *Chemical Engineering's Handbook: 8th Edition*. Mc-Gaw-Hill. New York.
- Rattanaphanee, P., Laha, W., Boonfung, C., 2013. *Desiccant from Cassava for Dehydration of Alcohol Vapor at Near Azeotropic Concentration*. *Advanced Materials Research*. Vol. 651, Hal: 126-130.
- Sediawan, W.B dan Prasetya, A. 1997. *Pemodelan Matematis dan Penyelesaian Numeris dalam Teknik Kimia dengan Pemrograman Bahasa Basic dan Fortran*. Yogyakarta: Andi Offset.
- Silviana dan Aprilina Purbasari. 2008. *Pengambilan Air dari Sistem Isopropil Alkohol – Air dengan Adsorptive - distillation Menggunakan Zeolit Alam dan Gel silika*. *Reaktor*, Volume 12, No. 1, Juni 2008 Hal. 29 – 32.
- Strathmann, H dan Gudernatsch, W. 1991. *Continuous Removal of Ethanol from Bioreactor by Pervaporation*. *Bioprocess Technology*. 11: 67-89.
- Sulastri, S. dan Kristianingum, S. 2010. *Berbagai Macam Senyawa Silika: Sintesis, Karakterisasi Dan Pemanfaatan*. Prosiding Seminar Nasional Penelitian, Pendidikan dan Penerapan MIPA, Fakultas MIPA, Universitas Negeri Yogyakarta, 15 Mei 2010 K-211
- Tadayon, F., Motiee, F., Erfani, A., dan Baghbani, B.R. 2014. *Design of Adsorptive Distillation For Separation of Ethanol-Water Azeotropic Mixture Using Bio-Based Adsorbents*. *Studia UBB Chemia*, LIX, 4, 2014 (p. 65-74).
- Taufanny, F., Soewarno, N., Yuwono, K., Ardiyanta, D., Eliana, dan M., Girsang, I.R. 2015. *Feed Plate and Feed Adsorbent Temperature Optimisation of Distillation – Adsorption Process to Produce Absolute Ethanol*. *Modern Applied Science*; Vol. 9, No. 7, ISSN 1913-1844 E-ISSN 1913-1852
- Treybal, R.E., 1981, *Mass Transfer Operation, 3rd ed*. Mc. Gaw-Hill Book Company, USA.
- Wahyuni, Ika. 2012. *Studi Pemisahan Campuran Azeotrop Etanol-Air dan Isopropil Alkohol-Air Melalui Proses Pervorasi Dengan Membran Thin Film Composit Komersial*. Tesis, Universitas Indonesia. Depok.
- Zhigang, L., Jinchang, Z., dan C. Biaohua. 2002. *Separation of Aqueous Isopropanol by Reactive Extractive Distillation*. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*. Vol. 77, Issues 11, Hal: 1251-1254.

LAMPIRAN 1

HASIL UJI GC KONSENTRASI ETANOL MENGGUNAKAN ADSORBEN GEL SILIKA BIRU

=====**GCSolution Analysis Report**=====

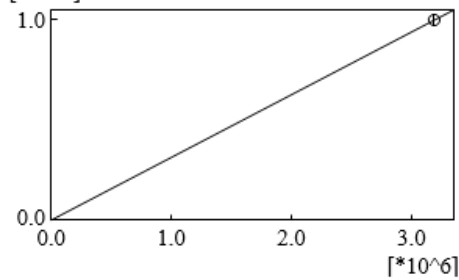
=====**Shimadzu GC-14B**=====

Calibration Curve - Analytical Line 1 - Channel 1
ID#:1 Name:Ethanol

$f(x)=3.12142398923e-005*x+0.0$
R=0.0 R²=0.0
MeanRF:3.12142398923e-005 RFSD:-- RFRSD:--
CurveType:Linear
ZeroThrough:Not through
WeightedRegression:None

External Standard

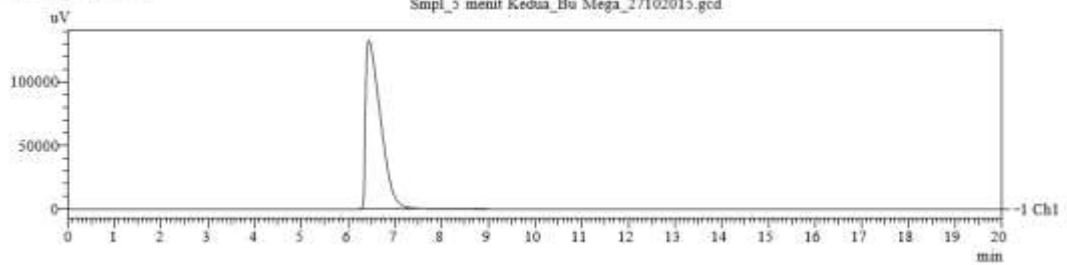
[*10²]



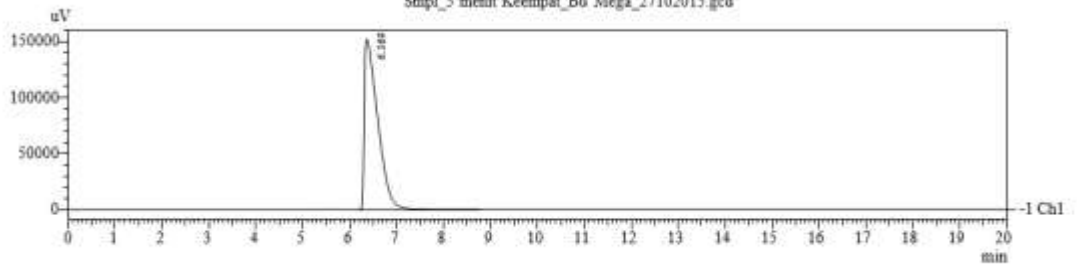
N	Conc.	Area
1	99.500	3187648

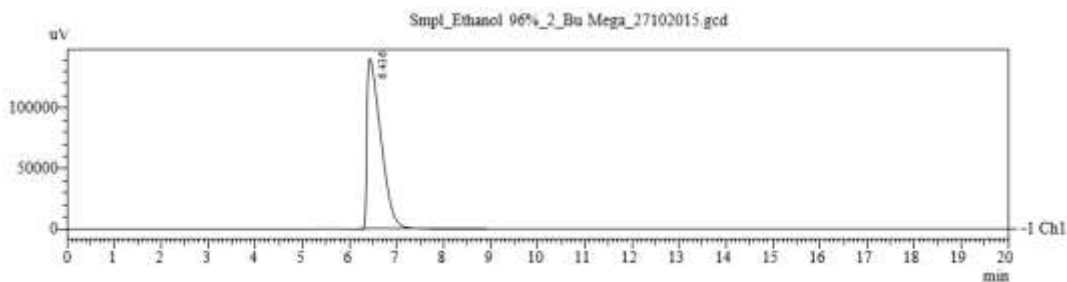
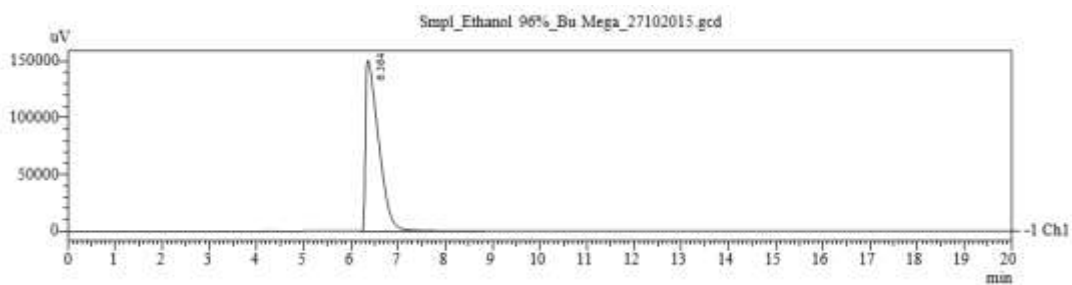
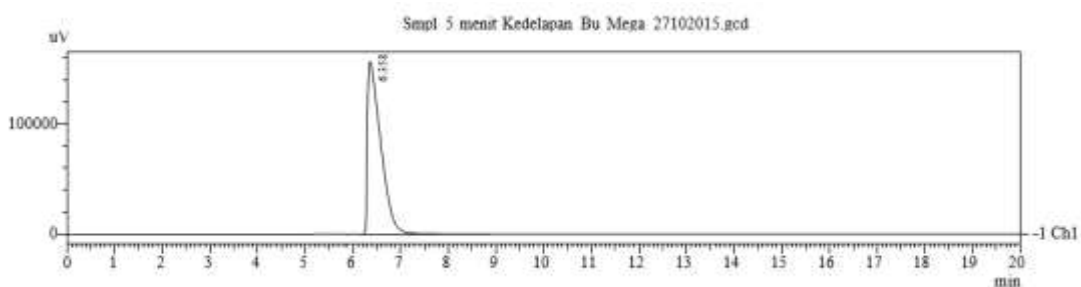
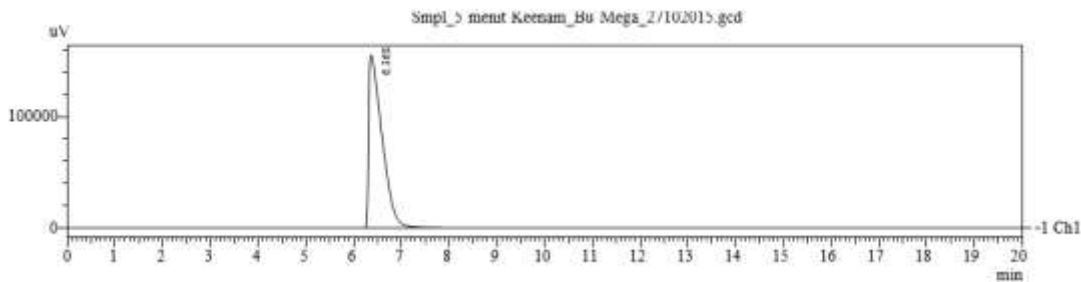
Summary(Compound)

Smpl_5 menit Kedua_Bu Mega_27102015.gcd



Smpl_5 menit Keempat_Bu Mega_27102015.gcd





<< Channel 1 >>

ID#1 Compound Name: Ethanol

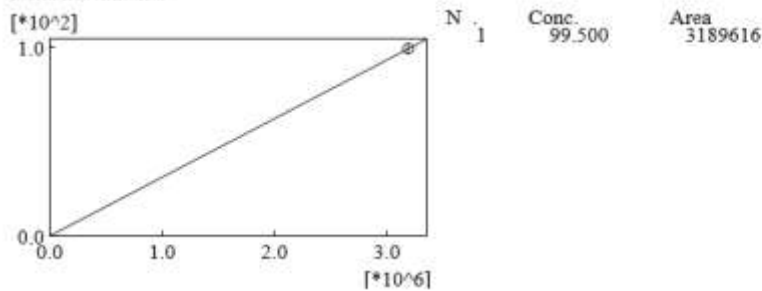
Title	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Units
Smpl_5 menit Kedua_Bu Mega_27102015.gcd	6.445	2958536	132749	92.348	%
Smpl_5 menit Keempat_Bu Mega_27102015.gcd	6.369	3030464	151883	94.594	%
Smpl_5 menit Keenam_Bu Mega_27102015.gcd	6.368	3040122	155458	94.895	%
Smpl_5 menit Kedelapan_Bu Mega_27102015.gcd	6.358	3040019	156429	94.892	%
Smpl_Ethanol 96%_Bu Mega_27102015.gcd	6.364	2910316	150604	90.843	%
Smpl_Ethanol 96%_2_Bu Mega_27102015.gcd	6.436	2905344	140667	90.688	%
Average	6.390	2980800	147965	93.043	
Maximum	6.445	3040122	156429	94.895	
Minimum	6.358	2905344	132749	90.688	

