



**Simulasi Aliran Kolom Absorpsi untuk Proses Penyerapan CO₂
dengan Absorben Air menggunakan Computational Fluid
Dynamics (CFD)**

***Simulation of Absorption Column Flow for CO₂ Absorption Process
with Water Absorbent using Computational Fluid Dynamics (CFD)***

Novi Sylvia, Anisa, Lukman Hakim

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Malikussaleh
Kampus Utama Cot Teungku Nie Reuleut, Muara Batu, Aceh Utara – 24355
Korespondensi: HP: 085260046742, e-mail: nxsylvia@gmail.com

Abstarct

To increasing the heating value of biogas and natural gas on industry needed a way to separate the carbon dioxide (CO₂) use technology absorption. Many methods have been used to absorb the CO₂ that has been researched, but most still use the absorption process in batch system. Therefore, this research will be conducted on the process of absorption of carbon dioxide (CO₂) and water (H₂O) will be simulated using Computational Fluid Dynamic (CFD). This research aims to test the performance of column absorption on the process of carbon dioxide (CO₂) and uses Autodesk Inventor 2016 and Fluent 16.0 to model the absorption and the pressure drop on the absorption column. This research was conducted with varying influence of the flow rate of water and carbon dioxide by comparison 2:1, i.e. CO₂ 117.75; 141.3 ;188.4 liters/min and H₂O 235.5; 282.6 and 376.8 liters/minute. The results obtained show that the Percent of the maximum absorption i.e. 45.89% of flow rate of CO₂ occurs at 117.75 liters/minute and H₂O at 235.5 litres/minute, while the percent the minimum absorption i.e. 28.32% occurred at a flow rate of CO₂ 188.4 liters/minute and H₂O 376.8 liters/minute. The highest pressure drop occurs at 188.4 liters/minute flow rate of CO₂ and H₂O 376.8 liters/minute, with a value of ΔP 0.66 atm, while the lowest pressure drop occurs at 177.75 liters/minute of CO₂ and H₂O at 235.5 litres/minute with the value of ΔP 0.17 atm.

Key words: absorption, water, Computational Fluid Dynamic, carbon dioxide, pressure drop

1. Pendahuluan

Indonesia dikategorikan sebagai salah satu negara industri, dapat dikatakan demikian karena saat ini segala barang-barang kebutuhan sehari-hari masyarakat bergantung kepada hasil industri, selain itu hal yang juga mendukung bahwa Indonesia juga menjadi negara industri adalah Indonesia berhasil menemukan dan

merupakan pionir dalam mengganti bahan bakar gas yang saat ini telah banyak digunakan dan merupakan bahan bakar alternatif, yaitu biogas.

Biogas merupakan gas yang dapat dihasilkan dari berbagai bahan organik seperti sampah sayur-mayur, kotoran hewan, dan manusia melalui beberapa tahap pada kondisi kedap udara (anaerob) oleh bakteri/mikroorganisme. Biogas bersifat mudah terbakar karena sebagian besar terdiri dari metana (CH_4) yang tergolong hidrokarbon. Selain CH_4 , biogas terdiri dari beberapa pengotor yang harus dihilangkan agar nilai kalornya meningkat (Hamidi dkk.,2011). Pada umumnya komposisi biogas mentah terdiri dari CH_4 (54,77%), CO_2 (41,96%), H_2S (0,289%) dan O_2 (0,375 %) (Herout dkk., 2011). Pengotor biogas yang paling besar kandungannya adalah karbondioksida (CO_2) sebesar 41,96% yang bersifat *unflammable* (mematikan sumber api) sehingga menghambat terbakarnya biogas. Oleh karena itu, diperlukan pemurnian gas metana agar pembakaran biogas dapat menghasilkan kalor yang lebih tinggi.

Di lain pihak, pemisahan CO_2 dari aliran gas merupakan langkah penting dalam beberapa proses industri dan dibutuhkan, baik untuk alasan teknis, ekonomi maupun lingkungan seperti industri pupuk. Hal ini dikarenakan CO_2 termasuk kategori gas yang bersifat asam dan korosif yang dapat merusak bagian dalam utilitas pabrik dan sistem perpipaannya. Sifat korosif CO_2 akan muncul pada daerah-daerah yang menyediakan penurunan temperatur dan tekanan, seperti pada bagian *elbow* pipa, *tubing-tubing*, *cooler*, dan injektor turbin. Di samping itu, gas CO_2 dapat mengurangi nilai kalor dari gas alam.

