

PERMODELAN MATEMATIK DEHIDRASI BIOETANOL DENGAN MEMBRAN PERVAPORASI

Rini Rarasati (L2C607045) dan Rizky Ayu Puspitasari (L2C607047)

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jln. Prof. Sudharto, Tembalang, Semarang, 50239, Telp/Fax: (024)7460058

Pembimbing: Dr. Heru Susanto, ST, MM, MT

Abstrak

Secara umum, penelitian ini bertujuan untuk mengkaji teknologi membran pervaporasi untuk dehidrasi bioetanol. Lebih khusus, penelitian ini bertujuan untuk pembuatan model matematik dehidrasi bioetanol dengan membran pervaporasi. Bioetanol merupakan salah satu jenis biofuel yang dihasilkan dari fermentasi glukosa (gula). Aplikasi bioetanol sebagai Bahan Bakar Nabati (BBN) menghendaki kemurnian lebih dari 99%. Semakin tinggi kadar bioetanol, semakin bagus performa mesin. Oleh karena itu perlu dilakukan pemurnian bioetanol. Pervaporasi adalah salah satu proses pemisahan menggunakan membran yang merupakan alternatif pemisahan senyawa organik dari larutan akuatik atau dehidrasi pelarut skala industrial dengan kebutuhan energi rendah. Permodelan matematik adalah proses memodelkan sebuah permasalahan yang tampak dalam dunia nyata yang diinterpretasikan dan direpresentasikan dalam simbol yang abstrak. Permodelan matematik disusun berdasarkan pada proses perpindahan massa dan panas yang terjadi. Persamaan – persamaan yang didapat akan diselesaikan dengan menggunakan bantuan program Matlab. Dari simulasi yang dilakukan, dapat diketahui variabel yang berpengaruh terhadap kinerja membran pervaporasi antara lain : laju alir umpan, suhu umpan, dan konsentrasi air dalam umpan. Semakin tinggi laju alir dan suhu umpan akan meningkatkan fluks. Begitu pula semakin tinggi komposisi air dalam umpan juga akan meningkatkan fluks.

Kata kunci : pervaporasi, bioetanol, permodelan, laju alir umpan, suhu umpan, konsentrasi air dalam umpan, fluks

Abstract

The objective of this proposed research is to examine the pervaporation membrane technology for the dehydration of bioethanol. More specifically, this research aims to build a mathematical model of pervaporation membrane for dehydration of bioethanol. Bioethanol is one type of biofuels produced from the fermentation of glucose (sugar). Application of bioethanol as Biofuel (BBN) requires more than 99% purity. The higher levels of bioethanol, is the better the engine performance. It is needed to purify up to fuel grade. Pervaporation is a membrane separation process used as an alternative separation of organic compounds from the aquatic solution or solvent dehydration on an industrial scale with low energy consumption. Mathematical modeling is the process of modeling problems that arise in the real world are interpreted and represented in an abstract symbol. Mathematical modeling based on the mass and heat transfer process that occurred. The obtained equation will be solved by using Matlab program. From the simulation, it is known variables that influence the performance of pervaporation membranes are: feed flowrate, feed temperature, and water concentration in feed. The higher the feed flow rate and temperature will increase the flux. Similarly, the higher the water composition in feed will also increase the flux.

Keyword : pervaporation, bioethanol, modeling, feed flowrate, feed temperature, water concentration in feed, flux