===== GCSolution Analysis Report =====
 ===== Shimadzu GC-14B =====

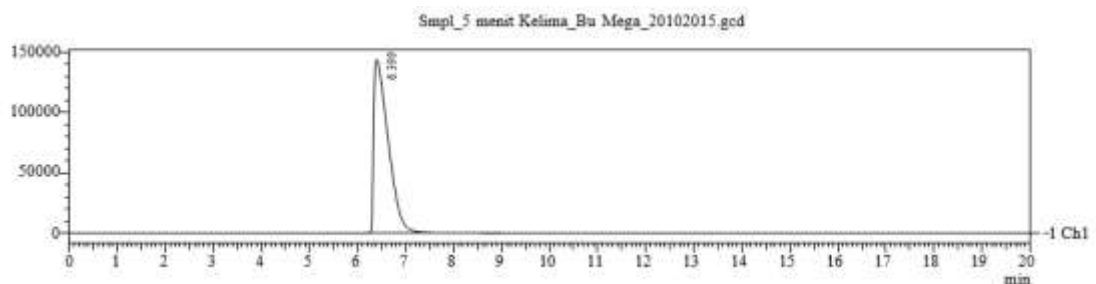
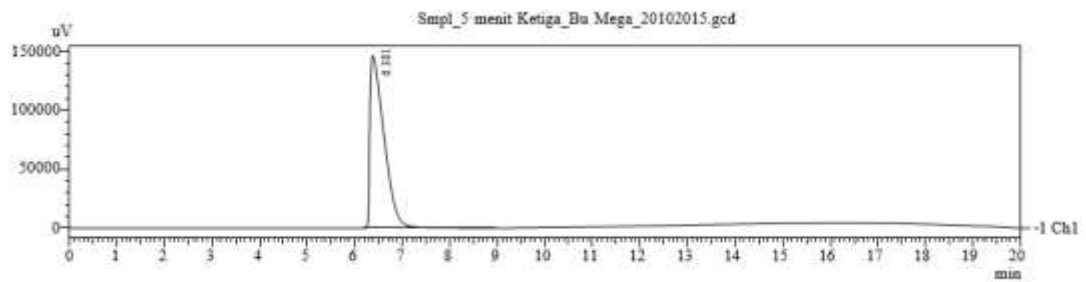
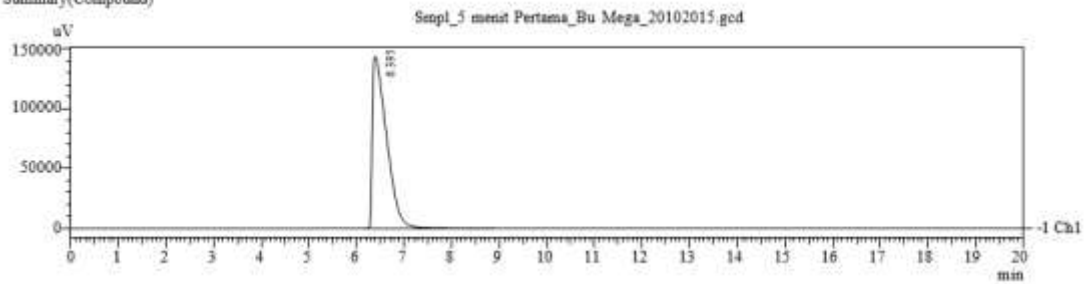
Calibration Curve - Analytical Line 1 - Channel 1
 ID#:1 Name: Ethanol

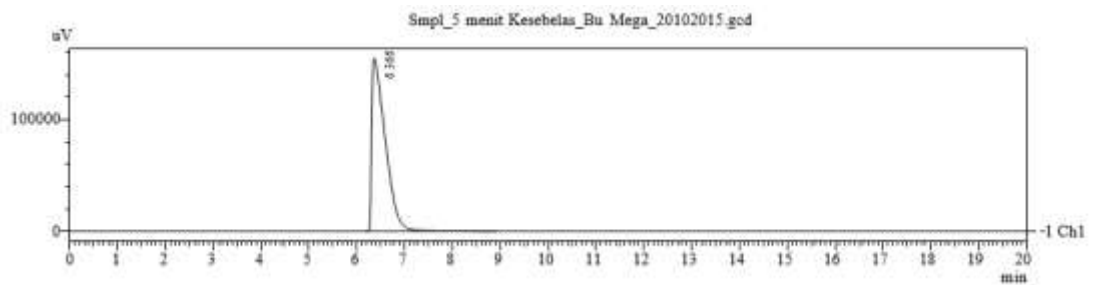
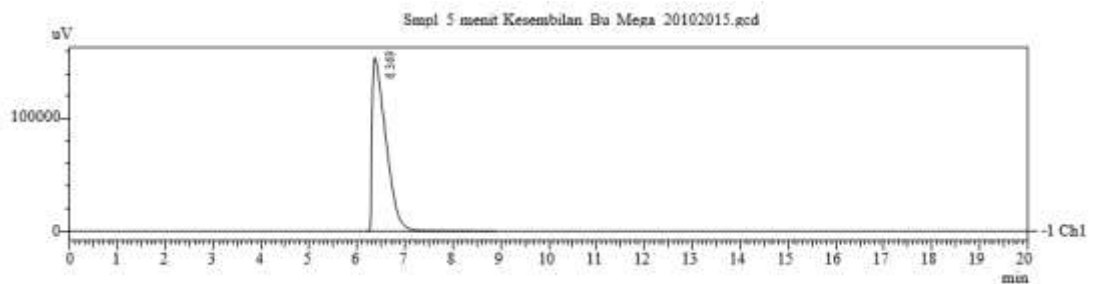
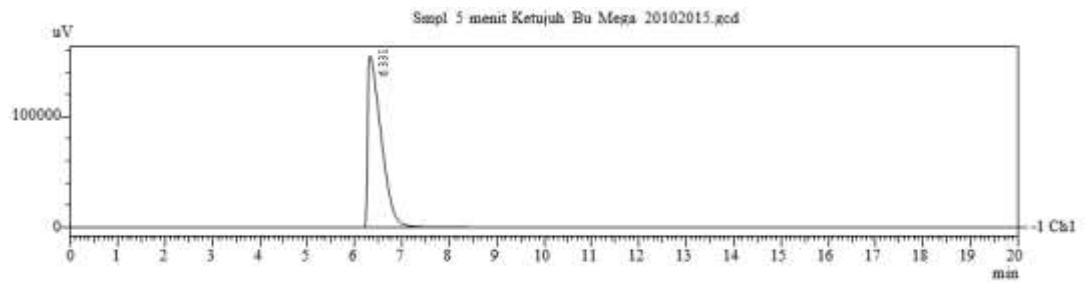
$f(x)=3.11949816147e-005*x+0.0$
 R=0.0 R^2=0.0
 MeanRF:3.11949816147e-005 RFSD:-- RFRSD:--
 CurveType:Linear
 ZeroThrough:Not through
 WeightedRegression:None

External Standard



Summary(Compound)





<< Channel 1 >>

ID#1 Compound Name: Ethanol

Title	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Units
Smpl_5 menit Pertama_Bu Mega_20102015.gcd	6.395	2999511	143745	93.570	%
Smpl_5 menit Ketiga_Bu Mega_20102015.gcd	6.381	3026395	146251	94.408	%
Smpl_5 menit Kelima_Bu Mega_20102015.gcd	6.399	3032060	144106	94.585	%
Smpl_5 menit Ketujuh_Bu Mega_20102015.gcd	6.331	3081071	154997	96.114	%
Smpl_5 menit Kesembilan_Bu Mega_20102015.gcd	6.369	3061323	153977	95.498	%
Smpl_5 menit Kesebelas_Bu Mega_20102015.gcd	6.366	3066586	155022	95.662	%
Average	6.373	3044491	149683	94.973	
Maximum	6.399	3081071	155022	96.114	
Minimum	6.331	2999511	143745	93.570	

LAMPIRAN 2

HASIL UJI GC KONSENTRASI ETANOL MENGGUNAKAN ADSORBEN GEL SILIKA PUTIH

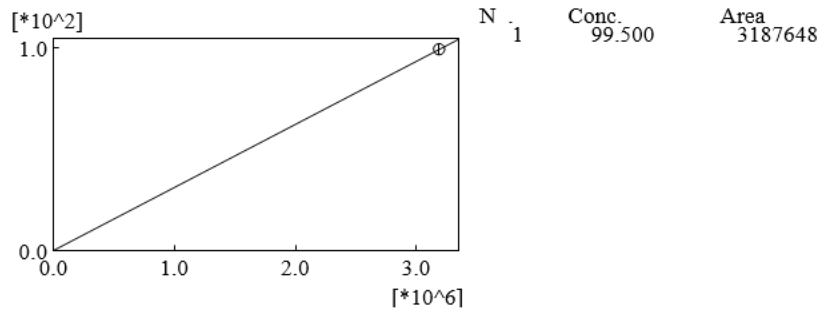
=====**GCSolution Analysis Report**=====

=====**Shimadzu GC-14B**=====

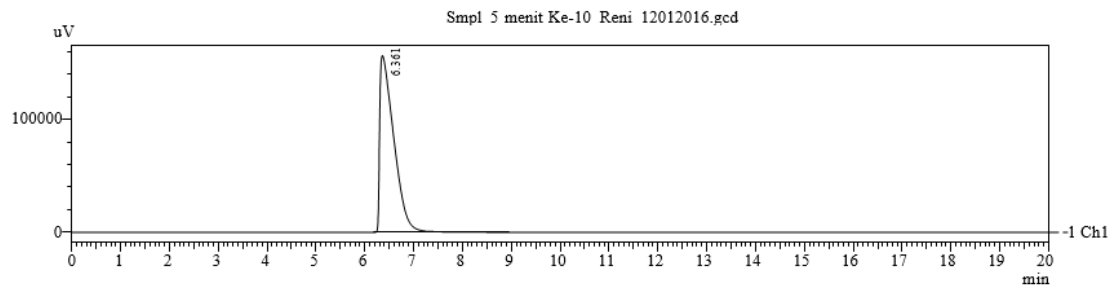
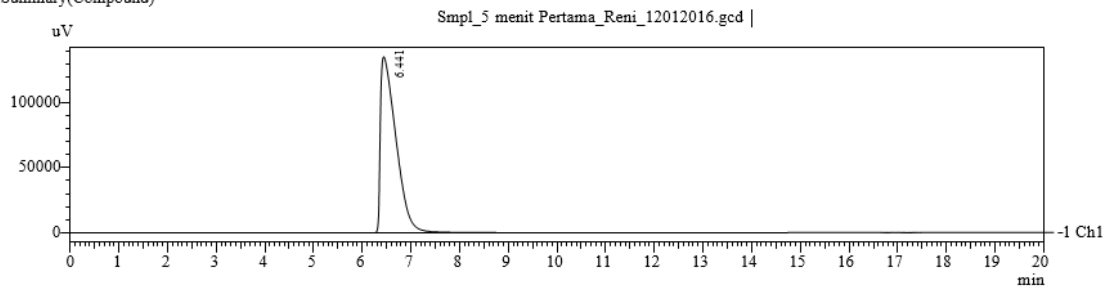
Calibration Curve - Analytical Line 1 - Channel 1
ID#:1 Name:Ethanol

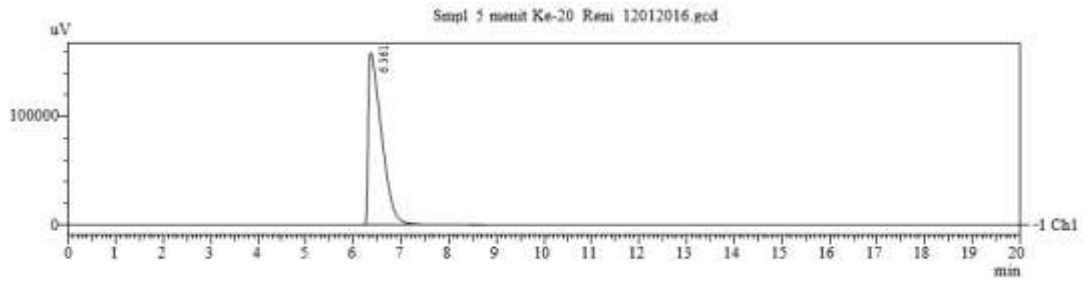
$f(x)=3.12142398923e-005*x+0.0$
R=0.0 R²=0.0
MeanRF:3.12142398923e-005 RFSD:-- RFRSD:--
CurveType:Linear
ZeroThrough:Not through
WeightedRegression:None

External Standard



Summary(Compound)





<< Channel 1 >>

ID#1 Compound Name: Ethanol

Title	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Units
Smpl_5 menit Pertama_Reni_12012016.gcd	6.441	3009029	135579	93.925	%
Smpl_5 menit Ke-10_Reni_12012016.gcd	6.361	3141453	156465	98.058	%
Smpl_5 menit Ke-20_Reni_12012016.gcd	6.361	3097022	159144	96.671	%
Average	6.387	3082501	150396	96.218	
Maximum	6.441	3141453	159144	98.058	
Minimum	6.361	3009029	135579	93.925	