Untuk meningkatkan nilai kalor biogas dan gas alam pada industri diperlukan cara untuk memisahkan gas karbon dioksida (CO_2) salah satunya menggunakan teknologi absorpsi. Hingga saat ini, yang paling banyak digunakan adalah absorpsi menggunakan larutan alkanolamin pada peralatan kontak konvensional berupa kolom unggun tetap maupun *tray*. Namun, selain membutuhkan ruang yang luas, proses ini memerlukan *initial investment cost* yang tinggi, dikarenakan pelarut yang digunakan (alkanolamin) untuk proses ini mahal. Sementara itu, Alternatif teknologi dalam penghilangan gas CO_2 adalah penggunaan suatu absorben yang harus dipertimbangkan dari sisi ekonomi dan

ketersediannya. Pemisahan CO₂ dengan menggunakan unggun tetap merupakan proses yang mudah untuk dijalankan, dan biaya yang digunakan tidak terlalu mahal (lebih ekonomis) apabila absorben yang digunakan adalah air. Walau kasus penghilangan karbon dioksida (CO₂) di atas telah berhasil dilakukan melalui tekanan absorpsi dalam air memakai menara *packed*, data yang memadai untuk mengevaluasi kinerja dari menara absorpsi komersial atau untuk mendesain menara tersebut tidak tersedia (Takeya, 1951). Sehingga pada penelitian ini dimaksudkan untuk mengetahui pengaruh yang terjadi dengan mensimulasikannya menggunakan *Computational Fluid Dynamic* (CFD).

2. Bahan dan Metode

2.1 Aplikasi yang Digunakan

Aplikasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah perangkat lunak komersial ANSYS FLUENT 16.2 dan AUTODESK INVENTOR PROFESIONAL 2016.

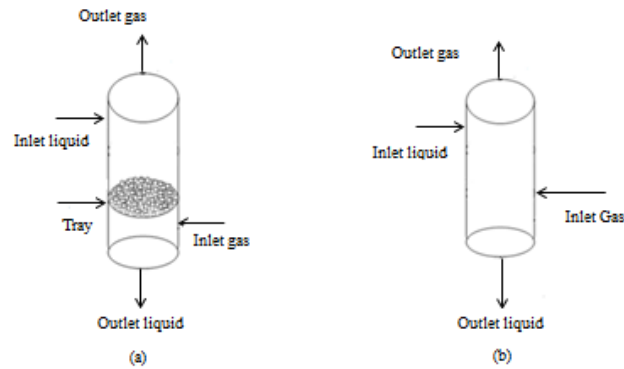
2.2 Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari variabel bebas, variabel tetap dan variabel terikat. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah laju alir air (H₂O) dan karbon dioksida (CO₂) dengan perbandingan 2:1. Laju alir air (H₂O) 235,5 liter/menit; 282,6 liter/menit; 376,8 liter/menit, laju alir karbon dioksida (CO₂) 117,75 liter/menit; 141,3 liter/menit; 188,4 liter/menit, dan absorber menggunakan *packing* dan tanpa *packing*. Variabel tetap adalah geometri kolom dengan diameter 6 cm dan tinggi 40,6 cm, tinggi isian kolom 2 cm dan desain pemodelan kolom absorpsi (ditunjukkan pada Gambar 1). Variabel terikat yang digunakan dalam penelitian ini adalah kadar gas karbon dioksida (CO₂) yang terserap, penurunan tekanan, dan profil aliran fluida dalam kolom absorpsi.

