

## Pengaruh Suhu dan Tekanan Tangki Destilasi terhadap Kinerja Permeasi Uap dengan Membran Keramik dalam Pemurnian Larutan Etanol-Air

Misri Gozan<sup>1</sup>, Said Zul Amraini<sup>2</sup> Alief Nasrullah Pramana<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Depok 16424,

Tel: (021) 7863516. Fax: (021) 7863515

Email: [mgozan@che.ui.ac.id](mailto:mgozan@che.ui.ac.id)

<sup>2</sup>Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Riau, Pekanbaru.

### Abstrak

Kinerja permiasi uap (vapor permiation) dengan membran NaA-Ze dalam pemurnian etanol dipelajari dalam penelitian ini. Suhu pada rentang 110, 120, dan 130°C; serta tekanan tangki destilasi pada rentang ( $\frac{1}{2}$ , 1, dan  $1\frac{1}{2}$  bar diamati pengaruhnya terhadap selektivitas membran yang memisahkan larutan etanol dan air. Besaran fluks sebagai fungsi tekanan juga diukur sebagai salah satu kinerja membran. Hasil menunjukkan bahwa pada variasi suhu, konsentrasi retentat tertinggi 62% dan konsentrasi permeat terendah 5% terjadi pada suhu 130°C. Pada suhu tersebut dicapai volume tertinggi untuk retentat 202 mL; volume tertinggi permeat 679 mL; fluks tertinggi 0,0011 kg/m<sup>2</sup>.menit; dan selektivitas tertinggi 1,066. Variasi tekanan tangki destilasi memberikan konsentrasi retentat tertinggi 66% dan konsentrasi permeat terendah 3% terjadi pada tekanan  $1\frac{1}{2}$  bar. Pada tekanan tersebut dicapai volume tertinggi retentat 180 mL; volume tertinggi permeat 1062 mL; fluks tertinggi 0,0016 kg/m<sup>2</sup>.menit dan selektivitas tertinggi 1,089.

**Kata Kunci :** larutan etanol-air, permeasi uap, suhu, tekanan tangki destilasi.

### 1 Pendahuluan

Etanol adalah biofuel yang dapat dihasilkan melalui fermentasi sakarida dan dapat ditemukan dalam biomassa. Namun, kegunaan etanol sebagai biofuel terbatas karena sifat energi intensif dari proses produksinya. Pemisahan etanol dari air adalah bagian utama energi intensif untuk proses produksi, biasanya terhitung lebih dari setengah dari kebutuhan total energi proses. Selanjutnya, hanya etanol anhidrat yang dapat dicampur dengan bensin dan digunakan dalam mesin pembakaran bensin konvensional. Persyaratan untuk memproduksi etanol anhidrat ini sangat rumit dalam proses produksi karena etanol dan air dapat membentuk suatu azeotrop, dimana komposisi ini tetap atau tidak bisa diubah lagi dengan cara destilasi sederhana. Kondisi ini terjadi karena ketika azeotrop dididihkan, uap yang dihasilkan juga memiliki perbandingan konsentrasi yang sama dengan larutannya semula akibat ikatan antar molekul pada kedua larutannya, sehingga mustahil untuk memulihkan etanol murni melalui destilasi yang sederhana. Oleh karena itu diperlukan sebuah proses dehidrasi khusus. Metode yang paling umum digunakan

untuk dehidrasi etanol saat ini adalah destilasi ekstraktif, tekanan adsorpsi air pada molecular sieve serta pervaporasi atau permeasi uap melalui membran hidrofilik [Haelssig et al., 2011; Gomez et al., 2008; Fontalvo, 2006].