=====**GCSolution Analysis Report**=====

=====**Shimadzu GC-14B**=====

Calibration Curve - Analytical Line 1 - Channel 1

ID#:1 Name:Ethanol

$$f(x)=3.12142398923e-005*x+0.0$$

R=0.0 R^2=0.0

MeanRF:3.12142398923e-005 RFSD:-- RFRSD:--

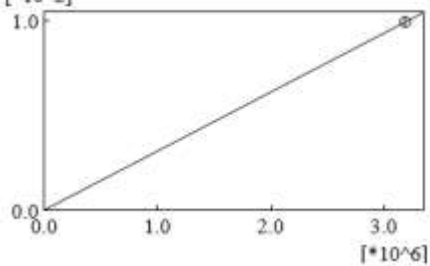
CurveType:Linear

ZeroThrough:Not through

WeightedRegression:None

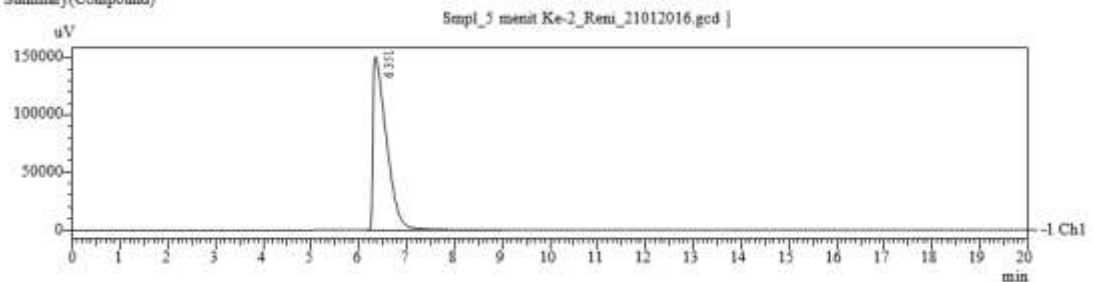
External Standard

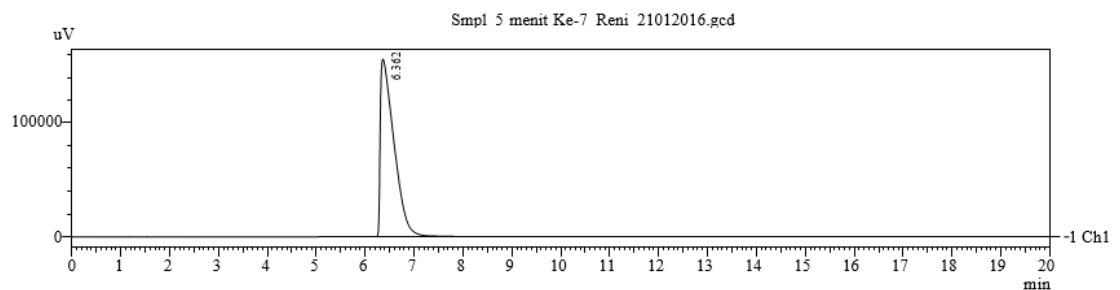
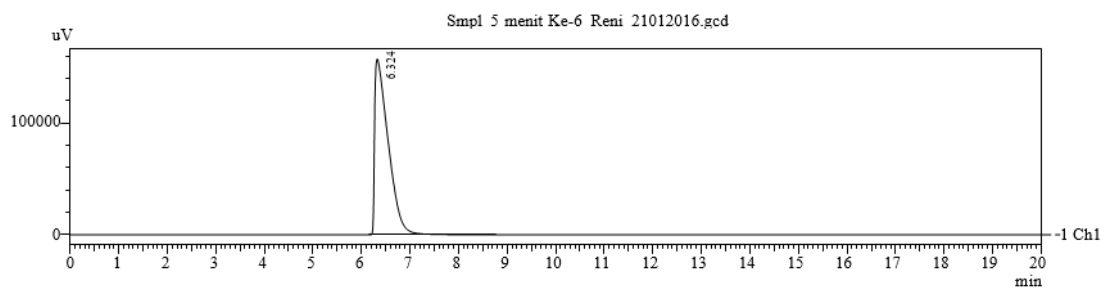
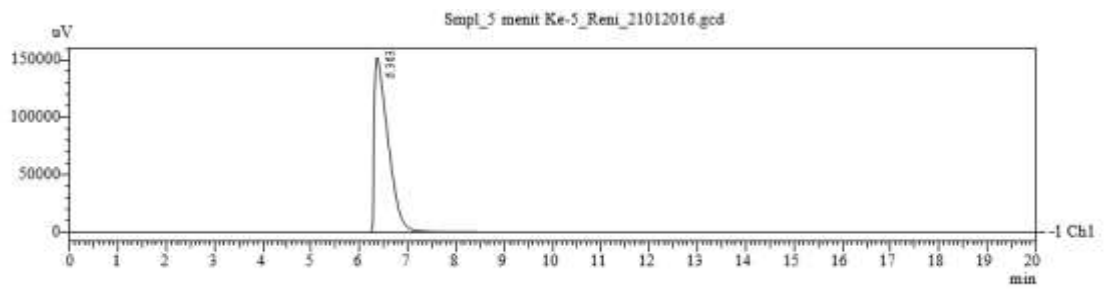
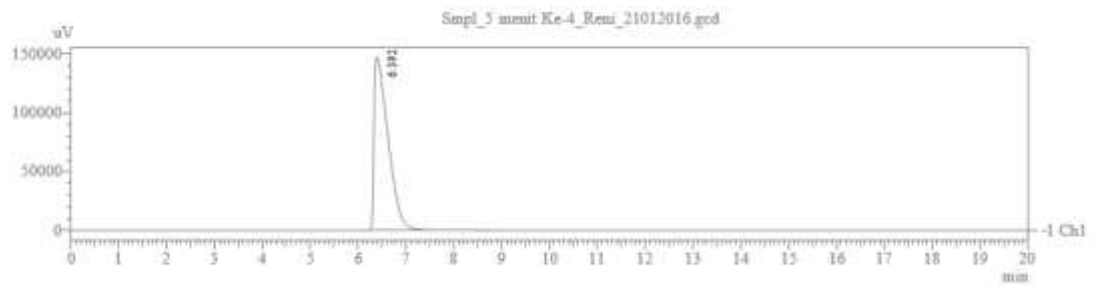
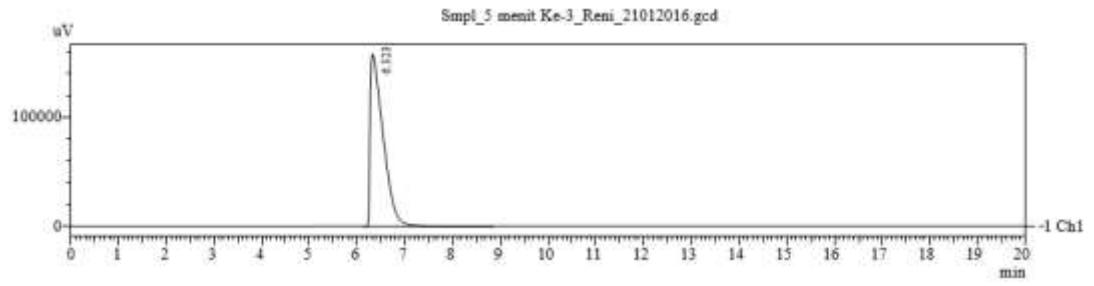
[*10²]

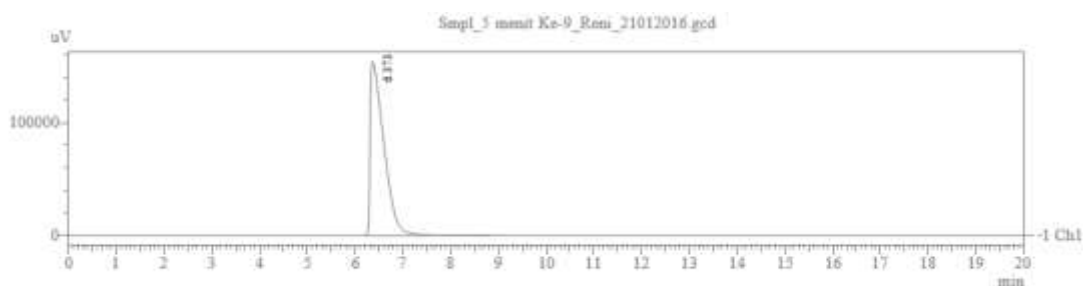
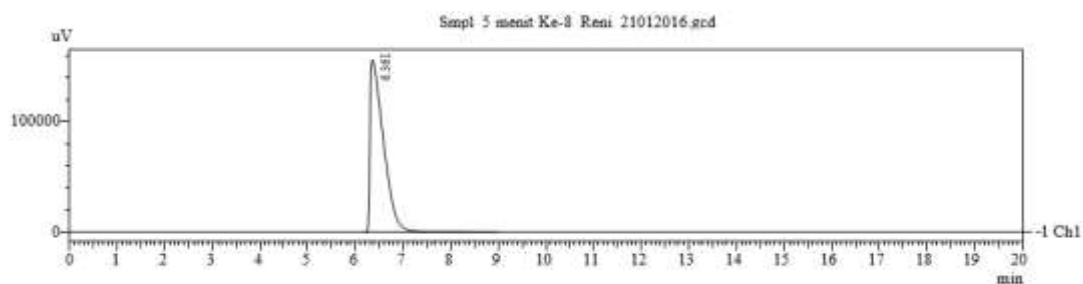


N 1 Conc. 99.500 Area 3187648

Summary(Compound)







<< Channel 1 >>

ID#1 Compound Name: Ethanol

Title	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Units
Smpl_5 menit Ke-2_Reni_21012016.gcd	6.351	2943012	150184	91.864	%
Smpl_5 menit Ke-3_Reni_21012016.gcd	6.323	2995906	158215	93.515	%
Smpl_5 menit Ke-4_Reni_21012016.gcd	6.392	3008217	147154	93.899	%
Smpl_5 menit Ke-5_Reni_21012016.gcd	6.363	3016533	152356	94.159	%
Smpl_5 menit Ke-6_Reni_21012016.gcd	6.324	3047064	157178	95.112	%
Smpl_5 menit Ke-7_Reni_21012016.gcd	6.362	3049729	156041	95.195	%
Smpl_5 menit Ke-8_Reni_21012016.gcd	6.361	3059423	155935	95.498	%
Smpl_5 menit Ke-9_Reni_21012016.gcd	6.373	3055347	154100	95.370	%
Average	6.356	3021904	153895	94.326	
Maximum	6.392	3059423	158215	95.498	
Minimum	6.323	2943012	147154	91.864	

LAMPIRAN 3

PERHITUNGAN PERBANDINGAN RASIO BERAT AIR TERJERAP TERHADAP BERAT AIR MULA-MULA MENGGUNAKAN GEL SILIKA BIRU DAN PUTIH

Adapun nilai-nilai parameter adalah sebagai berikut:

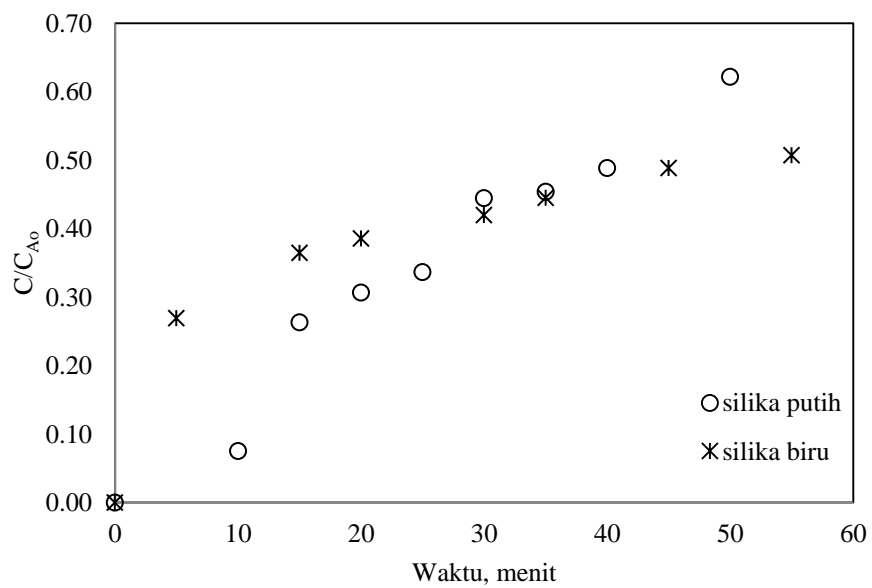
1. Panjang kolom (z) = 4,7 cm
2. Porositas bed (ϵ) = 0,3
3. Laju uap masuk (G) = 4 cm³/det
4. Konsentrasi air awal (C_A) = 8,8% v/v
5. Densitas uap (ρ_G) = 0,16 mol/L
6. Densitas etanol cair (ρ_{et}) = 0,789 g/L
7. BM etanol = 46 g/mol
8. BM air = 18 g/mol
9. Densitas air (ρ_{air}) = 1 g/L
10. Volume gel silika = 20,25 cm³ = 1,94 min (waktu tinggal)
11. Frekuensi lewatan uap ke bed = 2,577
12. Massa silika = 25,5 gr
13. Konsentrasi umpan etanol = 90,8 % v/v = 0,830 g/ml = 86,74 % w/w
14. Densitas air pada suhu 78°C = 0,972 gr/ml
15. konsentrasi air masuk = 0,488% mol/mol

Tabel 1. Data Konsentrasi Etanol dan Air Pada Gel Silika Biru

Waktu, menit	Kons Etanol, % v/v	Kons Air (C_{Ao}), % v/v	C/C_{Ao}
0	91,200	8,800	0
5	93,570	6,430	0,269
15	94,408	5,592	0,365
20	94,594	5,406	0,386
30	94,895	5,105	0,420
35	95,114	4,886	0,445
45	95,498	4,502	0,488
55	95,662	4,338	0,507

Tabel 2. Data Konsentrasi Etanol dan Air Pada Gel Silika Putih

Waktu, menit	Kons Etanol, % v/v	Kons Air (C _{A0}), % v/v	C/C _{A0}
0	91,200	8,800	0,000
10	91,864	8,136	0,075
15	93,515	6,485	0,263
20	93,899	6,101	0,307
25	94,159	5,841	0,336
30	95,112	4,888	0,445
35	95,195	4,805	0,454
40	95,498	4,502	0,488
50	96,671	3,329	0,622



Gambar 1. Kurva Rasio Berat Air Terjerap Terhadap Berat Air Mula-mula Menggunakan Gel Silika Biru dan Putih

LAMPIRAN 4

BERAT AIR YANG TERJERAP ADSORBEN SETIAP WAKTU MENGUNAKAN GEL SILIKA PUTIH

Untuk memperoleh data berat air yang terjerap adsorben setiap waktu, yang dibutuhkan diantaranya konsentrasi etanol terhadap densitas, konsentrasi air mula-mula dan konsentrasi air keluar, volume etanol, massa gel silika sebagai adsorben dan frekuensi uap yang melewati *bed* adsorben. Volume etanol yang digunakan yaitu volume perolehan rata-rata yang telah dihitung dengan standar deviasi, jika nilai standar deviasi <25% maka penggunaan rata-rata volume boleh dilanjutkan untuk perhitungan, begitu juga sebaliknya. Nilai standar deviasi rata-rata volume etanol menggunakan adsorben gel silika putih yaitu 4,5%.