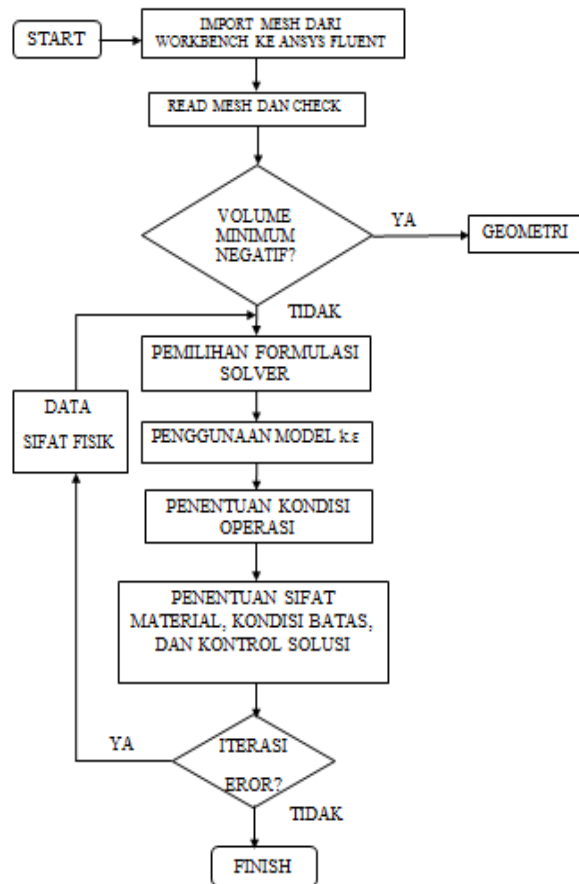
2.3 Alur Penelitian

Alur proses pembuatan kolom absorpsi dimulai dari tahap pembentukan geometri hingga penentuan kondisi batas, tahap ini juga disebut *preprocessor*. Kemudian dilanjutkan dengan mengimport geometri absorber ke fluent, untuk eksekusi, perlakuan pada fluent ini merupakan tahap *processor* dan *postprocessor* (dapat dilihat pada lampiran A). Secara keseluruhan proses simulasi untuk

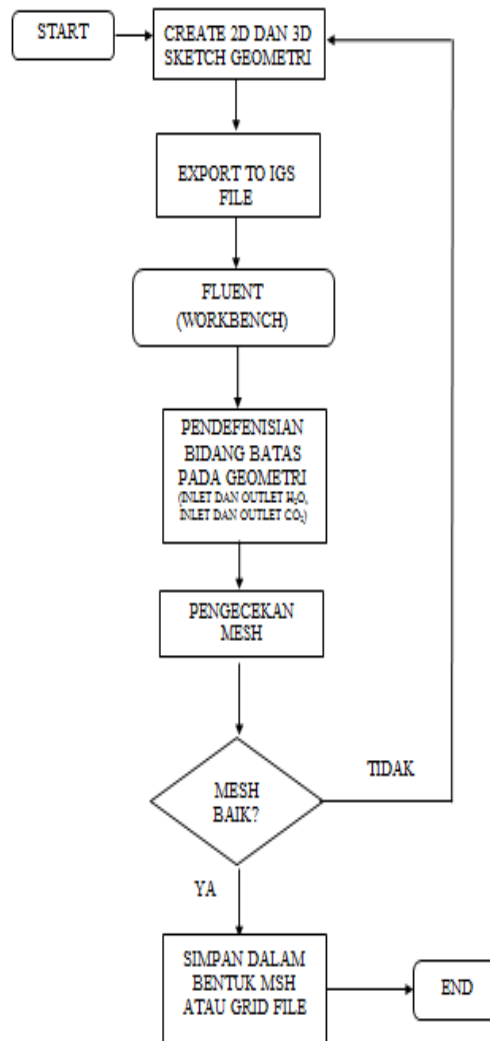
penelitian ini memiliki beberapa tahapan yang sebelumnya dimulai dari pembentukan geometri dapat dilihat pada diagram alir prosedur simulasi pada Gambar 2 dan Gambar 3.



Gambar 1. Desain Pemodelan Geometri Kolom Absorpsi (a) Menggunakan *Packing* (b) Tanpa *Packing*



Gambar 2 Alur Penelitian Penggambaran Geometri (Pre-Processor)



Gambar 3 Bagan Alir Ansys Fluent (Processor dan Postprocessor)

3. Hasil dan Diskusi

Simulasi kolom absorpsi pada proses penyerapan CO₂ menggunakan *Computational Fluid Dynamics* (CFD) dilakukan dengan memvariasikan pengaruh laju alir air dan karbondioksida dengan perbandingan 2 : 1, hasil penelitian dianalisa persen penyerapan dan penurunan tekanan pada kolom absorpsi. Selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 1.