Dalam proses pemisahan etanol konvensional, rekoveri etanol diperoleh dengan menggunakan langkah destilasi beberapa tahap dan dikombinasikan dengan proses dehidrasi. Konsentrasi akhir distilat tergantung pada desain kolom dan komposisi aliran umpan. Diusulkan sebuah proses pervaporasi yang dapat dengan mudah digabungkan ke destilasi. Dalam proses yang diusulkan, baik uap dan cair diumpankan ke dalam pervaporasi yang telah dimodifikasi. Aliran uap dan cair dipisahkan oleh dinding konduktif dan hanya aliran cair yang terkena permukaan membran. Biasanya, pervaporasi dari fasa cair akan mengakibatkan penurunan suhu. Namun dalam proses tersebut, hilangnya panas yang berhubungan dengan pervaporasi diberikan oleh kondensasi parsial dari aliran uap [Gomez et al., 1992]. Lalu diusulkan pula sebuah proses di mana dua fasa uap-cair campuran dikontakkan langsung dengan permukaan membran. Kondensasi parsial dari uap menghasilkan energi untuk mendorong terjadinya proses pervaporasi [Gomez et al., 2008].

Permeasi uap merupakan sebuah teknologi alternatif, dimana aliran umpan masuk sebagai uap jenuh. Hal ini dilakukan untuk menghindari perubahan fasa di permukaan membran, dan membuat sistem permeasi uap ini tidak rumit daripada sistem pervaporasi. Selain kemudahannya, permeasi uap ini tidak sensitif terhadap konsentrasi polarisasi pada sisi aliran umpan dari membran, life-time dari membran diperkirakan akan lebih lama dibandingkan dengan pervaporasi, ini disebabkan oleh rendahnya pembengkakan yang terjadi di membran, dan laju transportasi yang melewati permukaan membran dapat ditingkatkan dengan menaikkan tekanan di aliran umpan [Haelssig et al., 2011].

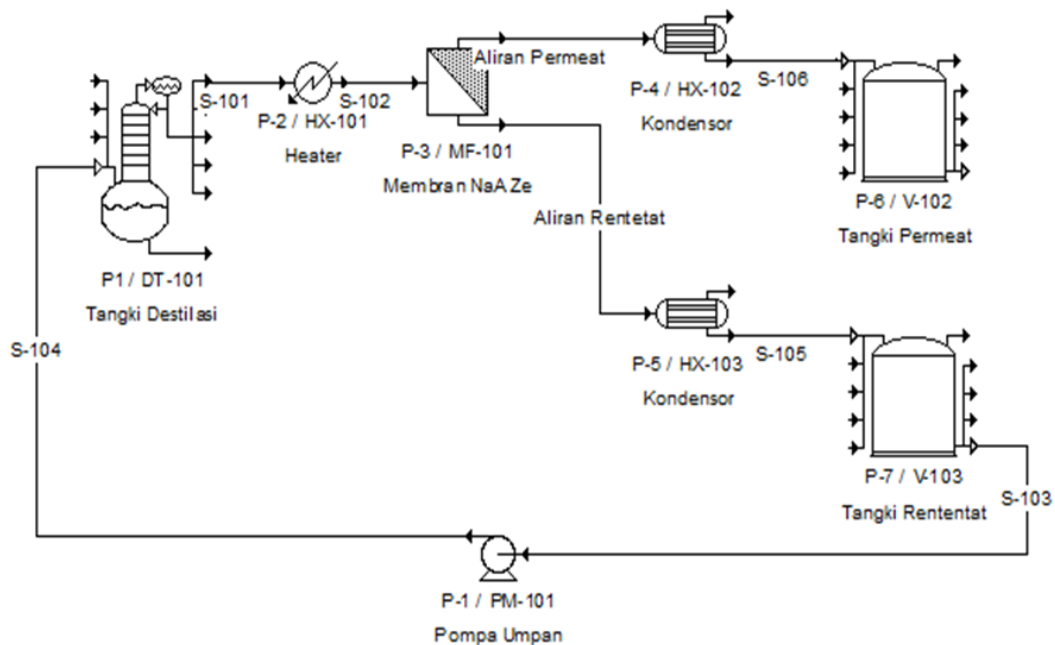
Membran NaA zeolit umumnya terbukti memiliki fluks yang sangat baik dan selektivitas terhadap air. Dibandingkan dengan membran alternatif polimer lainnya, membran ini memiliki fluks air dan faktor pemisahan yang relatif tinggi karena syarat luas permukaan untuk sistem membran berbanding terbalik dengan fluks, fluks yang lebih tinggi menunjukkan bahwa daerah membran yang lebih kecil akan diperlukan untuk mencapai pemisahan yang sama. Sebaliknya, faktor pemisahan yang lebih tinggi mengakibatkan menurunkan biaya operasi. Jenis tipe dari membran ini juga memiliki ciri khas dari sistem membran lainnya, yang memungkinkan mereka untuk dapat dengan mudah diintegrasikan ke dalam proses hibrid. Ketersediaan komersial dari membran pervaporasi NaA zeolit ini juga menyajikan peluang besar untuk penghematan energi dalam proses dehidrasi [Haelssig et al., 2011].