Tabel 3. Data Konsentrasi Etanol Terhadap Densitas

Konsentrasi, % v/v	ρ etanol, gr/ml	Konsentrasi, % v/v	ρ etanol, gr/ml
0	0,99908	55	0,9235
5	0,9919	60	0,9128
10	0,98569	65	0,9013
15	0,98024	70	0,8892
20	0,97518	75	0,8765
25	0,97008	80	0,8631
30	0,96452	85	0,8488
35	0,95821	90	0,8331
40	0,95097	95	0,8153
45	0,94277	100	0,7932
50	0,9335		

Sumber: <http://infohost.nmt.edu/>

Kapasitas adsorpsi dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$\text{volume gel silika} = \frac{1}{2} \times \text{luas alas} \times \text{tinggi} = \frac{1}{2} \times \left(\pi \times \left(\frac{2,54}{2} \right)^2 \right) \times 4 = 20,26 \text{ cm}^3$$

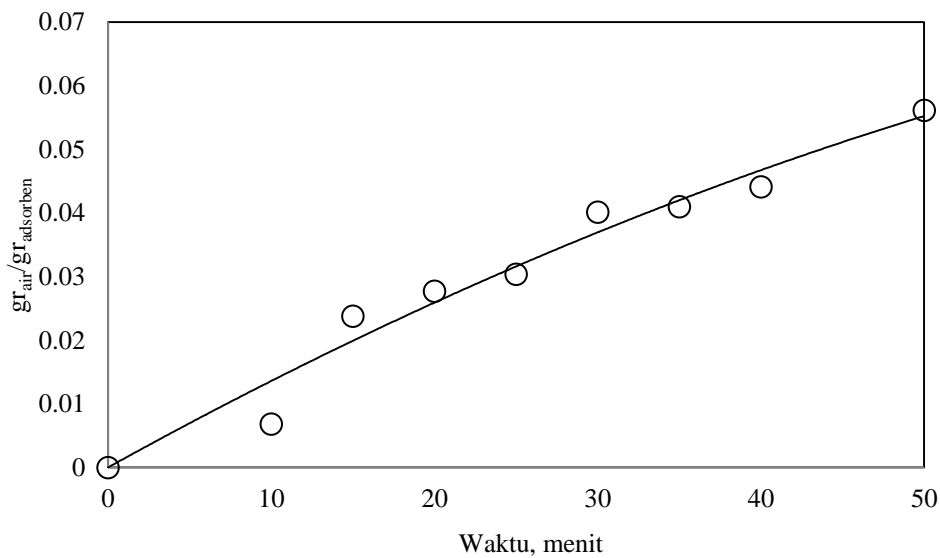
$$\text{waktu tinggal} = \frac{\text{volume gel silika}}{\text{volume rata-rata sampel etanol}} = \frac{20,26}{10,44} = 1,94$$

$$\text{frekuensi lewatan uap ke bed} = \frac{\text{waktu penampungan sampel}}{\text{waktu tinggal}} = \frac{5 \text{ menit}}{1,94 \text{ menit}} = 2,578$$

$$\text{gr air/gr adsorben} = \frac{C_{\text{air mula-mula}} - C_{\text{air keluar}}}{100} \times \frac{\text{vol etanol} \times \rho_{\text{etanol 100\%}} \times \text{frekuensi}}{\text{gr adsorben}}$$

Tabel 4. Berat Air yang Terjerap Adsorben Setiap Waktu Menggunakan Gel Silika Putih

Waktu, menit	Kons Etanol, % v/v	Kons Air, % v/v	Vol Etanol, ml	gr air/gr adsorben
0	91,200	8,800	0	0
5	93,570	6,430	9,9	0,0068
15	94,408	5,592	9,9	0,0237
20	94,594	5,406	10	0,0276
30	94,895	5,105	10,1	0,0303
35	95,114	4,886	13,2	0,0401
45	95,498	4,502	15	0,0410
55	95,662	4,338	15,4	0,0441



Gambar 2. Berat Air yang Terjerap Adsorben Setiap Waktu Menggunakan Asdorben Gel Silika Putih

LAMPIRAN 5

PERHITUNGAN MODEL MATEMATIS

A. Model 1 : Adanya Dispersi Aksial – *Steady State* (Gel Silika Biru)

Diketahui:

Panjang kolom (L)	= 4,7 cm
Luas penampang kolom (S)	= 5,067 cm ²
Porositas bed (ε)	= 0,6
Diameter kolom (d)	= 2,54 cm
Kecepatan umpan masuk (F)	= 0,0347 cm ³ /detik
Koef. transfer massa volumeterik (k_ca)	= 0,041 1/detik
Koef. Dispersi aksial (Dax)	= 0,008 cm²/detik
Δz	= 0,5 cm
$C_{Ain} = C_{A0} = C_0$	= 8,8% v/v
C_A^*	= 4,5%
u	= 0,00687 cm/detik
v	= -0,0133

dengan menggunakan rumus Model 1 yaitu:

$$(2v - u(\Delta z))C_{Ai-1,j+1} + DC_{Ai,j+1} = AC_{Ai,j} + BC_A^*$$

Dimana:

$$A = 0 \quad B = \frac{kca \cdot (\Delta z)^2}{\varepsilon}, \quad D = -2v + u(\Delta z) + B$$

Perhitungan parameter:

Δt	= 330 detik
A	= 0 cm/detik
B	= 0,017 detik/cm
D	= 0,047

Tabel 1. Data Konsentrasi Air (C_{Ain})

Waktu (menit)	C_{Ain} data (% v/v)	C_{et} (% v/v)
0	8,8	91,2
5	6,430	93,570
10	6,4	93,600
15	5,592	94,408
20	5,406	94,594
25	5	95,000
30	5,105	94,895
35	4,886	95,114
40	4,6	95,400
45	4,502	95,498
50	3,886	96,114
55	4,338	95,662

Tabel 2. Konsentrasi Air (C_{Ain}) Hitung

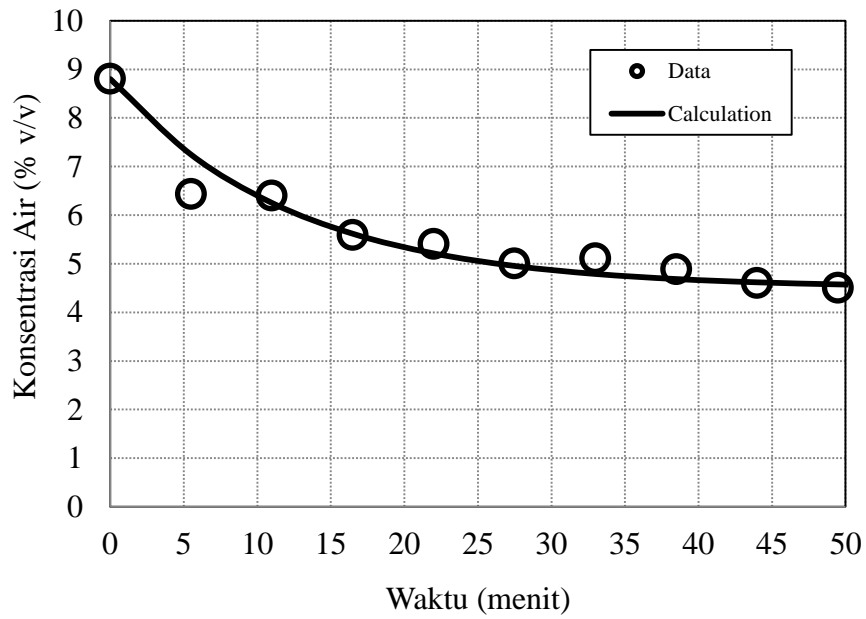
		Waktu (menit)											
		i=0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
	j=0	0	8,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	1	0,47	8,8	7,243	0	0	0	0	0	0	0	0	
	2	0,94	8,8	7,243	6,250	0	0	0	0	0	0	0	
	3	1,41	8,8	7,243	6,250	5,616	0	0	0	0	0	0	
	4	1,88	8,8	7,243	6,250	5,616	5,212	0	0	0	0	0	
	5	2,35	8,8	7,243	6,250	5,616	5,212	4,954	0	0	0	0	
	6	2,82	8,8	7,243	6,250	5,616	5,212	4,954	4,79	0	0	0	
	7	3,29	8,8	7,243	6,250	5,616	5,212	4,954	4,79	4,68	0	0	
	8	3,76	8,8	7,243	6,250	5,616	5,212	4,954	4,79	4,68	4,61	0	
	9	4,23	8,8	7,243	6,250	5,616	5,212	4,954	4,79	4,68	4,61	4,57	
	10	4,7	8,8	7,243	6,250	5,616	5,212	4,954	4,79	4,68	4,61	4,57	4,55

Sehingga diperoleh nilai konstanta Henry (H), yaitu:

$$C_A^* = H \times C_A$$

$$4,5\% = H \times 8,8\%$$

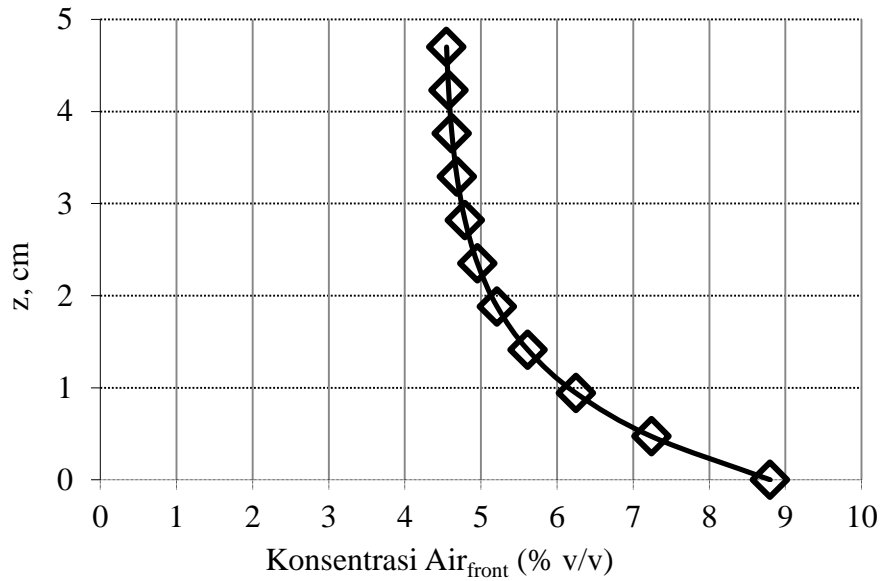
$$H = 1,955$$



Gambar 1. Hubungan Antara Waktu Terhadap Konsentrasi Air Pada Model 1 Menggunakan Gel Silika Biru

Tabel 3. Perhitungan Jarak (Tinggi Adsorben) Terhadap Konsentrasi Air (Cfr)

Jarak (j)	Cfr (C_A data)
0	8,800
0,47	7,243
0,94	6,250
1,41	5,616
1,88	5,212
2,35	4,954
2,82	4,790
3,29	4,685
3,76	4,618
4,23	4,575
4,7	4,548



Gambar 2. Hubungan Antara Tinggi *Bed* Terhadap Konsentrasi Air Pada Model 1 Menggunakan Gel Silika Biru

B. Model 2 : Adanya Dispersi Aksial – *Unsteady State* (Gel Silika Biru)

Diketahui:

Koef. transfer massa volumeterik ($k_c a$)	= 0,038 1/detik
Koef. Dispersi aksial (D_{ax})	= 0,01 cm²/detik
C_A^*	= 4,25%
v	= -0,0166

dengan menggunakan rumus Model 2 yaitu:

$$(2v - u(\Delta z))C_{Ai-1,j+1} + DC_{Ai,j+1} = AC_{Ai,j} + BC_A^*$$

Dimana:

$$A = \frac{(\Delta z)^2}{\Delta t}, \quad B = \frac{k_c a (\Delta z)^2}{\varepsilon}, \quad D = -2v + u(\Delta z) + A + B$$

Perhitungan parameter:

Δt	= 330 detik
A	= 8×10^{-4} cm/detik
B	= 0,016 detik/cm
D	= 0,053

Tabel 4. Konsentrasi Air (C_{Air}) Hitung

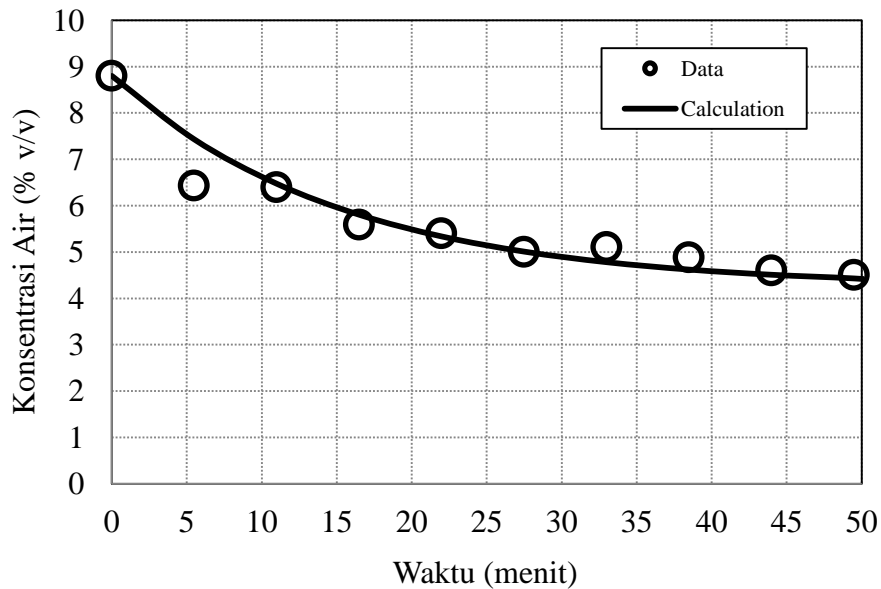
		Waktu (menit)											
		i=0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Jarak (cm)	j=0	0	8,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1	0,47	8,8	7,325	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	0,94	8,8	7,429	6,380	0	0	0	0	0	0	0	0
	3	1,41	8,8	7,430	6,472	5,721	0	0	0	0	0	0	0
	4	1,88	8,8	7,430	6,473	5,803	5,260	0	0	0	0	0	0
	5	2,35	8,8	7,430	6,473	5,804	5,335	4,937	0	0	0	0	0
	6	2,82	8,8	7,430	6,473	5,804	5,336	5,008	4,71	0	0	0	0
	7	3,29	8,8	7,430	6,473	5,804	5,336	5,009	4,78	4,55	0	0	0
	8	3,76	8,8	7,430	6,473	5,804	5,336	5,009	4,78	4,62	4,44	0	0
	9	4,23	8,8	7,430	6,473	5,804	5,336	5,009	4,78	4,62	4,50	4,36	0
	10	4,7	8,8	7,430	6,473	5,804	5,336	5,009	4,78	4,62	4,51	4,43	4,31

Sehingga diperoleh nilai konstanta Henry (H), yaitu:

$$C_A^* = H \times C_A$$

$$4,25\% = H \times 8,8\%$$

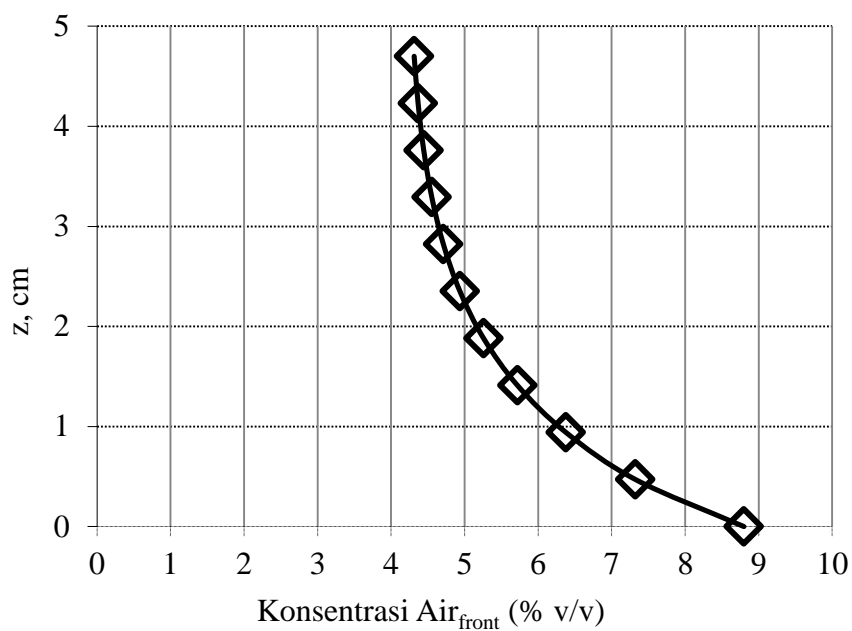
$$H = 2,0705$$



Gambar 3. Hubungan Antara Waktu Terhadap Konsentrasi Air Pada Model 2 Menggunakan Gel Silika Biru

Tabel 5. Perhitungan Jarak (Tinggi Adsorben) Terhadap Konsentrasi Air (Cfr)

Jarak (j)	Cfr (C _A data)
0	8,800
0,47	7,325
0,94	6,380
1,41	5,721
1,88	5,260
2,35	4,937
2,82	4,712
3,29	4,555
3,76	4,445
4,23	4,368
4,7	4,314



Gambar 4. Hubungan Antara Tinggi *Bed* Terhadap Konsentrasi Etanol Pada Model 2 Menggunakan Gel Silika Biru

C. Model 3 : Tanpa Dispersi Aksial – *Steady State* (Gel Silika Biru)

Diketahui:

Koef. transfer massa volumeterik (k_{ca}) = 0,006 1/detik

Koef. Dispersi aksial (D_{ax}) = 0 cm²/detik

C_A^{*} = 4,7%

u = 0,00687 cm/detik

dengan menggunakan rumus Model 3 yaitu:

$$-uC_{Ai-1,j+1} + DC_{Ai,j+1} = AC_{Ai,j} + BC_A^*$$

Dimana:

$$A = 0, \quad B = \frac{kca \cdot \Delta z}{\varepsilon}, \quad D = u + B$$

Perhitungan parameter:

- Δt = 330 detik
- A = 0 cm/detik
- B = 0,005 detik/cm
- D = 0,01187

Tabel 6. Konsentrasi Air (C_{Air}) Hitungan

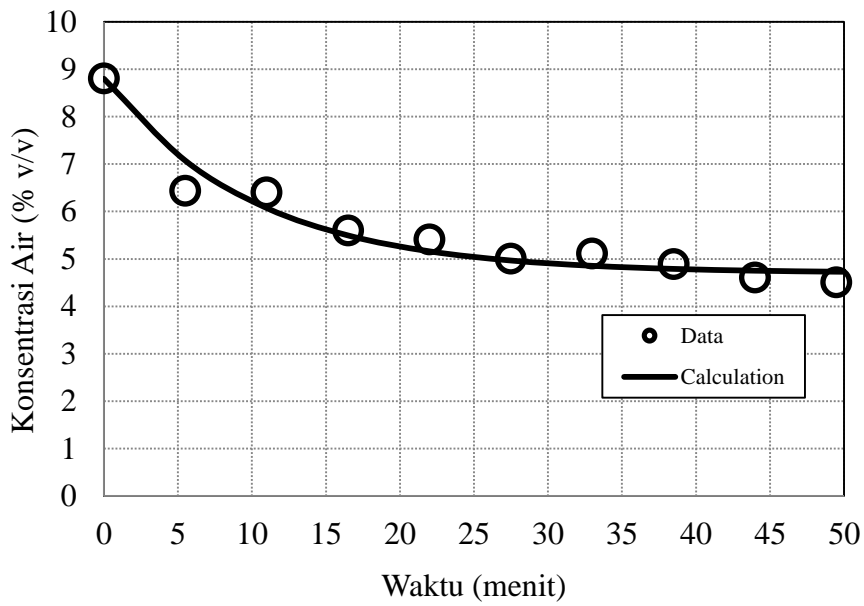
		Waktu (menit)											
		i=0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
		0	5,5	11	16,5	22	27,5	33	38,5	44	49,5	55	
Jarak (cm)	j=0	0	8,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	1	0,47	8,8	7,072	0	0	0	0	0	0	0	0	
	2	0,94	8,8	7,072	6,072	0	0	0	0	0	0	0	
	3	1,41	8,8	7,072	6,072	5,494	0	0	0	0	0	0	
	4	1,88	8,8	7,072	6,072	5,494	5,159	0	0	0	0	0	
	5	2,35	8,8	7,072	6,072	5,494	5,159	4,96	0	0	0	0	
	6	2,82	8,8	7,072	6,072	5,494	5,159	4,97	4,85	0	0	0	
	7	3,29	8,8	7,072	6,072	5,494	5,159	4,97	4,85	4,79	0	0	
	8	3,76	8,8	7,072	6,072	5,494	5,159	4,97	4,85	4,79	4,75	0	
	9	4,23	8,8	7,072	6,072	5,494	5,159	4,97	4,85	4,79	4,75	4,73	0
	10	4,7	8,8	7,072	6,072	5,494	5,159	4,96	4,85	4,78	4,75	4,73	4,71

Sehingga diperoleh nilai konstanta Henry (H), yaitu:

$$C_A^* = H \times C_A$$

$$4,7\% = H \times 8,8\%$$

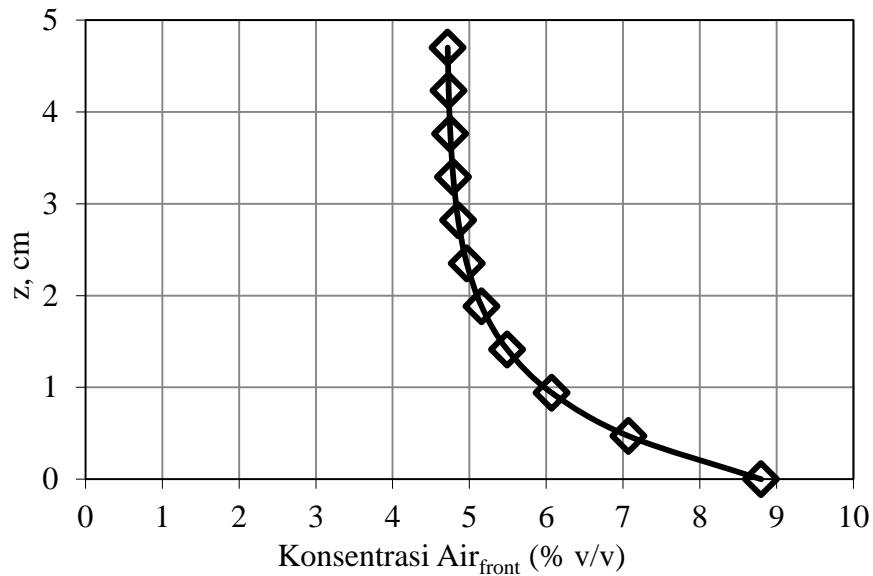
$$\mathbf{H = 1,872}$$



Gambar 5. Hubungan Antara Waktu Terhadap Konsentrasi Air Pada Model 3 Menggunakan Gel Silika Biru

Tabel 7. Perhitungan Jarak (Tinggi Adsorben) Terhadap Konsentrasi Air (Cfr)

Jarak (j)	Cfr (C _A data)
0	8,8
0,47	7,072
0,94	6,072
1,41	5,494
1,88	5,159
2,35	4,965
2,82	4,853
3,29	4,789
3,76	4,751
4,23	4,729
4,7	4,717



Gambar 6. Hubungan Antara Tinggi *Bed* Terhadap Konsentrasi Air Pada Model 3 Menggunakan Gel Silika Biru

D. Model 4 : Tanpa Dispersi Aksial – *Unsteady State* (Gel Silika Biru)

Diketahui:

Koef. transfer massa volumeterik ($k_c a$) = 0,005 1/detik

Koef. Dispersi aksial (D_{ax}) = 0 cm²/detik

C_A^* = 4,87%

dengan menggunakan rumus Model 4 yaitu:

$$-u C_{A,i-1,j+1} + D C_{A,i,j+1} = A C_{A,i,j} + B C_A^*$$

Dimana:

$$A = \frac{\Delta z}{\Delta t}, \quad B = \frac{k_c a \Delta z}{\varepsilon}, \quad D = u + A + B$$

Perhitungan parameter:

Δt = 330 detik

A = 0,00151 cm/detik

B = 0,00416 detik/cm

D = 0,0125

Tabel 8. Konsentrasi Air (C_{Air}) Hitung

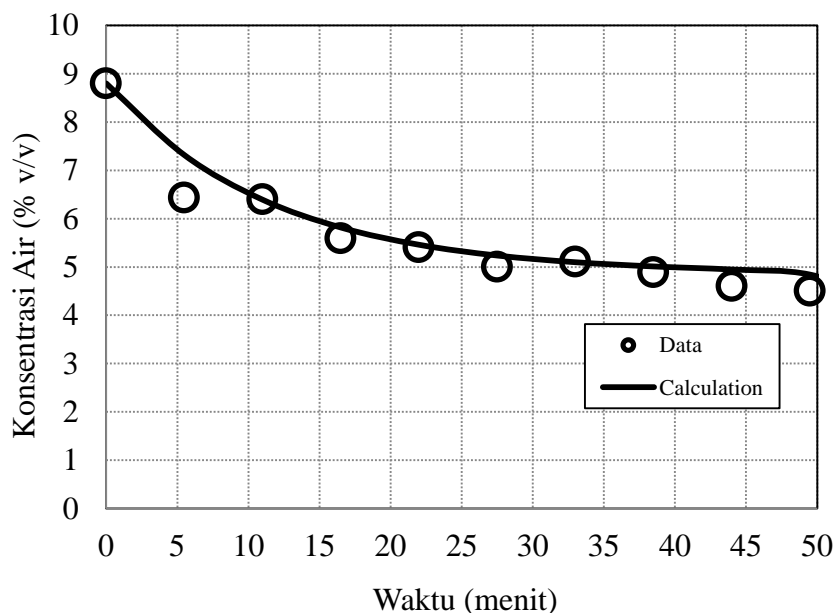
		Waktu (menit)											
		i=0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
		0	5,5	11	16,5	22	27,5	33	38,5	44	49,5	55	
Jarak (cm)	j=0	0	8,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	1	0,47	8,8	6,433	0	0	0	0	0	0	0	0	
	2	0,94	8,8	7,209	5,562	0	0	0	0	0	0	0	
	3	1,41	8,8	7,303	6,285	5,056	0	0	0	0	0	0	
	4	1,88	8,8	7,314	6,378	5,718	4,746	0	0	0	0	0	
	5	2,35	8,8	7,316	6,390	5,804	5,366	4,554	0	0	0	0	
	6	2,82	8,8	7,316	6,392	5,816	5,447	5,148	4,43	0	0	0	
	7	3,29	8,8	7,316	6,392	5,817	5,458	5,225	5,01	4,36	0	0	
	8	3,76	8,8	7,316	6,392	5,817	5,459	5,235	5,09	4,93	4,31	0	
	9	4,23	8,8	7,316	6,392	5,817	5,460	5,237	5,10	5,00	4,87	4,28	0
	10	4,7	8,8	7,316	6,392	5,817	5,460	5,237	5,10	5,01	4,95	4,84	4,27

Sehingga diperoleh nilai konstanta Henry (H), yaitu:

$$C_A^* = H \times C_A$$

$$4,87\% = H \times 8,8\%$$

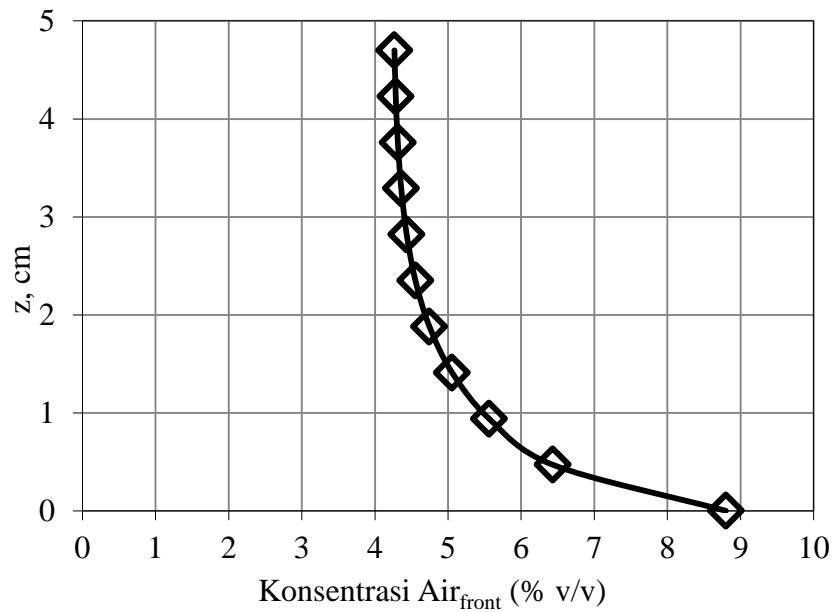
$$H = 1,807$$



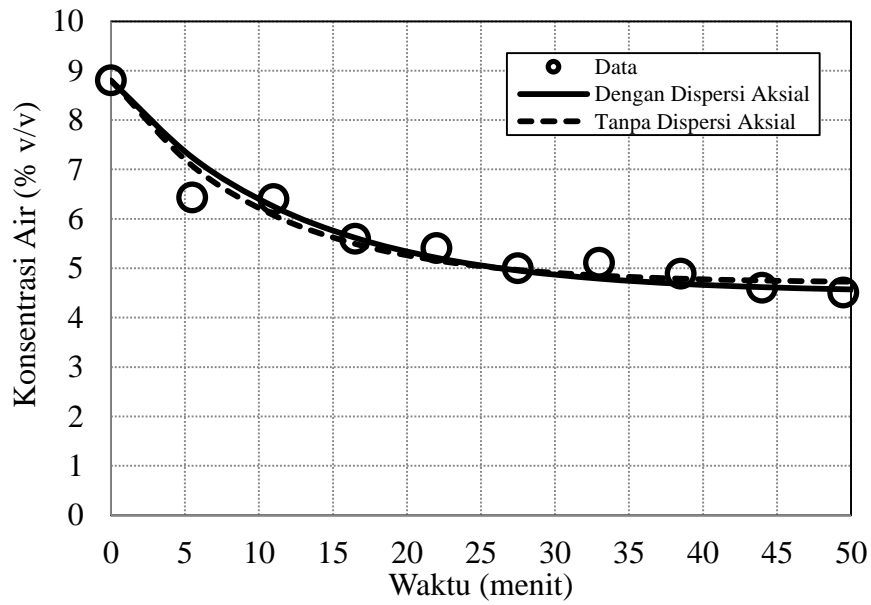
Gambar 7. Hubungan Antara Waktu Terhadap Konsentrasi Air Pada Model 4 Menggunakan Gel Silika Biru

Tabel 9. Perhitungan Jarak (Tinggi Adsorben) Terhadap Konsentrasi Air (Cfr)

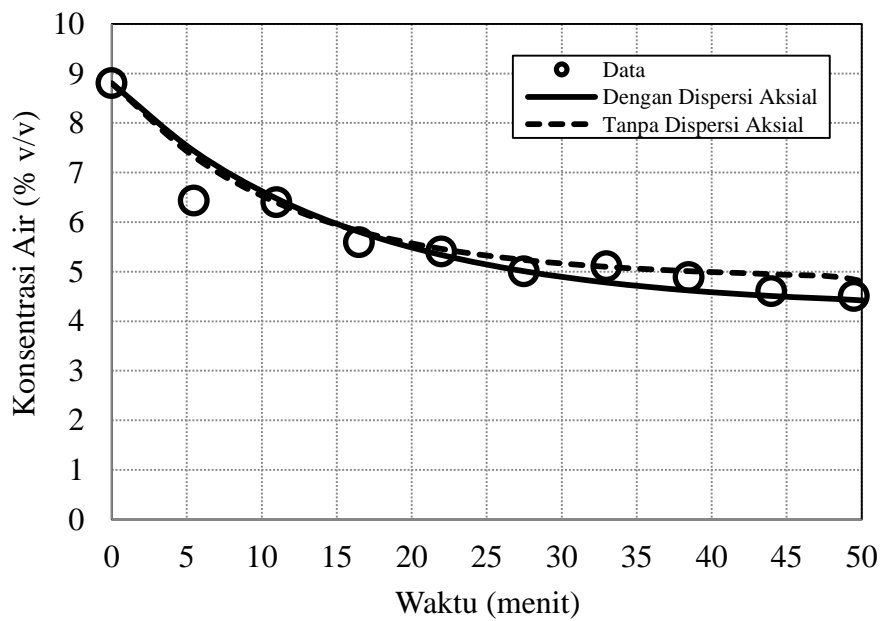
Jarak (j)	Cfr (C_A data)
0	8,800
0,47	6,433
0,94	5,562
1,41	5,056
1,88	4,746
2,35	4,554
2,82	4,434
3,29	4,360
3,76	4,313
4,23	4,284
4,7	4,267



Gambar 8. Hubungan Antara Tinggi *Bed* Terhadap Konsentrasi Air Pada Model 4 Menggunakan Gel Silika Biru



Gambar 9. Perbandingan Model 1 (dengan Dispersi Aksial) dan 3 (tanpa Dispersi Aksial) pada Kondisi *Steady State* Menggunakan Gel Silika Biru



Gambar 10. Perbandingan Model 2 (dengan Dispersi Aksial) dan 4 (tanpa Dispersi Aksial) pada Kondisi *Unsteady State* Menggunakan Gel Silika Biru

Tabel 10. Ralat Rerata Minimal 4 Model Pada Gel Silika Biru

Model 1 Adanya Dispersi- <i>Steady State</i>	Model 2 Adanya Dispersi- <i>Unsteady State</i>	Model 3 Tanpa Dispersi- <i>Steady State</i>	Model 4 Tanpa Dispersi- <i>Unsteady State</i>
0	0	0	0
0,1265	0,1556	0,0999	0,1378
0,0234	0,0114	0,0511	0,0012
0,0044	0,0379	0,0175	0,0403
0,0359	0,0129	0,0456	0,0099
0,0091	0,0018	0,0068	0,0474
0,0617	0,0635	0,0492	0,0013
0,0412	0,0543	0,0198	0,0255
0,0039	0,0197	0,0329	0,0755
0,0163	0,0159	0,0506	0,0755
0,1704	0,1101	0,2139	0,0979
0,0448	0,0439	0,0534	0,0466

E. Model 1 : Adanya Dispersi Aksial – *Steady State* (Gel Silika Putih)

Diketahui:

Panjang kolom (L)	= 4,7 cm
Luas penampang kolom (S)	= 5,067 cm ²
Porositas bed (ε)	= 0,6
Diameter kolom (d)	= 2,54 cm
Kecepatan umpan masuk (F)	= 0,0347 cm ³ /detik
Koef. transfer massa volumeterik ($k_c a$)	= 0,034 1/detik
Koef. Dispersi aksial (D_{ax})	= 0,01 cm²/detik
Δz	= 0,5 cm
$C_{Ain} = C_{A0} = C_0$	= 8,8% v/v
C_A^*	= 4,3%
u	= 0,00687 cm/detik
v	= -0,0166

dengan menggunakan rumus Model 1 yaitu:

$$(2v - u(\Delta z))C_{A_{i-1,j+1}} + DC_{A_{i,j+1}} = AC_{A_{i,j}} + BC_A^*$$

Dimana:

$$A = 0 \quad B = \frac{k_c a (\Delta z)^2}{\varepsilon}, \quad D = -2v + u(\Delta z) + B$$

Perhitungan parameter:

Δt = 300 detik

A = 0 cm/detik

B = 0,014 detik/cm

D = 0,051

Tabel 11. Data Konsentrasi Air (C_{Ain})

Waktu (menit)	C_{Ain} data (% v/v)	C_{et} (% v/v)
0	8,800	91,2
5	8,136	91,864
10	6,485	93,515
15	6,101	93,899
20	5,841	94,159
25	4,888	95,112
30	4,805	95,195
35	4,502	95,498
40	4,600	95,400
45	3,800	96,200
50	3,329	96,671

Tabel 12. Konsentrasi Air (C_{Ain}) Hitung

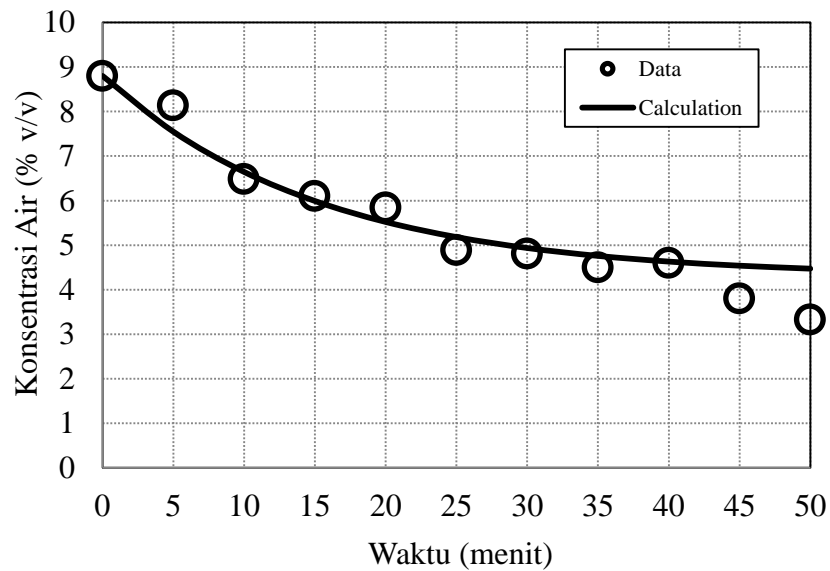
		Waktu (menit)											
		i=0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
		0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	
Jarak (cm)	j=0	0	8,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	1	0,47	8,8	7,548	0	0	0	0	0	0	0	0	
	2	0,94	8,8	7,548	6,645	0	0	0	0	0	0	0	
	3	1,41	8,8	7,548	6,645	5,993	0	0	0	0	0	0	
	4	1,88	8,8	7,548	6,645	5,993	5,522	0	0	0	0	0	
	5	2,35	8,8	7,548	6,645	5,993	5,522	5,182	0	0	0	0	
	6	2,82	8,8	7,548	6,645	5,993	5,522	5,182	4,937	0	0	0	
	7	3,29	8,8	7,548	6,645	5,993	5,522	5,182	4,937	4,76	0	0	
	8	3,76	8,8	7,548	6,645	5,993	5,522	5,182	4,937	4,76	4,63	0	
	9	4,23	8,8	7,548	6,645	5,993	5,522	5,182	4,937	4,76	4,63	4,54	0
	10	4,7	8,8	7,548	6,645	5,993	5,522	5,182	4,937	4,76	4,63	4,54	4,47