1. Pendahuluan

Seperti diketahui bahwa cadangan minyak dan gas bumi dunia saat ini sudah semakin menipis, sehingga penggunaan sumber daya alam yang tidak dapat diperbarui sedapat mungkin harus dibatasi dan disubstitusi oleh sumber daya yang dapat diperbarui. Bioetanol merupakan bahan bakar nabati (BBN) dari biomassa yang saat ini mendapatkan perhatian serius oleh banyak pihak. Aplikasi bioetanol sebagai BBN menghendaki kemurnian lebih dari 99%. Pemurnian menggunakan proses distilasi hanya mampu menghasilkan bioetanol 94,5-95% w/w karena terbentuknya kondisi azeotrop. Pervaporasi merupakan suatu proses pemisahan berbasis membran dimana pemisahan berdasarkan

perbedaan afinitas komponen-komponen campuran terhadap membran. Pervaporasi efektif digunakan untuk memisahkan campuran azeotrop karena pemisahan tidak berdasarkan kesetimbangan uap-cair. Pemodelan matematik adalah proses memodelkan sebuah permasalahan yang tampak dalam dunia nyata yang diinterpretasikan dan direpresentasikan dalam simbol yang abstrak.

Permasalahan utama yang muncul adalah kemurnian bioetanol yang disyaratkan sebagai bahan bakar sangat tinggi, yaitu $> 99,5\%$. Pervaporasi telah diusulkan sebagai teknologi alternatif untuk pemurnian bioetanol sampai derajat bahan bakar. Namun, studi dan penelitian terdahulu lebih banyak pada aspek eksperimental di laboratorium. Agar bermanfaat dalam skala industri, maka diperlukan suatu model matematik.

Tujuan penelitian ini adalah pembuatan model matematik dehidrasi bioetanol dengan membran pervaporasi. Pengaruh- pengaruh variabel proses terhadap kinerja proses akan dipelajari dengan model yang telah disusun.

2. Metodologi Penelitian

Simulasi

Persamaan deferensial berikut ini digunakan untuk menggambarkan pemisahan etanol-air dengan pervaporasi membrane hidrofilik dan untuk merumuskan neraca massa dan energy pada gambar 2. Perubahan laju alir umpan sepanjang sisi umpan membrane ditunjukkan dengan total permeation flux, J_t .

$$\frac{dQ}{dA} = -J_t \quad (1)$$

Dimana Q adalah laju alir umpan dan dA adalah elemen luas permukaan membran.

Perubahan komposisi umpan pada sisi membrane dapat diperoleh dari neraca massa yang berhubungan dengan permeabilitas komponen air.

$$\frac{dC_w^f}{dA} = \frac{J_t(C_w^f - C_w^p)}{Q} \quad (2)$$

Pada persamaan (2), C_w^f dan C_w^p masing-masing adalah konsentrasi air dalam umpan dan sisi permeate. Sebagian besar konsumsi energi dalam pervaporasi sebanding dengan panas yang digunakan untuk menguapkan permeate yang disuplai oleh umpan cair. Sebagai hasilnya, suhu umpan yang mengalir berkurang sepanjang membran.

$$\frac{dT}{dA} = -\frac{J_t \cdot \Delta H}{Q \cdot k} \quad (3)$$

Dimana T adalah temperatur umpan, ΔH adalah panas laten penguapan permeate dan k adalah kapasitas panas cairan umpan. Kondisi batas dalam persamaan diferensial ini adalah

$$\begin{aligned} Q &= Q_0 & \text{at } A &= 0 \\ C_w^f &= C_{w0}^f & \text{at } A &= 0 \\ T &= T_0 & \text{at } A &= 0 \end{aligned} \quad (4)$$

ΔH dan k di deduksi melalui interpolasi linear, dari nilai-nilai komponen murni.

$$\Delta H = C_w^p \cdot \Delta H_w + (1 - C_w^p) \cdot \Delta H_e \quad (5)$$

$$k = C_w^f \cdot k_w + (1 - C_w^f) \cdot k_e \quad (6)$$

Persamaan ini digabungkan dan diintegrasikan dengan metode numeric seperti metode Differensial Biasa (ODE). Untuk perhitungan ini, total permeation flux dan komposisi permeate merupakan fungsi dari konsentrasi umpan dan kondisi operasi seperti temperature umpan dan tekanan permeate.