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah untuk mengetahui kinerja membran NaA-Ze pada permeasi uap dan mengetahui pengaruh suhu dan tekanan tangki destilasi terhadap nilai konsentrasi, volume, selektivitas, dan fluks dalam memisahkan larutan etanol-air.

## 2 Metodologi

Sebelum mengambil data penelitian, dilakukan uji kebocoran pada rangkaian alat permeasi uap dengan menggunakan larutan etanol-air 10% sebanyak 5 liter. Lalu, dimasukkan ke dalam tangki destilasi dan atur suhunya 110°C untuk 2 jam serta 120°C untuk 2 jam berikutnya. Hal ini dilakukan untuk mengetahui apakah terdapat kebocoran atau tidak pada alat tersebut, baik alat yang dilalui oleh air maupun udara.

Digunakan larutan umpan etanol-air dengan konsentrasi 10% yang dimana untuk membuat larutan umpan etanol-air tersebut, dibutuhkan 521 mL etanol teknis kemudian dicampurkan aquadest sebanyak 4479 mL. Lalu, larutan umpan ini nantinya divariasikan dengan variabel suhu (110, 120, dan 130°C) dan tekanan destilasi ( $\frac{1}{2}$ , 1, dan  $1\frac{1}{2}$  bar). Pada percobaan ini, suhu yang digunakan adalah suhu yang ditunjukkan oleh indikator alat.



**Gambar 1.** Skema peralatan proses permeasi uap (*vapor permeation*)

Pada sistem ini, umpan dimasukkan ke dalam tangki destilasi menggunakan pompa umpan. Umpan yang telah berada di dalam tangki destilasi tersebut diatur suhunya sehingga menjadi uap. Lalu, uap tersebut mengalir menuju membran keramik. Pada membran ini, uap akan dipisahkan menjadi 2 aliran yaitu aliran rententat dan aliran permeat. Aliran rententat adalah aliran yang diharapkan kandungannya lebih besar sedangkan aliran permeat adalah aliran yang diharapkan kandungannya lebih besar. Aliran retentat akan dikondensasikan oleh kondensor sehingga menjadi cair kembali. Lalu hasil rententat yang telah terkondensasi ditampung ke dalam tangki berpenutup dan dihitung volume dan konsentrasinya. Setelah hasil rententat telah dihitung, maka hasil rententat akan dialirkan kembali menuju tangki destilasi menggunakan pompa umpan. Sedangkan pada aliran permeat akan dikondensasikan pula oleh kondensor sehingga menjadi cair. Lalu hasil permeat yang telah