Sehingga diperoleh nilai konstanta Henry (H), yaitu:

$$C_A^* = H \times C_A$$

$$4,3\% = H \times 8,8\%$$

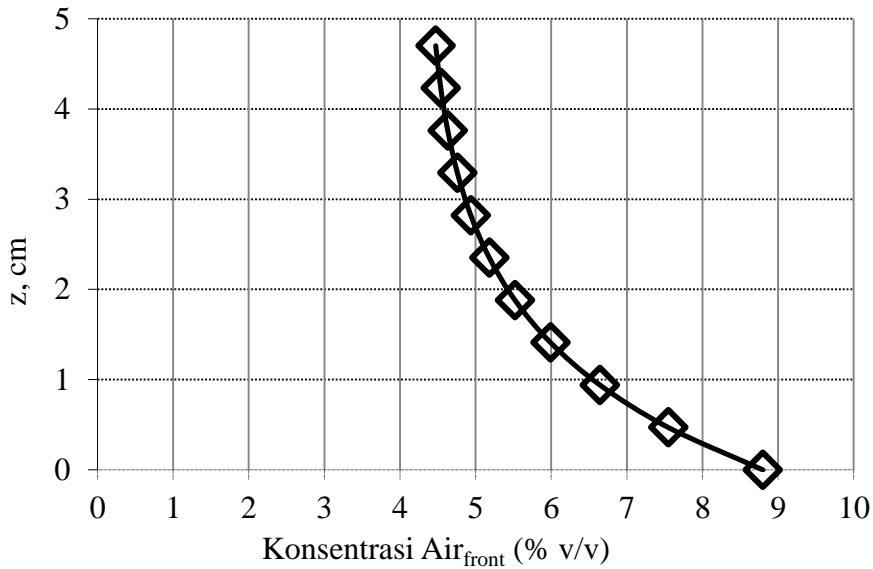
$$H = 2,046$$



Gambar 11. Hubungan Antara Waktu Terhadap Konsentrasi Air Pada Model 1 Menggunakan Gel Silika Putih

Tabel 13. Perhitungan Jarak (Tinggi Adsorben) Terhadap Konsentrasi Air (Cfr)

Jarak (j)	Cfr (C_A data)
0	8,800
0,47	7,548
0,94	6,645
1,41	5,993
1,88	5,522
2,35	5,182
2,82	4,937
3,29	4,760
3,76	4,632
4,23	4,539
4,7	4,473



Gambar 12. Hubungan Antara Tinggi *Bed* Terhadap Konsentrasi Etanol Pada Model 1 Menggunakan Gel Silika Putih

F. Model 2 : Adanya Dispersi Aksial – *Unsteady State* (Gel Silika Putih)

Diketahui:

- Koef. transfer massa volumeterik ($k_c a$)** = 0,045 1/detik
- Koef. Dispersi aksial (D_{ax})** = 0,0125 cm²/detik
- C_A^* = 4,15%
- v = -0,0208

dengan menggunakan rumus Model 2 yaitu:

$$(2v - u(\Delta z))C_{Ai-1,j+1} + DC_{Ai,j+1} = AC_{Ai,j} + BC_A^*$$

Dimana:

$$A = \frac{(\Delta z)^2}{\Delta t}, \quad B = \frac{k_c a (\Delta z)^2}{\varepsilon}, \quad D = -2v + u(\Delta z) + A + B$$

Perhitungan parameter:

- Δt = 300 detik
- A = 8×10^{-4} cm/detik
- B = 0,019 detik/cm
- D = 0,065

Tabel 14. Konsentrasi Air (C_{Ain}) Hitung

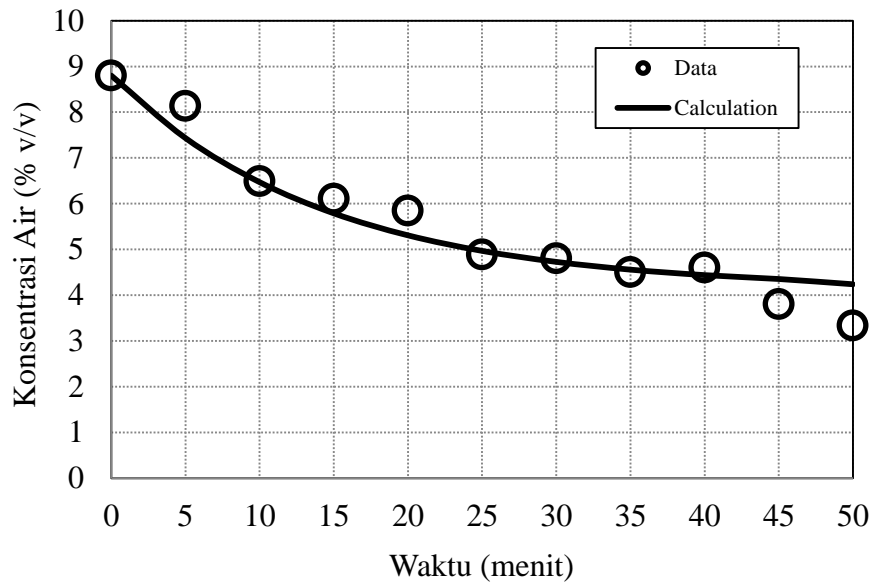
		Waktu (menit)											
		i=0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Jarak (cm)	j=0	0	8,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1	0,47	8,8	7,339	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	0,94	8,8	7,433	6,386	0	0	0	0	0	0	0	0
	3	1,41	8,8	7,434	6,469	5,713	0	0	0	0	0	0	0
	4	1,88	8,8	7,434	6,470	5,788	5,238	0	0	0	0	0	0
	5	2,35	8,8	7,434	6,470	5,789	5,307	4,903	0	0	0	0	0
	6	2,82	8,8	7,434	6,470	5,789	5,307	4,967	4,666	0	0	0	0
	7	3,29	8,8	7,434	6,470	5,789	5,307	4,968	4,727	4,50	0	0	0
	8	3,76	8,8	7,434	6,470	5,789	5,307	4,968	4,727	4,56	4,38	0	0
	9	4,23	8,8	7,434	6,470	5,789	5,307	4,968	4,727	4,56	4,44	4,30	0
	10	4,7	8,8	7,434	6,470	5,789	5,307	4,968	4,727	4,56	4,44	4,35	4,24

Sehingga diperoleh nilai konstanta Henry (H), yaitu:

$$C_A^* = H \times C_A$$

$$4,15\% = H \times 8,8\%$$

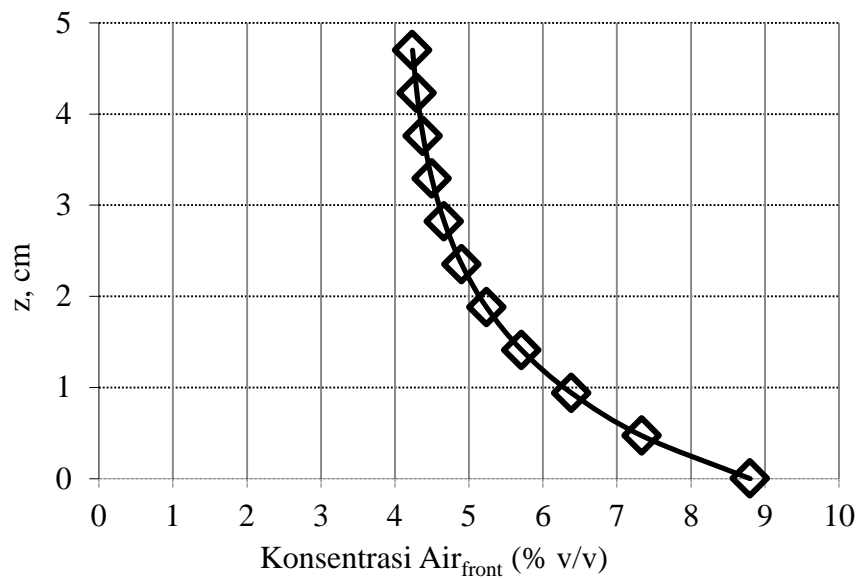
$$H = 2,1204$$



Gambar 13. Hubungan Antara Waktu Terhadap Konsentrasi Air Pada Model 2 Menggunakan Gel Silika Putih

Tabel 15. Perhitungan Jarak (Tinggi Adsorben) Terhadap Konsentrasi Air (Cfr)

Jarak (j)	Cfr (C _A data)
0	8,800
0,47	7,339
0,94	6,386
1,41	5,713
1,88	5,238
2,35	4,903
2,82	4,666
3,29	4,499
3,76	4,380
4,23	4,297
4,7	4,238



Gambar 14. Hubungan Antara Konsentrasi Air Terhadap Tinggi *Bed* Pada Model 2 Menggunakan Gel Silika Putih

G. Model 3 : Tanpa Dispersi Aksial – *Steady State* (Gel Silika Putih)

Diketahui:

Koef. transfer massa volumeterik ($k_c a$) = 0,0043 1/detik

Koef. Dispersi aksial (D_{ax}) = 0 cm²/detik

C_A^* = 4,55%

u = 0,00687 cm/detik

dengan menggunakan rumus Model 3 yaitu:

$$-uC_{Ai-1,j+1} + DC_{Ai,j+1} = AC_{Ai,j} + BC_A^*$$

Dimana:

$$A = 0, \quad B = \frac{kc.a.\Delta z}{\varepsilon}, \quad D = u + B$$

Perhitungan parameter:

$$\Delta t = 300 \text{ detik}$$

$$A = 0 \text{ cm/detik}$$

$$B = 0,004 \text{ detik/cm}$$

$$D = 0,01$$

Tabel 16. Konsentrasi Air (C_{Ain}) Hitungan

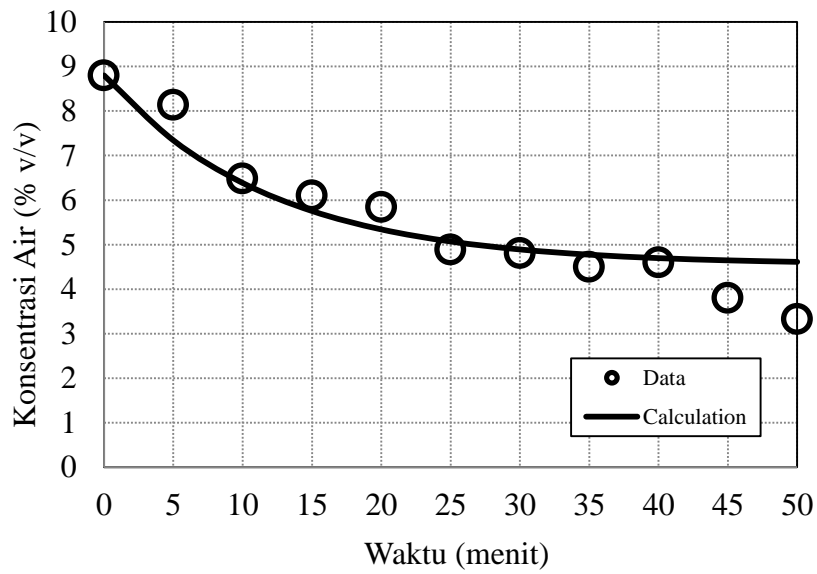
		Waktu (menit)											
		i=0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
		0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	
Jarak (cm)	j=0	0	8,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	1	0,47	8,8	7,343	0	0	0	0	0	0	0	0	
	2	0,94	8,8	7,343	6,385	0	0	0	0	0	0	0	
	3	1,41	8,8	7,343	6,385	5,756	0	0	0	0	0	0	
	4	1,88	8,8	7,343	6,385	5,756	5,342	0	0	0	0	0	
	5	2,35	8,8	7,343	6,385	5,756	5,342	5,071	0	0	0	0	
	6	2,82	8,8	7,343	6,385	5,756	5,342	5,071	4,89	0	0	0	
	7	3,29	8,8	7,343	6,385	5,756	5,342	5,071	4,89	4,77	0	0	
	8	3,76	8,8	7,343	6,385	5,756	5,342	5,071	4,89	4,77	4,70	0	
	9	4,23	8,8	7,343	6,385	5,756	5,342	5,071	4,89	4,77	4,70	4,65	0
	10	4,7	8,8	7,343	6,385	5,756	5,342	5,071	4,89	4,77	4,70	4,65	4,61