Berbagai penelitian tentang absorpsi telah banyak dilakukan, namun kebanyakan dilakukan secara *batch* di laboratorium. Nashef Rahman (2017)

dalam jurnalnya membahas tentang pemurnian biogas dengan metode absorpsi menggunakan air mendapatkan hasil penurunan kadar CO₂ dari 34,06% menjadi 31,41%. Untuk itu penelitian ini akan dilakukan secara kontinyu dengan menggunakan *Computational Fluid Dynamic* (CFD). Setelah melakukan penelitian maka pada bagian ini akan membahas beberapa variabel yang mempengaruhi proses absorpsi CO₂ menggunakan H₂O dengan metode CFD (*Computational Fluid Dynamics*). Hubungan tersebut dapat dilihat dari persen penyerapan (%) dan penurunan tekanan (atm).

Pada penelitian ini dilakukan absorpsi dengan menggunakan *packing* dan tanpa *packing*. Pada absorpsi menggunakan *packing*, hasil persen penyerapan dan penurunan tekanan pada kolom tidak diperoleh. Hal ini disebabkan karena setelah melakukan tahap *processing* dan *post-processing* nilai *mass flowrate* CO₂ keluar tidak diperoleh, oleh karena itu persen penyerapan dan penurunan tekanan tidak dapat dihitung. Namun, pada absorpsi tanpa menggunakan *packing* dapat diperoleh hasil hubungan antara laju alir terhadap persen penyerapan CO₂ dan penurunan tekanan pada kolom.

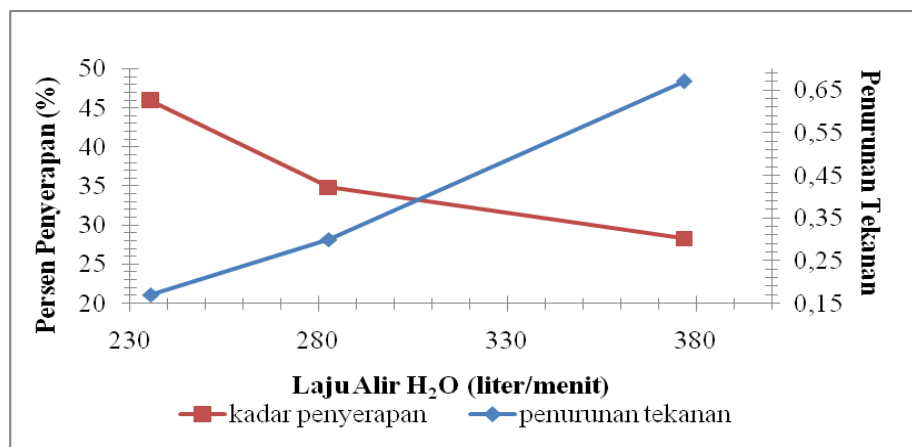
Tabel 1 Hasil Simulasi

Absorpsi	Laju alir H ₂ O (liter/menit)	Laju alir CO ₂ (liter/menit)	Persen penyerapan (%)	ΔP (atm)
Menggunakan <i>Packing</i>	235,5	117,75	-	-
	282,6	141,3	-	-
	376,8	188,4	-	-
Tanpa <i>Packing</i>	235,5	117,75	45,89	0,17
	282,6	141,3	34,85	0,30
	376,8	188,4	28,32	0,66

3.1 Hubungan Laju Alir Terhadap Persen Penyerapan dan Penurunan Tekanan

Variasi laju alir bertujuan untuk melihat pada laju alir berapa proses absorpsi terbaik terjadi. Variasi laju alir H₂O dan CO₂ dengan perbandingan 2 : 1 adalah H₂O dengan laju alir 235,5 liter/menit; 282,6 liter/menit; 376,8 liter/menit

dan CO₂ dengan laju alir 117,75 liter/menit; 141,3 liter/menit; 188,4 liter/menit. Hasil persentase penyerapan dengan laju alir ini, ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4 Hasil Persentasi Penyerapan