Percobaan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain adalah : bioetanol kadar 94,24 % dengan densitas 0,7986 g/ml digunakan sebagai umpan, etanol absolut p.a. (*pro analysis*) untuk membuat deret standar (kurva baku), serta air suling. Membran yang digunakan pada penelitian ini adalah membran polimer hidrofilik, digunakan PERVAP 2211 dengan diameter membran 13 cm (luas area membran adalah 132,7 cm²). Variabel suhu yang digunakan 35-75 °C. Kondisi tetap yang digunakan adalah konsentrasi bioetanol dalam umpan, umpan bioetanol yang dimasukkan (1 liter), lama waktu proses pervaporasi (1 jam) dan jenis dan luas permukaan membrane.

Prosedur percobaan dilaksanakan sesuai dengan prosedur berikut : umpan bioetanol sebanyak 1 liter dimasukkan pada kolom umpan melalui *feed charge*. *Heating bath* dipanaskan sampai suhu umpan 35 °C dan tekanan pada sisi permeate diatur pada 5 cmHg. Setelah temperatur umpan tercapai, umpan dialirkan dengan menyalakan *feed pump*, serta membuka kran yang ada pada kolom umpan. Setelah kondisi operasi tercapai, proses diamati selama 1 jam. Hasil permeate dan retentat ditampung, ditimbang, kemudian dianalisis kadar bioetanol yang terkandung dalam permeate dan retentat tersebut.

Densitas bioetanol dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

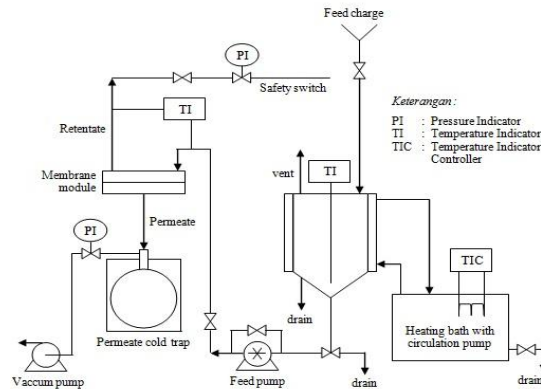
$$\rho = \frac{\text{massa bioetanol}}{\text{volume picnometer}}$$

Analisis dan Pengolahan Data

Perhitungan fluks permeat dan selektivitas dilakukan masing-masing sesuai dengan persamaan berikut :

$$J = \frac{m}{Sxt}$$

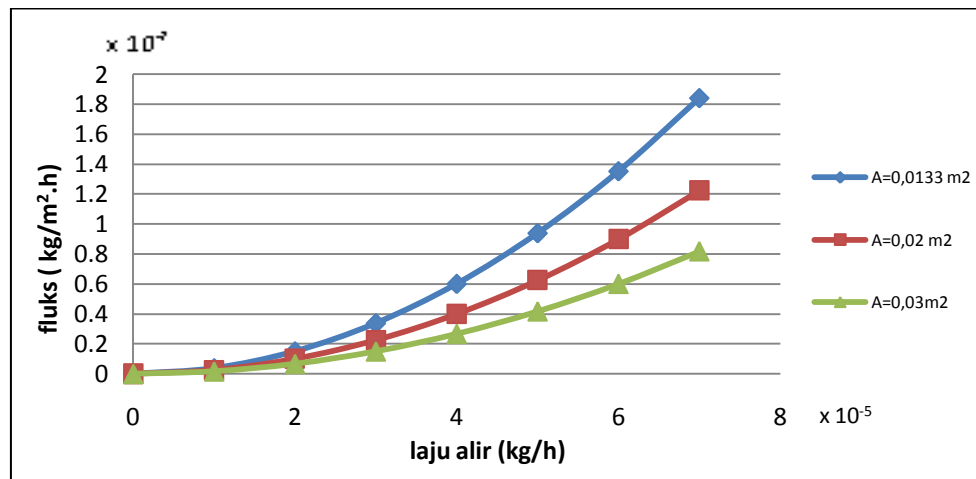
Dimana J adalah fluks permeat, m massa permeate, S luas permukaan membran, dan t waktu preparasi. Dibuat grafik yang menggambarkan hubungan antara fluks dan temperatur umpan sehingga kinerja membran dan kondisi operasi pervaporasi dapat diketahui.