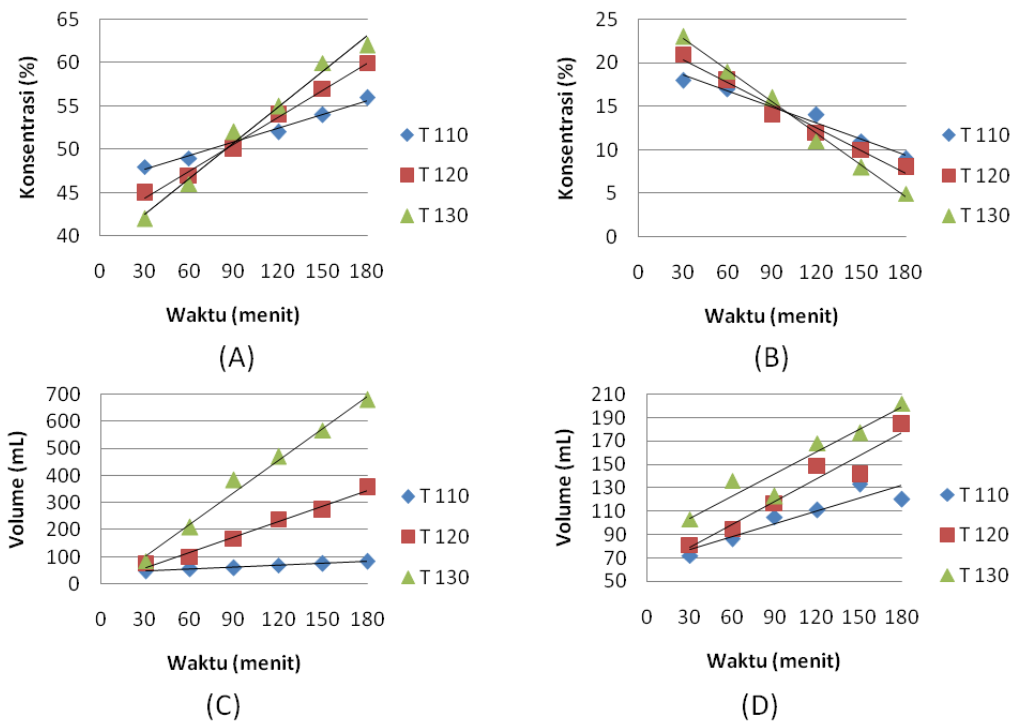
terkondensasi akan mengalir dan ditampung ke tangki permeat. Hasil permeat tersebut kemudian dihitung volume dan konsentrasinya. Untuk aliran permeat ini tidak dikembalikan lagi ke dalam tangki destilasi. Pada aliran permeat digunakan pompa vakum untuk menghasilkan gaya penggerak pada sisi permeat.

Pengambilan sampel dilakukan setiap 30 menit selama 3 jam di tangki rententat dan tangki permeat. Untuk analisis kadar alkohol dilakukan menggunakan alkoholmeter yang sebelumnya telah dikalibrasi.

### **3 Hasil dan Pembahasan**

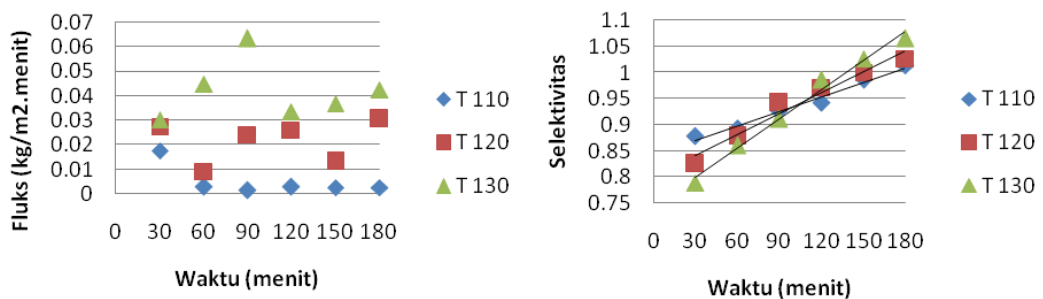
#### **3.1 Pengaruh Suhu**

Hubungan antara konsentrasi rententat dan permeat dengan waktu selama proses permeasi uap serta hubungan antara volume rententat dan permeat dengan waktu selama proses permeasi uap pada variabel suhu dapat dilihat pada gambar 2 dan 3. Dari grafik pada gambar 2 bisa dilihat bahwa dengan suhu yang divariasikan pada 110, 120, dan 130°C seperti atas, bisa dijelaskan bahwa perbedaan suhu umpan akan berpengaruh pada konsentrasi etanol dan air yang menembus membran. Semakin tinggi suhu umpan, maka semakin banyak etanol dan air yang menembus ke membran. Tapi, pada sampling pertama dan sampling kedua (30–60 menit) terjadi fenomena kebalikannya dimana semakin tinggi suhu umpan maka semakin sedikit etanol dan air yang menembus ke membran. Ini disebabkan karena proses start up pada alat tersebut masih berjalan lambat. Bisa disimpulkan juga bahwa membran ini tidak bekerja secara optimal dalam hal pemisahan etanol-air. Ini bisa dilihat dari variasi suhu 110°C dimana hasil permeat sampling awal konsentrasinya mencapai 18% dan menjadi 9% ketika di sampling akhir. Lalu pada variasi suhu 120°C hasil permeat sampling awal konsentrasinya mencapai 21% dan menjadi 8% ketika di sampling akhir. Dan pada variasi suhu 130°C hasil permeat sampling awal konsentrasinya mencapai 23% dan menjadi 5% ketika di sampling akhir. Lalu, dari grafik pada gambar 3 bahwa perbedaan suhu umpan akan berpengaruh pada volume etanol dan air yang menembus membran. Semakin tinggi suhu umpan, maka semakin banyak etanol dan air yang menembus ke membran.