Sehingga diperoleh nilai konstanta Henry (H), yaitu:

$$C_A^* = H \times C_A$$

$$4,55\% = H \times 8,8\%$$

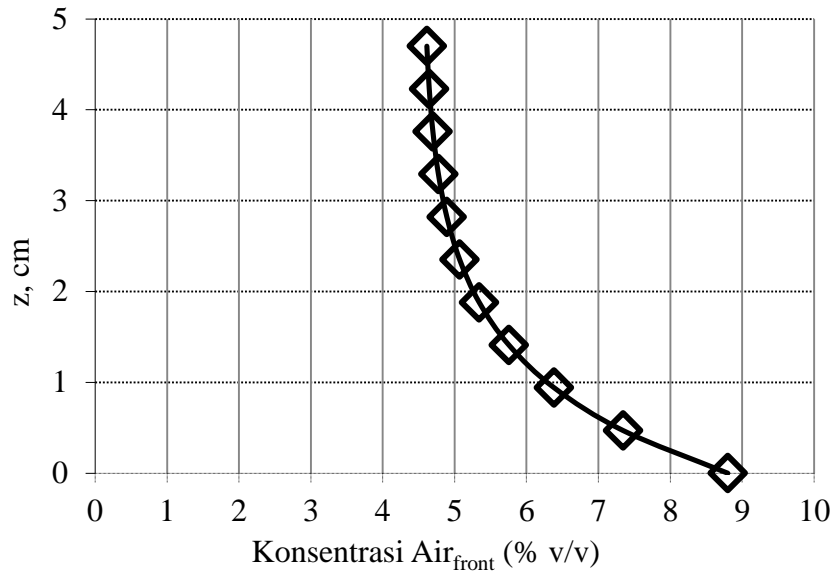
$$\mathbf{H = 1,9341}$$



Gambar 15. Hubungan Antara Waktu Terhadap Konsentrasi Air Pada Model 3 Menggunakan Gel Silika Putih

Tabel 17. Perhitungan Jarak (Tinggi Adsorben) Terhadap Konsentrasi Air (Cfr)

Jarak (j)	Cfr (C_A data)
0	8,800
0,47	7,343
0,94	6,385
1,41	5,756
1,88	5,342
2,35	5,071
2,82	4,892
3,29	4,775
3,76	4,698
4,23	4,647
4,7	4,614



Gambar 16. Hubungan Antara Konsentrasi Air Terhadap Tinggi *Bed* Adsorben Pada Model 3 Menggunakan Gel Silika Putih

H. Model 4 : Tanpa Dispersi Aksial – *Unsteady State* (Gel Silika Putih)

Diketahui:

Koef. transfer massa volumetrik ($k_c a$) = 0,0048 1/detik

Koef. Dispersi aksial (D_{ax}) = 0 cm²/detik

C_A^* = 4,65%

dengan menggunakan rumus Model 2 yaitu:

$$-u C_{A,i-1,j+1} + D C_{A,i,j+1} = A C_{A,i,j} + B C_A^*$$

Dimana:

$$A = \frac{\Delta z}{\Delta t}, \quad B = \frac{k_c a \Delta z}{\varepsilon}, \quad D = u + A + B$$

Perhitungan parameter:

Δt = 300 detik

A = 0,002 cm/detik

B = 0,004 detik/cm

D = 0,013

Tabel 18. Konsentrasi Air (C_{Ain}) Hitung

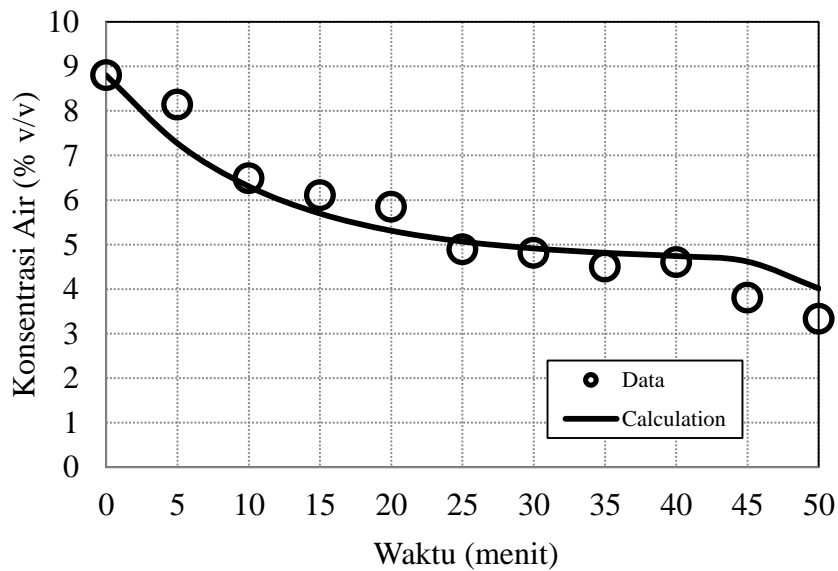
		Waktu (menit)											
		i=0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Jarak (cm)	j=0	0	8,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1	0,47	8,8	6,305	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	0,94	8,8	7,144	5,398	0	0	0	0	0	0	0	0
	3	1,41	8,8	7,255	6,177	4,868	0	0	0	0	0	0	0
	4	1,88	8,8	7,270	6,289	5,577	4,539	0	0	0	0	0	0
	5	2,35	8,8	7,272	6,304	5,680	5,199	4,33	0	0	0	0	0
	6	2,82	8,8	7,272	6,307	5,695	5,295	4,96	4,20	0	0	0	0
	7	3,29	8,8	7,272	6,307	5,697	5,309	5,05	4,81	4,12	0	0	0
	8	3,76	8,8	7,272	6,307	5,697	5,311	5,07	4,90	4,72	4,07	0	0
	9	4,23	8,8	7,272	6,307	5,697	5,312	5,07	4,91	4,80	4,66	4,03	0
	10	4,7	8,8	7,272	6,307	5,697	5,312	5,07	4,91	4,81	4,74	4,62	4,01

Sehingga diperoleh nilai konstanta Henry (H), yaitu:

$$C_A^* = H \times C_A$$

$$4,65\% = H \times 8,8\%$$

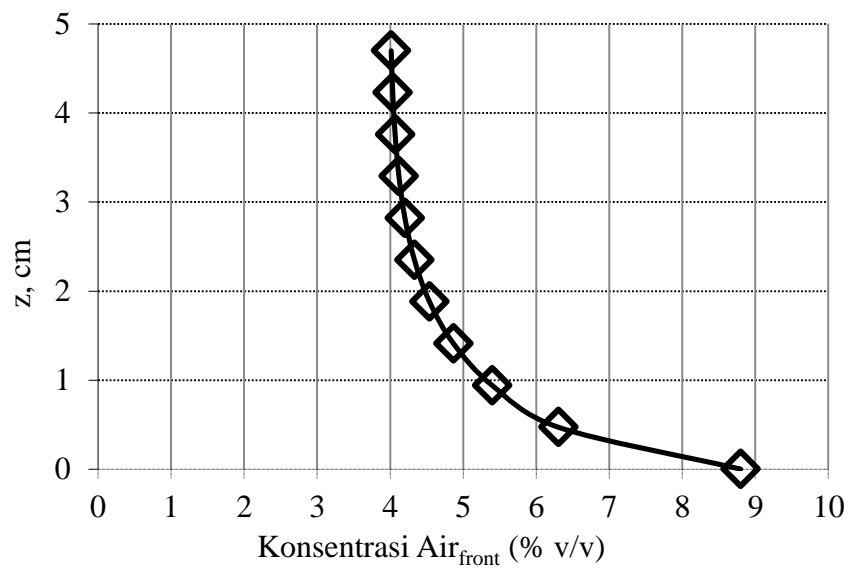
$$H = 1,892$$



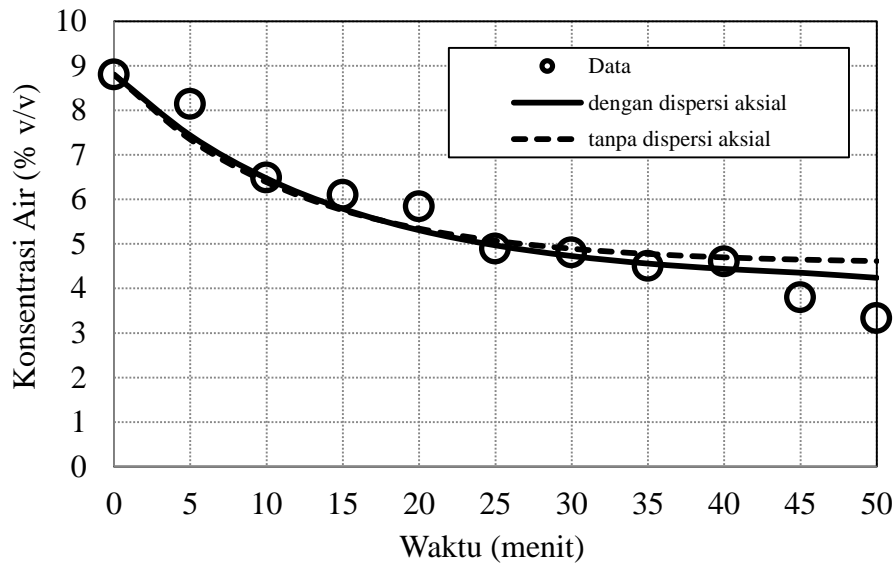
Gambar 17. Hubungan Antara Waktu Terhadap Konsentrasi Air Pada Model 4 Menggunakan Gel Silika Putih

Tabel 19. Perhitungan Jarak (Tinggi Adsorben) Terhadap Konsentrasi Air (Cfr)

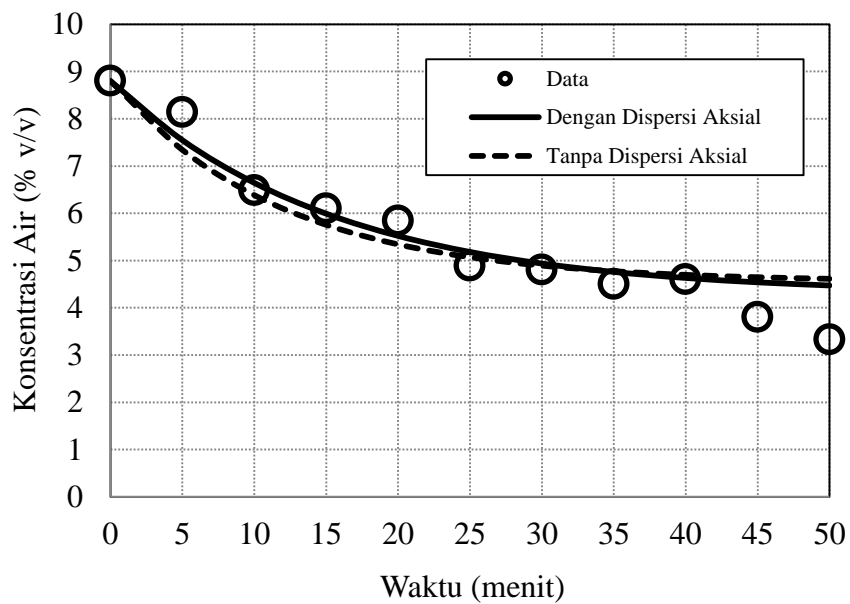
Jarak (j)	Cfr (C _A data)
0	8,800
0,47	6,305
0,94	5,398
1,41	4,868
1,88	4,539
2,35	4,333
2,82	4,202
3,29	4,120
3,76	4,068
4,23	4,035
4,7	4,014



Gambar 18. Hubungan Antara Konsentrasi Air Terhadap Tinggi *Bed* Pada Model 4 Menggunakan Gel Silika Putih



Gambar 19. Perbandingan Model 1 (dengan Dispersi Aksial) dan 3 (tanpa Dispersi Aksial) Pada Kondisi *Steady State* Menggunakan Gel Silika Putih



Gambar 20. Perbandingan Model 2 (dengan Dispersi Aksial) dan 4 (tanpa Dispersi Aksial) Pada Kondisi *Unsteady State* Menggunakan Gel Silika Putih

Tabel 20. Ralat Rerata Minimal 4 Model Pada Gel Silika Putih

Model 1 Adanya Dispersi- <i>Steady State</i>	Model 2 Adanya Dispersi- <i>Unsteady State</i>	Model 3 Tanpa Dispersi- <i>Steady State</i>	Model 4 Tanpa Dispersi- <i>Unsteady State</i>
0	0	0	0
0,0722	0,0862	0,0975	0,1061
0,0247	0,0023	0,0154	0,0274
0,0178	0,0512	0,0566	0,0662
0,0546	0,0913	0,0854	0,0906
0,0601	0,0163	0,0374	0,0368
0,0274	0,0161	0,0181	0,0227
0,0572	0,0124	0,0606	0,0695
0,0069	0,0352	0,0212	0,0307
0,1946	0,1455	0,2229	0,2153
0,3436	0,2730	0,3859	0,2058
0,0781	0,0663	0,0910	0,0792