Gambar Rangkaian Alat

3. Hasil dan Pembahasan

1. Hubungan Laju Alir Terhadap Fluks

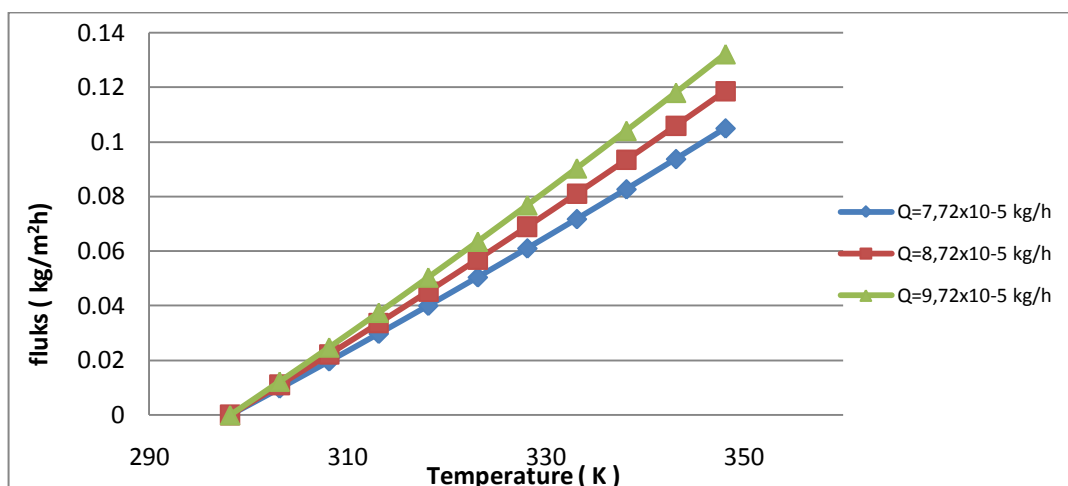


Gambar 3.1 Grafik Hubungan Laju Alir vs Fluks

Gambar 3.1 menunjukkan peningkatan laju alir umpan menyebabkan peningkatan fluks. Hal ini dapat dijelaskan melalui persamaan $J = \frac{dQ}{dA}$.

Besarnya fluks dihitung dari besarnya laju alir yang melewati setiap luas permukaan membran. Semakin besar laju alir permeate dan semakin kecil luas permukaan membran maka fluks yang dihasilkan semakin besar.

2. Hubungan Temperatur Terhadap Fluks



Gambar 3.2 Grafik Hubungan Temperatur vs Fluks

Dari Gambar 3.2 dapat dilihat bahwa semakin tinggi temperature nilai fluks yang dihasilkan juga semakin meningkat. Fenomena tersebut terjadi karena semakin tinggi temperatur umpan akan meningkatkan tekanan uap parsial sebagai tenaga pendorong, sehingga akan dihasilkan fluks yang semakin tinggi.

Fenomena kenaikan temperatur dapat meningkatkan tekanan uap parsial dapat dilihat pada persamaan Antoine :

