

PEMISAHAN ETANOL-AIR DENGAN *VACUUM MEMBRAN DISTILATION* (VMD) MENGGUNAKAN MEMBRAN PTFE

Sofia Wahyu Ersa Nugrahani, Rizqi Tri Rachmawati, Bambang Poerwadi, dan Vivi Nurhadianty

Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya

Jl. MT.Haryono No.167, Malang, 65145,Telp :(0341) 587710 ext : 1333, Fax: (0341)574140

Email: sofiersa@gmail.com, risqitrirachma@gmail.com

Abstrak

Etanol merupakan produk dari proses fermentasi biomassa yang memiliki kegunaan sebagai bahan pelarut atau bahan bakar pengganti. Etanol yang digunakan sebagai pelarut atau bahan bakar pengganti memerlukan konsentrasi yang lebih tinggi, untuk meningkatkan konsentrasi etanol dapat menggunakan proses distilasi namun proses pemisahan menggunakan distilasi membutuhkan banyak energi. Salah satu alternatif proses pemisahan adalah pemisahan dengan menggunakan membran. Pada penelitian ini dilakukan proses pemisahan etanol-air menggunakan salah satu jenis operasi membran distilasi yaitu *Vacuum membrane distillation* (VMD). *Vacuum membrane distillation* (VMD) mengaplikasikan tekanan rendah (vakum) pada sisi permeal membran. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh temperatur umpan pada operasi *vacuum membrane distillation* (VMD) etanol-air menggunakan membran PTFE sebagai upaya untuk meningkatkan konsentrasi etanol. Variasi temperatur umpan yang digunakan yaitu 45, 55, 65, dan 75 °C. Larutan etanol-air yang digunakan sebagai umpan mempunyai laju alir sebesar 6,6 ml/menit dan konsentrasi etanol sebesar 8% w/w. *Vacuum membrane distillation* (VMD) dioperasikan selama 90 menit dan tekanan vakum pada sisi permeal dijaga konstan sebesar 95-97 Kpa. Kemampuan *Vacuum membrane distillation* (VMD) diamati dari segi kinerja membran yaitu fluks dan selektivitas, serta peningkatan konsentrasi etanol pada permeal. Pengujian konsentrasi umpan dan permeal menggunakan alat uji refraktometer (ATAGO PAL-34S). Hasil proses *Vacuum membrane distillation* (VMD) menunjukkan semakin tinggi temperatur umpan yang digunakan yaitu temperatur 55, 65, dan 75 °C, maka fluks akan meningkat secara linier dan selektivitas meningkat mendekati konstan jika dibandingkan pada temperatur umpan 45°C. Range temperatur umpan 50-55°C memiliki peningkatan persentase kenaikan konsentrasi etanol yang lebih signifikan jika dibandingkan dengan range temperatur umpan 55°C-65°C dan 65°C-75°C.

Kata kunci: ethanol, air, pemisahan etanol-air, membran distilasi, *vacuum membrane distillation* (VMD)

Summary

Ethanol is a product of biomass fermentation that used for solvent and alternative energy sources. Ethanol with high concentration is needed for solvent and alternative energy sources. Distillation is a process that can increase ethanol concentration, but distillation process needs high energy. One of the alternative process to separation ethanol] is separation process using membrane. In this paper, we study the separation of ethanol-water solution using *Vacuum membrane distillation* (VMD). *Vacuum membrane distillation* (VMD) is operated in low pressure or vacuum in the permeate side. The objective of this paper is analyzing the effect of feed temperature in vacuum membrane distillation (VMD) process with PTFE membrane to increase ethanol concentration. The variable of this paper is feed temperature (45, 55, 65, and 75 °C). The flow rate of ethanol-water feed is 6.6 ml/min. The feed concentration of ethanol is 8% w/w. The process is operated in 90 minutes and the vacuum pressure in the permeate side is kept constant at 95-97 kPa. The performance parameter analysis in *vacuum membrane distillation* (VMD) are fluxes, selectivity, and the increase of ethanol concentration in permeate. The ethanol concentration of feed and permeate are analyzed by refractometer (ATAGO PAL-34S). The result in this study gives that the higher feed temperature (55°C, 65°C, and 75°C), the fluxes increase linearly and the selectivity increase to a constant compared to the feed temperature 45°C. The percentage of ethanol concentrations increasing at feed temperature range of 50-55 °C increases significantly compared to the feed temperature range of 55 °C-65 °C and 65 °C-75 °C.