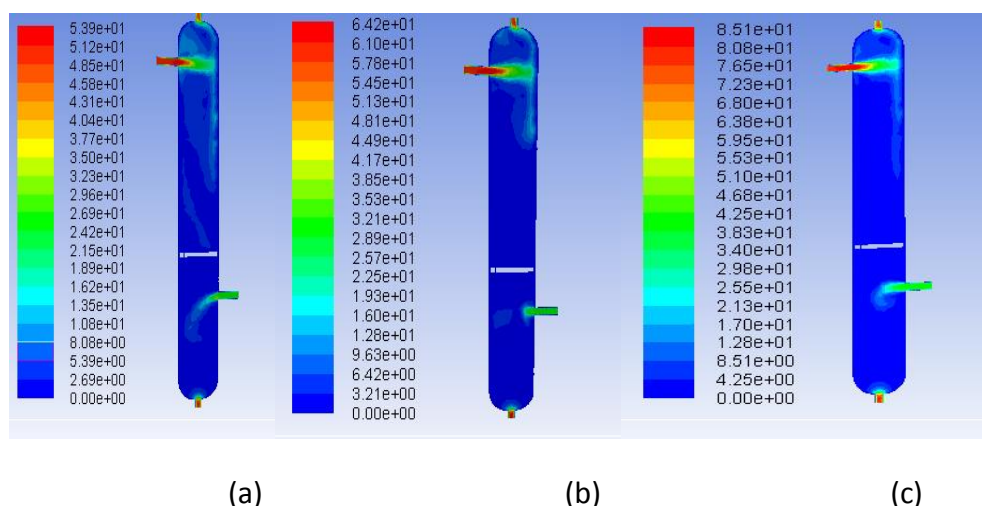
Berdasarkan Gambar 4 dapat dilihat persen penyerapan tertinggi pada setiap aliran terjadi pada laju alir CO₂ 117,75 liter/menit; H₂O 141,3 liter/menit sebesar 45,89 % dan persen penyerapan terendah terjadi pada laju alir CO₂ 188,4 liter/menit; H₂O 376,8 liter/menit sebesar 28,32 %. Dari Gambar 4 dapat dilihat semakin kecil laju alir maka persen penyerapan akan semakin tinggi karena semakin kecil laju alir akan memperlama waktu kontak antara CO₂ dan H₂O sehingga CO₂ dapat terdifusi dengan baik kedalam H₂O. Namun semakin besar laju alir atau debit aliran masuk maka persen penyerapan akan semakin rendah. Hal ini disebabkan gas CO₂ memiliki sedikit waktu untuk terdifusi kedalam H₂O (Ahmad, 2012). Selain itu kandungan ion kalsium dan magnesium dalam air juga dapat mempengaruhi persen penyerapan CO₂, semakin tinggi kandungan ion kalsium dan magnesium pada air maka semakin tinggi persen penyerapan CO₂. Hal inilah yang menyebabkan pada air laut kandungan CO₂ lebih banyak dibandingkan pada air tawar, karena kadar kalsium (422 ppm) dan magnesium (1326 ppm) pada air laut lebih tinggi dibandingkan kadar kalsium (1,5 ppm) dan magnesium (4,1 ppm) dalam air tawar (Susana,1988).

Selain itu, berdasarkan Gambar 4 dapat juga dilihat penurunan tekanan tertinggi terjadi pada laju alir CO₂ 188,4 liter/menit; H₂O 376,8 liter/menit dengan nilai ΔP sebesar 0,67 atm sedangkan penurunan tekanan terendah terjadi pada laju alir CO₂ 117,75 liter/menit; H₂O 235,5 liter/menit dengan nilai ΔP sebesar