$$\text{Log } P = A - \frac{B}{T + c}$$

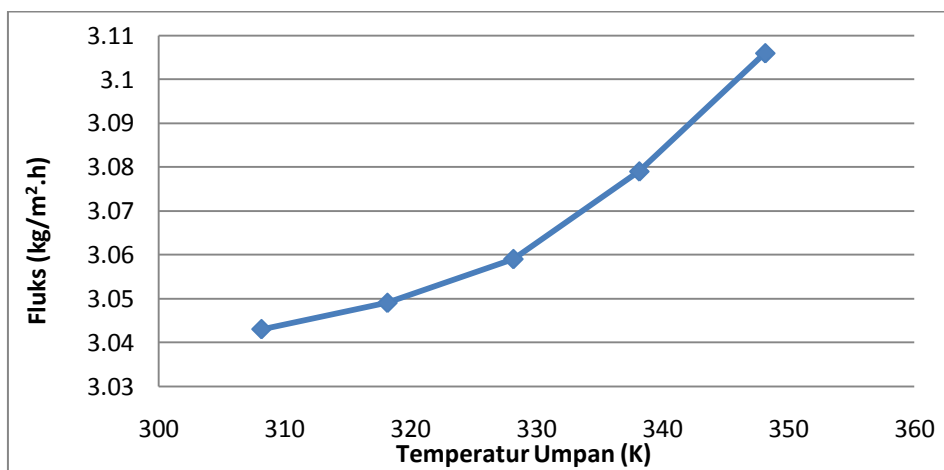
Simulasi di atas didukung dengan data percobaan yang dilakukan bersama Bapak Petrus (Mahasiswa S2 Teknik Kimia Universitas Diponegoro) :

Membran yang digunakan : membran polimer hidrofilik PERVAP 2211

Diameter membran : 13 cm

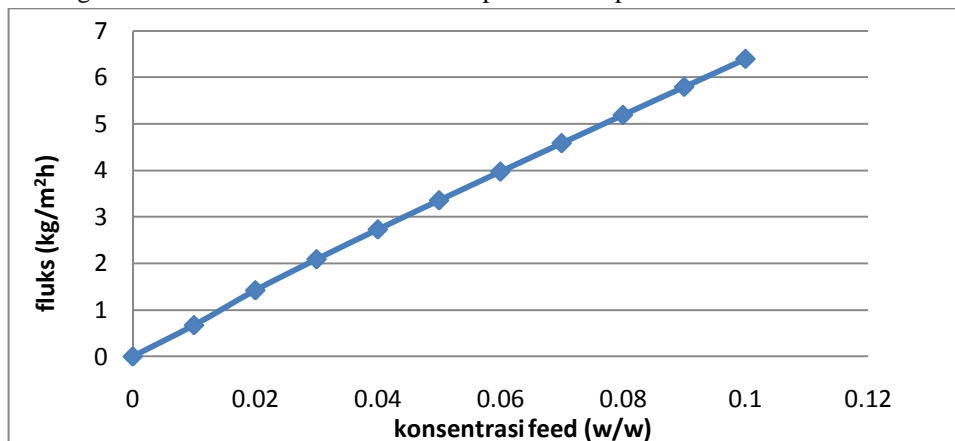
Luas area membran : 132,665 cm²

Run	Kondisi Operasi		Fluks (kg/m ² .h)
	T (K)	P (cmHg)	
1	308,15	5	3,043
2	318,15	5	3,049
3	328,15	5	3,059
4	338,15	5	3,079
5	348,15	5	3,106



Gambar 4.3 Grafik Hubungan Temperatur Vs Fluks Berdasarkan Percobaan

3. Hubungan antara Konsentrasi Air dalam Umpan Terhadap Fluks



Gambar 3.4 Grafik Hubungan Konsentrasi Air pada Umpan vs Fluks

Gambar 3.4 menunjukkan bahwa fluks permeate naik seiring dengan kenaikan konsentrasi air dalam umpan. Gugus hidrofilik merupakan penarik yang kuat untuk afinitas dan serapan air, sehingga membrane lebih menyerap air daripada etanol. Dengan demikian, air dapat diserap dan berdifusi secara selektif ke dalam membran dibandingkan etanol. Semakin banyaknya air yang berdifusi ke dalam membrane menyebabkan fluks yang diperoleh semakin besar pula mengingat fluks adalah jumlah volume permeate yang diperoleh pada operasi membrane per satuan waktu dan satuan luas permukaan membrane maka dengan bertambahnya volume permeate nilai fluks pun akan bertambah banyak pula.