Gambar 2. Profil konsentrasi (A) retentat; (B) permeat; volume (C) retentat; dan (D) permeat sebagai fungsi waktu pada suhu 110, 120, dan 130 °C

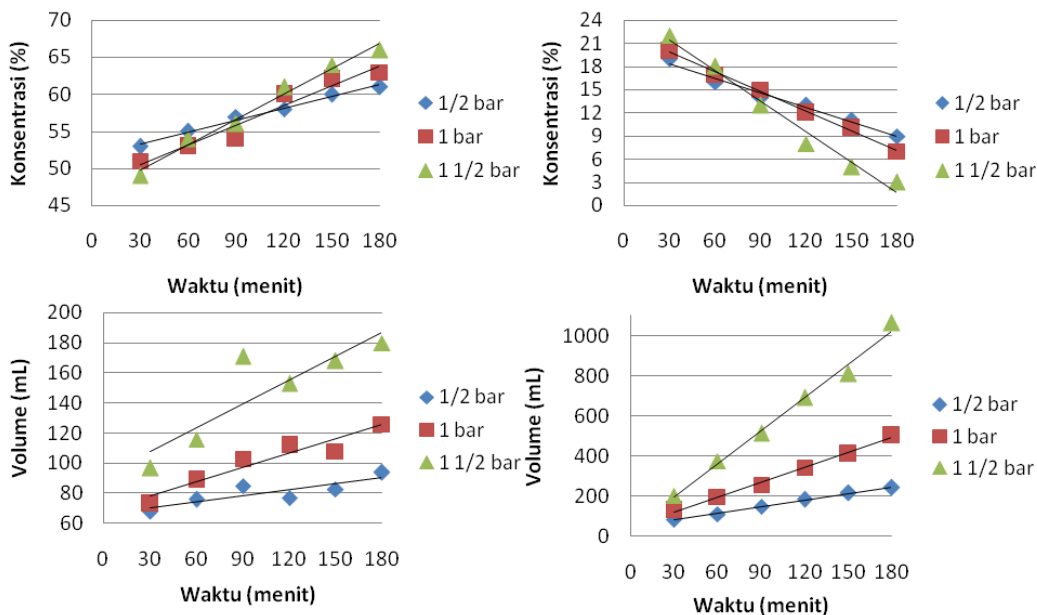
Hubungan antara fluks dengan waktu selama proses permeasi uap serta hubungan antara selektivitas dengan waktu selama proses permeasi uap pada variabel suhu dapat dilihat pada gambar 6. Dari grafik pada gambar 6 sebelah kiri bisa dilihat bahwa nilai fluks mengalami fluktuatif seiring berjalannya waktu. Untuk nilai fluks tertinggi diperoleh di suhu 130°C pada menit ke 90. Nilai fluks yang diperoleh tersebut adalah 0,0011 kg/m<sup>2</sup>.menit. Lalu, dari grafik pada gambar 6 sebelah kanan bisa dilihat bahwa perbedaan suhu umpan mempengaruhi selektivitas di aliran permeat. Suhu umpan yang semakin tinggi akan mengakibatkan sebagian etanol akan berubah fasa menjadi gas dengan cepat sehingga dapat langsung menuju retentat. Pada variasi ini, diperoleh nilai selektivitas terbesar yaitu 1,07 dan nilai selektivitas terkecil yaitu 0,79.



Gambar 3. Profil fluks (kiri) dan selektivitas (kanan) sebagai fungsi waktu terhadap suhu 110, 120, dan 130 °C.