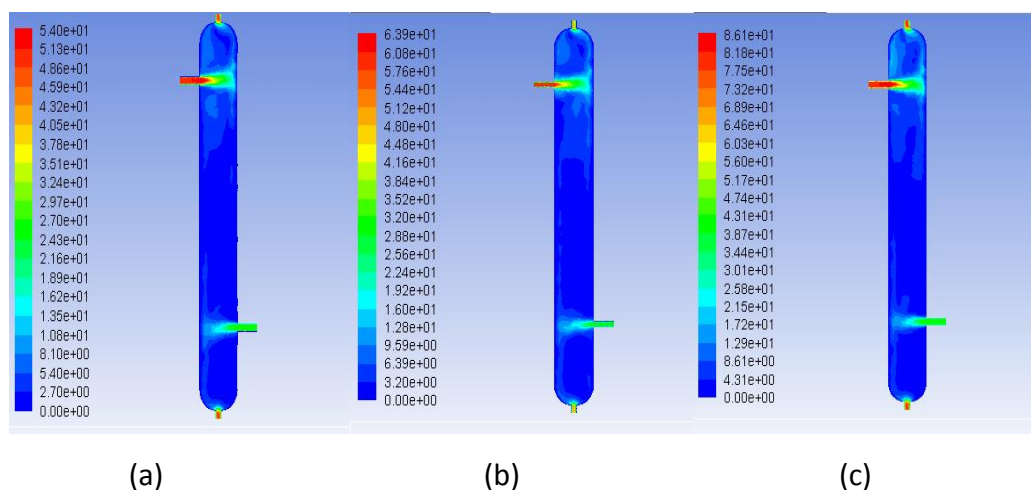
0,17 atm. Gambar 4.1 menunjukkan semakin besar laju alir, maka penurunan tekanan juga semakin besar, hal ini disebabkan karena laju alir meningkatkan turbulensi aliran yang semakin besar sehingga gaya gesek antar molekul semakin besar dan mengakibatkan penurunan tekanan yang semakin besar. Penurunan tekanan yang semakin besar menyebabkan selisih antara tekanan masuk dan tekanan keluar (ΔP) akan semakin besar. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Kartohardjono (2007) tentang pengaruh laju alir terhadap perbedaan tekanan (ΔP) yang semakin meningkat dengan peningkatan laju alir.

3.2 Kontur Laju Alir dan Penurunan Tekanan pada Kolom Absorpsi Menggunakan *Packing* dan Tanpa *Packing*

Pada tahap *post-processing* data yang ditampilkan berupa visualisasi meliputi kontur laju alir dan penurunan tekanan pada kolom absorpsi. Di bawah ini ditampilkan kontur laju alir dan penurunan tekanan fluida masuk kolom absorpsi pada laju alir yang bervariasi. Kontur Laju Alir pada Kolom Absorpsi Menggunakan *Packing* dan Tanpa *Packing* sebagaimana yang ditunjukkan dalam Gambar 5 dan 6.



Gambar 5 Kontur Laju Alir Fluida pada kolom absorpsi menggunakan *packing* (a) laju alir H₂O 117,75 liter/menit; CO₂ 235,5 liter/menit (b) laju alir H₂O 141,3 liter/menit; CO₂ 282,6 liter/menit (c) laju alir H₂O 188,4 liter/menit; CO₂ 376,8 liter/menit

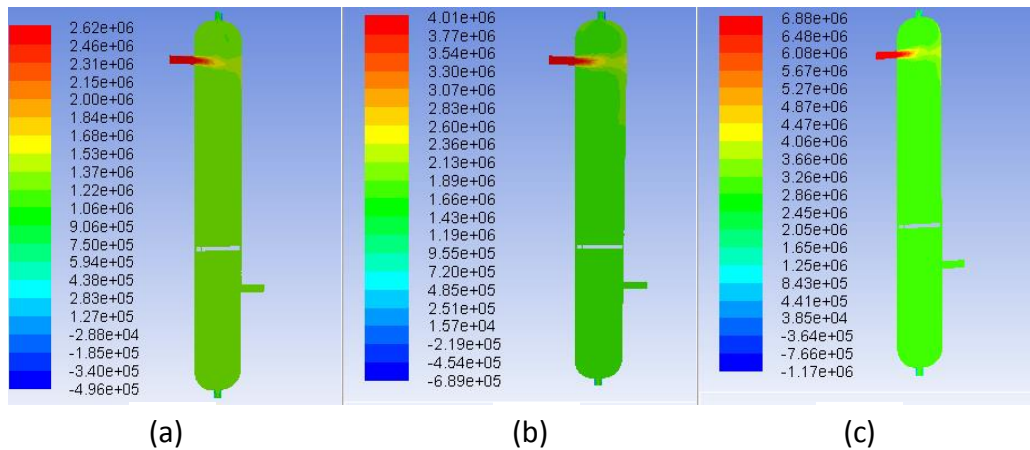


Gambar 6 Kontur Laju Alir Fluida pada kolom absorpsi tanpa *packing* (a) laju alir H₂O 117,75 liter/menit; CO₂ 235,5 liter/menit (b) laju alir H₂O 141,3 liter/menit; CO₂ 282,6 liter/menit (c) laju alir H₂O 188,4 liter/menit; CO₂ 376,8 liter/menit