4. Kesimpulan

Uraian di atas menunjukkan bahwa dari permodelan matematik yang didapat variable-variabel yang berpengaruh terhadap kinerja membrane pervaporasi antara lain fluks, konsentrasi air pada umpan dan temperature. Semakin tinggi temperature dan konsentrasi air pada umpan maka nilai fluks juga akan semakin besar.

Ucapan Terima Kasih

1. Bapak Dr. Heru Susanto, ST, MM, MT selaku dosen pembimbing penelitian.
2. Bapak Ir. Abdullah, MS, PhD sebagai Ketua Jurusan Teknik Kimia Universitas Diponegoro.
3. Orangtua, keluarga penyusun dan teman-teman yang telah memberikan doa, support, dan materi.

Daftar Pustaka

- Andriani, R. 2007. Teknologi Pervaporasi untuk Dehidrasi Etanol Menggunakan Membran Zeolit NaA. Institut Teknologi Bandung.
- Anonim. 2008. Teknologi Membran Ternyata Mampu Memurnikan Etanol hingga 99,8%. <http://www.trubusonline.co.id/mod.php?mod=publisher&am> diakses tanggal 1 Mei 2010.
- Baker, R.W. 2004. Membrane Technology and Applications, 2nd Ed. Wiley, Chichester.
- Chang, J. H, Yoo, J. K, Ahn, S. H, Lee, K. H. and Ko, S. M. 1998. Simulation of Pervaporation Process for Ethanol Dehydration by Using Pilot Test Result, Korean J. Chem Eng. 15(1), 28-36.
- Dewi, R. K. 2009. Proses Dehidrasi Ethanol untuk Pemurnian Ethanol sebagai Energi Alternatif Bahan Bakar (Bioethanol). Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Hakim, A. L. 2010. Penggunaan Membran Selulosa Asetat Termodifikasi Berbasis Pervaporasi Untuk Pemurnian Etanol Dalam Tingkat *Fuel Grade*. Universitas Negeri Malang. <http://id.wikipedia.org/wiki/Etanol> diakses tanggal 15 April 2010
- <http://www.energibio.wordpress.com/> bioetanol diakses tanggal 1 Mei 2010
- Ling, L. K, Nawawi, M. G. M. A. and Sadikin, N. 2008. Pervaporation of Ethanol-Water Mixture Using PVA Zeolite-Clay Membranes, *Jurnal Teknologi*, 49(F) Dis. 167-177.
- Mulder, M. 1996. Basic Principles of Membrane Technology, 2nd Ed. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Rakhmatullah, D. K. A. 2007. Pembuatan Adsorben dari Zeolit Alam dengan Karakteristik *Adsorption Properties* untuk Kemurnian Bioetanol. Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Bandung.
- Sartika, N. D. 2003. Aplikasi Teknologi Membran Pervaporasi dalam Ekstraksi Senyawa 1-Butanol Kinerja Berbagai Membran Hidrofobe, *Jurnal Sainst dan Teknologi BPPT*, VIII.IIB.13.

- Sediawan, W. B. 1997. Permodelan Matematis dan Penyelesaian Numeris dalam Teknik Kimia. ANDI, Yogyakarta.
- Takegami, S, Yamada, H, Tsujii, S. 1992. Dehydration of Water/Ethanol Mixture by Pervaporation Using Modified Poly (Vynil Alcohol) Membrane, Polymer Journal, Vol. 24, No.11. 1239-1250.
- Urtiaga, A.M, Gorri, E. D, Gomez, P, Casado, C, Ibanez, R. and Ortiz, I. 2007. Pervaporation Technology for the Dehydration of Solvents and Raw Materials in the Process Industry, Drying Technology, 25. 1819–1828.