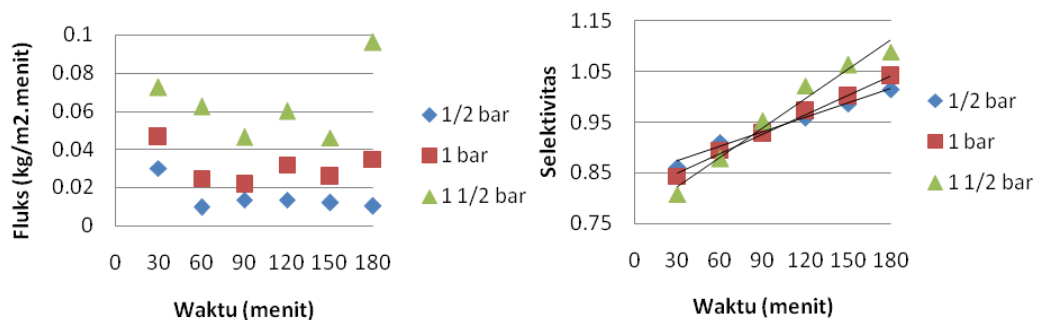
### 3.2 Pengaruh Tekanan Tangki Destilasi

Hubungan antara konsentrasi retentat dan permeat dengan waktu selama proses permeasi uap serta hubungan antara volume retentat dan permeat dengan waktu selama proses permeasi uap pada variabel tekanan tangki destilasi dapat dilihat pada gambar 4 dan 5. Dari grafik pada gambar 4 bisa dilihat bahwa dengan tekanan tangki destilasi yang divariasikan pada  $\frac{1}{2}$ , 1, dan  $1\frac{1}{2}$  bar seperti atas, bisa dijelaskan bahwa perbedaan tekanan akan berpengaruh pada konsentrasi etanol dan air yang menembus membran. Semakin tinggi tekanan tangki destilasi, maka semakin banyak etanol dan air yang menembus ke membran. Tapi, pada sampling pertama sampai sampling ketiga (30 – 90 menit) terjadi fenomena kebalikannya dimana semakin tinggi tekanan tangki destilasi maka semakin sedikit etanol dan air yang menembus ke membran. Ini disebabkan karena proses start up pada alat tersebut masih berjalan lambat. Bisa disimpulkan juga bahwa membran ini tidak bekerja secara optimal dalam hal pemisahan etanol-air. Ini bisa dilihat dari variasi tekanan  $\frac{1}{2}$  bar dimana hasil permeat sampling awal konsentrasinya mencapai 19% dan menjadi 9% ketika di sampling akhir. Lalu pada variasi tekanan 1 bar hasil permeat sampling awal konsentrasinya mencapai 20% dan menjadi 7% ketika di sampling akhir. Dan pada variasi tekanan  $1\frac{1}{2}$  bar hasil permeat sampling awal konsentrasinya mencapai 22% dan menjadi 3% ketika di sampling akhir. Lalu, dari grafik pada gambar 5 bisa dilihat bahwa perbedaan tekanan akan berpengaruh pada volume etanol dan air yang menembus membran. Semakin tinggi tekanan tangki destilasi, maka semakin banyak etanol dan air yang menembus ke membran.



Gambar 4. Profil konsentrasi (A) retentat; (B) permeat; volume (C) retentat; dan (D) permeat sebagai fungsi waktu pada tekanan  $\frac{1}{2}$ , 1, dan  $1\frac{1}{2}$  bar

Hubungan antara fluks dengan waktu selama proses permeasi uap serta hubungan antara selektivitas dengan waktu selama proses permeasi uap pada variabel tekanan tangki destilasi dapat dilihat pada gambar 7. Dari grafik pada gambar 7 sebelah kiri bisa dilihat bahwa nilai fluks mengalami fluktuatif seiring berjalannya waktu. Untuk nilai fluks tertinggi diperoleh di tekanan 1½ bar pada menit ke 180. Nilai fluks yang diperoleh tersebut adalah 0,0016 kg/m<sup>2</sup>.menit. Lalu, dari grafik pada gambar 7 sebelah kanan bisa dilihat bahwa perbedaan tekanan tangki destilasi mempengaruhi selektivitas di aliran permeat. Tekanan tangki destilasi yang semakin tinggi akan mengakibatkan sebagian etanol akan berubah fasa menjadi gas dengan cepat sehingga dapat langsung menuju rententat. Pada variasi ini, diperoleh nilai selektivitas terbesar yaitu 1,09 dan nilai selektivitas terkecil yaitu 0,81.