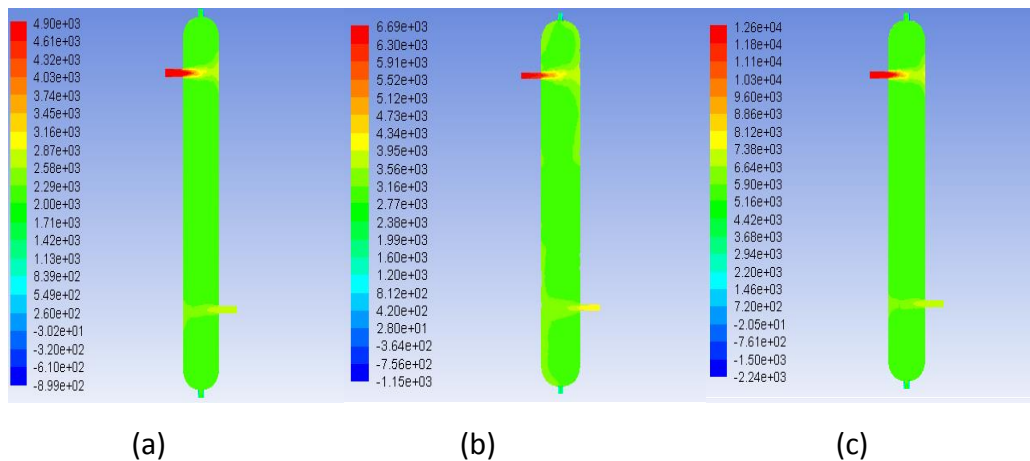
Dari Gambar 5 dan Gambar 6 dapat dilihat perbedaan laju alir pada kolom absorpsi yang ditunjukkan dengan perbedaan warna. Warna biru menunjukkan laju alir terendah, sedangkan warna merah menunjukkan laju alir tertinggi. Bagian inlet dan outlet menunjukkan laju alir fluida semakin tinggi disebabkan luas penampang inlet dan outlet lebih kecil dari luas penampang kolom absorpsi. Pada inlet H₂O kontur berwarna merah sedangkan pada inlet CO₂ kontur berwarna hijau, hal ini menunjukkan laju alir fluida pada inlet H₂O lebih besar dari inlet CO₂ dan sesuai dengan variabel yang diinput pada tahap *processing*.

3.3 Kontur Penurunan Tekanan pada Kolom Absorpsi Menggunakan *Packing* dan Tanpa *Packing*

Dari Gambar 7 dan Gambar 8 dapat dilihat perbedaan tekanan pada kolom absorpsi yang ditunjukkan dengan perbedaan warna. Warna biru menunjukkan tekanan terendah diikuti dengan warna hijau, kuning dan warna merah yang menunjukkan tekanan yang lebih tinggi. Bagian inlet dan outlet menunjukkan tekanan semakin tinggi disebabkan luas penampang inlet dan outlet lebih kecil dari luas penampang kolom absorpsi.



Gambar 7 Kontur Penurunan Tekanan Fluida pada kolom absorpsi Menggunakan *Packing* (a) laju alir H₂O 117,75 liter/menit; CO₂ 235,5 liter/menit (b) laju alir H₂O 141,3 liter/menit; CO₂ 282,6 liter/menit (c) laju alir H₂O 188,4 liter/menit; CO₂ 376,8 liter/menit



Gambar 8 Kontur penurunan tekanan fluida pada kolom absorpsi tanpa *packing* (a) laju alir H₂O 117,75 liter/menit; CO₂ 235,5 liter/menit (b) laju alir H₂O 141,3 liter/menit; CO₂ 282,6 liter/menit (c) laju alir H₂O 188,4 liter/menit; CO₂ 376,8 liter/menit

4. Simpulan dan Saran

Membran selulosa asetat dan selulosa asetat dengan penambahan zeolit alam telah dibuat dan digunakan pada percobaan pervaporasi untuk pemisahan campuran etanol-air. Modifikasi membran selulosa asetat dengan zeolit alam

berpengaruh terhadap performansi membran di mana fluks permeasi dan selektifitas membran meningkat pada pemisahan campuran etanol-air secara pervaporasi. Sifat hidrofilik selulosa asetat dan kepolaran zeolit menyebabkan kecenderungan membran menyerap molekul air dibandingkan etanol. Komposisi penambahan zeolit alam yang optimum terhadap selulosa asetat adalah 20 %-b zeolit alam terhadap berat selulosa asetat di mana diperoleh selektifitas 843, fluks permeasi air 0,79 kg/m².jam, dan fluks permeasi total 0,84 kg/m².jam pada konsentrasi umpan 98 %-b etanol dan temperatur 60 °C.

Penelitian ini dapat dilanjutkan dengan mengamati proses dehidrasi senyawa turunan atau derivat senyawa alkohol yang lebih nonpolar yang banyak digunakan dalam industri seperti isopropanol dan butanol.

5. Daftar Pustaka

1. Ani, R. A. (2009), *Teknologi Pervaporasi untuk Dehidrasi Etanol Menggunakan Membran Zeolit NaA*, Tesis Magister, Institut Teknologi Bandung.
2. Cao, J., Xiaolong Ma, Aijun Yang, and Wenju Xu (2006), Preparation of Cellulose Acetate/Nano-SiO₂ Composites and their Application in Filtration of Cigarette Smoke, *Polymers & Polymer Composites*, **14**, 1, Academic Research Library, 65 – 71.
3. Haryadi, T. Subroto, V. Qodriani (2006), “Dehidrasi Etanol dengan Teknik Pervaporasi menggunakan membran poli(vinil alkohol) termodifikasi”, *Jurnal P & PT*, **IV**, 1, 182 – 191.
4. Kuhn, J., S. Sutanto, J. Gascon, J. Gross, and F. Kapteijn (2009), Performance and stability of multi-channel MFI zeolite membranes detemplated by calcination and ozonation in ethanol/water pervaporation, *Journal of Membrane Science*, **339** (issues 1 – 2), 261 – 274.
5. Meireles, CS., GR. Filho, RMN. Assuncao, DA. Cerqueira, M. Zeni, K. Mello, S. Lorenzi (2008), Production and Characterization of Membranes of Recycled Waste Materials: Cellulose Acetate, Obtained From Sugarcane Bagasse With Polystyrene From Plastics Cups, *Polymer Engineering and Science*, **August**, **48**, 8, Academic Research Library, 1443 – 1448.
6. Metsuoka, H., S. Fukui, T. Kato (2002), On the appearance of molecular effects in different tribological systems, *Euchem*, 4.

7. Mulder, M. (2006), *Basic Principles of Membrane Technology*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 2nd ed., 7 – 38, 145, 325.
8. Nasrun (2005), Studi Pemakaian Zeolit untuk Meningkatkan Performansi Membran, *Prosiding National Conference On Chemical Engineering Science and Applications (ChESA) 2005*, Universitas Syiah Kuala, 83 – 92.
9. Permata, A. A. (2009), *Aplikasi Membran CA/Zeilolit untuk Pemisahan Campuran Alkohol-Air*, Tesis Magister, Institut Teknologi Bandung.
10. Poerwadio, A. D., A. Masduqi (2004), Penurunan Kadar Besi oleh Media Zeolit Alam Ponorogo secara Kontinyu, *Jurnal Purifikasi*, **Oktober**, (Vol. 5, No. 4), 169 – 174.
11. Terrazas-Bandala, L.P., LA. Manjarrez-Navarez, A. Duarte-Moller, M.L. Ballinas-Casarrubias, G. Gonzalez-Sanchez (2005), SEM Analysis of Composite Cellulose Acetate Membranes for Separation Operations, *Microsc Microanal*, **11** (Suppl 2), 774 – 775.
12. Widodo, S., I. N. Widiasta, I. G. Wenten (2004), Pengembangan Teknologi Pervaporasi untuk Produksi Etanol Absolut, *Prosiding Seminar Nasional Rekayasa Kimia dan Proses 2004*, Universitas Diponegoro Semarang, F-27-1 – F-27-6.