Gambar 5. Profil fluks (kiri) dan selektivitas (kanan) sebagai fungsi waktu terhadap tekanan ½, 1, dan 1½ bar

#### 4 Kesimpulan

Dari penelitian ini mengenai pengaruh suhu dan tekanan tangki destilasi terhadap kinerja permeasi uap dengan membran NaA-Ze dalam pemurnian larutan etanol-air, dapat disimpulkan bahwa suhu dan tekanan tangki destilasi mempengaruhi konsentrasi di rententat, konsentrasi di permeat, volume di rententat, volume di permeat, fluks di aliran permeat, dan selektivitas di aliran permeat. Semakin tinggi suhu dan tekanan di tangki destilasi, maka semakin tinggi konsentrasi di aliran rententat, semakin rendah konsentrasi di aliran permeat, semakin besar volume di aliran rententat, semakin besar volume di aliran permeat, semakin besar fluks di aliran permeat, dan semakin besar selektivitas di aliran permeat.

Pada variabel suhu, konsentrasi rententat tertinggi dan konsentrasi permeat terendah terjadi pada suhu 130°C dengan nilai masing – masing 62% dan 5%. Volume rententat tertinggi dan volume permeat tertinggi terjadi pada suhu 130°C dengan nilai masing – masing 202mL dan 679mL. Untuk nilai fluks tertinggi diperoleh di suhu 130°C pada menit ke 90. Nilai fluks yang diperoleh tersebut adalah 0,0011 kg/m<sup>2</sup>.menit. Lalu nilai selektivitas terbesar terjadi pada suhu 130°C yaitu 1,07 dan nilai selektivitas terkecil terjadi pada suhu 110°C yaitu 0,79. Sedangkan pada variabel tekanan tangki destilasi, konsentrasi rententat tertinggi dan konsentrasi permeat terendah terjadi pada tekanan 1½ bar dengan nilai masing – masing 66% dan 3%. Volume rententat tertinggi dan volume permeat tertinggi terjadi pada

tekanan 1½ bar dengan nilai masing – masing 180mL dan 1062mL. Untuk nilai fluks tertinggi diperoleh di tekanan 1½ bar pada menit ke 180. Nilai fluks yang diperoleh tersebut adalah 0,0016 kg/m<sup>2</sup>.menit. Lalu nilai selektivitas terbesar terjadi pada tekanan 1½ bar yaitu 1,09 dan nilai selektivitas terkecil terjadi pada tekanan ½ bar yaitu 0,81.

## **5 Ucapan Terima Kasik**

Penulis mengucapkan terima kasih kepada DIKTI atas dana riset Hibah Kompetensi nomor kontrak SK 3687 /H2.R12/HKP.05.00 Perjanjian/2012.

## **6 Daftar Pustaka**

- Haelssig, J. B., Tremblay, A. Y., Thibault, J., Huang, Xian-Meng. 2011. “*Membrane Dephlegmation: A hybrid membrane separation process for efficient ethanol recovery*”. Department of Chemical and Biological Engineering, University of Ottawa, 492-495.
- Gomez, D. P., Klein, A., Repke, J.U., Wozny, G. (2008). “*A new energy-integrated pervaporation distillation approach*”, *Desalination* 224, 28–33.
- Fontalvo, J. A. (2006). “*Design and performance of two-phase flow pervaporation and hybrid distillation process*”. Technische Universiteit Eindhoven, The Netherlands: JWLB boekproducties, 219-225.
- Jansen, A. E., Versteeg, W. F., van Engelenburg, B., and Hanemaijer, J. H. (1992). “*Methods to improve flux during alcohol/water azeotrope separation by vapor permeation*”. *Journal Membrane Sci.*, 68 (1992) 229-239.