Keywords: ethanol, water, ethanol-water separation, membrane distillation, *vacuum membrane distillation* (VMD)

PENDAHULUAN

Etanol merupakan salah satu jenis alkohol rantai tunggal dengan satu gugus hidroksil. Kegunaan utama etanol sebagai bahan pelarut, seperti pelarut resin, pelarut obat-obatan, pembersih, bahan utama kosmetik dan parfum, aditif bahan bakar, serta masih banyak kegunaan etanol lainnya. Etanol juga dapat menjadi bahan bakar pengganti yaitu sebagai bioetanol. Etanol dapat terbentuk dari fermentasi bermacam-macam biomassa, contohnya jagung dan tebu (Paniak, 2007).

Proses pemisahan etanol-air yang umum dilakukan dengan menggunakan distilasi berdasarkan perbedaan titik didih (Geankoplis, 1993). Proses distilasi sebagian besar membutuhkan banyak energi utamanya untuk bahan bakar yang dibutuhkan (Carmo & J.C., 2002). Sinaga, et.al (2011), melakukan penelitian pemisahan etanol-air menggunakan *continuous distillation* 4 tray dan menghasilkan distilat dengan konsentrasi etanol 40% w/w dari konsentrasi umpan mengandung etanol sebesar 10% w/w.

Salah satu alternatif proses pemisahan yang mulai banyak diminati oleh pihak industri adalah pemisahan dengan menggunakan membran. Membran distilasi merupakan salah satu proses pemisahan menggunakan membran yang telah lama digunakan. Prinsip membran distilasi yaitu pemanasan larutan umpan yang kontak langsung dengan salah satu sisi dari membran menyebabkan komponen volatil menguap melewati pori membran hidrofobik, sedangkan *driving force* dari membran distilasi sendiri berupa beda tekanan antara dua sisi pori membran (Mulder, 1996). Membran distilasi dapat dikategorikan sebagai proses pemisahan dengan biaya yang rendah dan dapat menghemat energi dibandingkan dengan proses pemisahan konvensional seperti distilasi dan *reverse osmosis* (RO) (Wei, dkk, 2014).

Vacuum membrane distillation (VMD) merupakan salah satu proses operasi membran distilasi yang mengaplikasikan tekanan rendah atau vakum pada sisi permeat menggunakan pompa vakum. VMD memiliki permeabilitas yang cukup tinggi dibandingkan proses operasi membran distilasi lainnya (Khayet & Takeshi, 2011). Membran polimer mikropori yang bersifat hidrofobik seperti *polyvinylidene fluoride* (PVDF), *polypropylene* (PP) dan *polytetrafluoroethylene* (PTFE) biasanya digunakan dalam proses membran distilasi (Wei, dkk, 2014). Izquierdo-Gil dan G (2003), melakukan penelitian menggunakan tiga jenis membran yang berbeda yaitu PTFE, PVDF, dan

PP. Dari penelitian tersebut didapatkan hasil bawah yang digunakan memiliki nilai fluks yang lebih tinggi dibandingkan PVDF dan PP. Operasi menggunakan membran distilasi (MD) sangat dipengaruhi oleh temperatur karena kenaikan temperatur akan meningkatkan tekanan uap yang dapat meningkatkan *driving force* antara sisi umpan dan sisi permeat (Drioli, dkk, 2008).

Sehingga, dalam penelitian ini akan dilakukan kajian pengaruh variasi temperatur umpan sebagai kondisi operasi untuk proses pemisahan etanol-air menggunakan proses *vacuum membrane distillation* (VMD) dengan membran polimer PTFE.

METODE PENELITIAN

Bahan Penelitian

Bahan baku utama yang digunakan antara lain membran PTFE (0,22 µm) tipe MLPT260022 supplier Starlab Scientific, China dengan karakteristik sesuai pada tabel 1, *Ethanol absolute for analysis* EMSURE® ACS,ISO,Reag. Ph Eur (Merck Millipore) 99%w/w supplier “CV. Dua Bintang”, dan akuades.

Alat Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas modul membran, pemanas membran, *heating mantle*, neraca analitik, tuas, refraktometer (ATAGO PAL-34S) dan seperangkat peralatan gelas.

Tabel 1. Karakteristik membran PTFE

Nama Membran	Hydrophobic PTFE Membrane Filter Roll
Tipe Membran	MLPT260022
Media Filtrasi	Hydrophobic PTFE
Ukuran Pori	0.22µm
Ketebalan	0.15mm-0.21mm

Rangkaian Alat Vacuum Membrane Distillation (VMD)

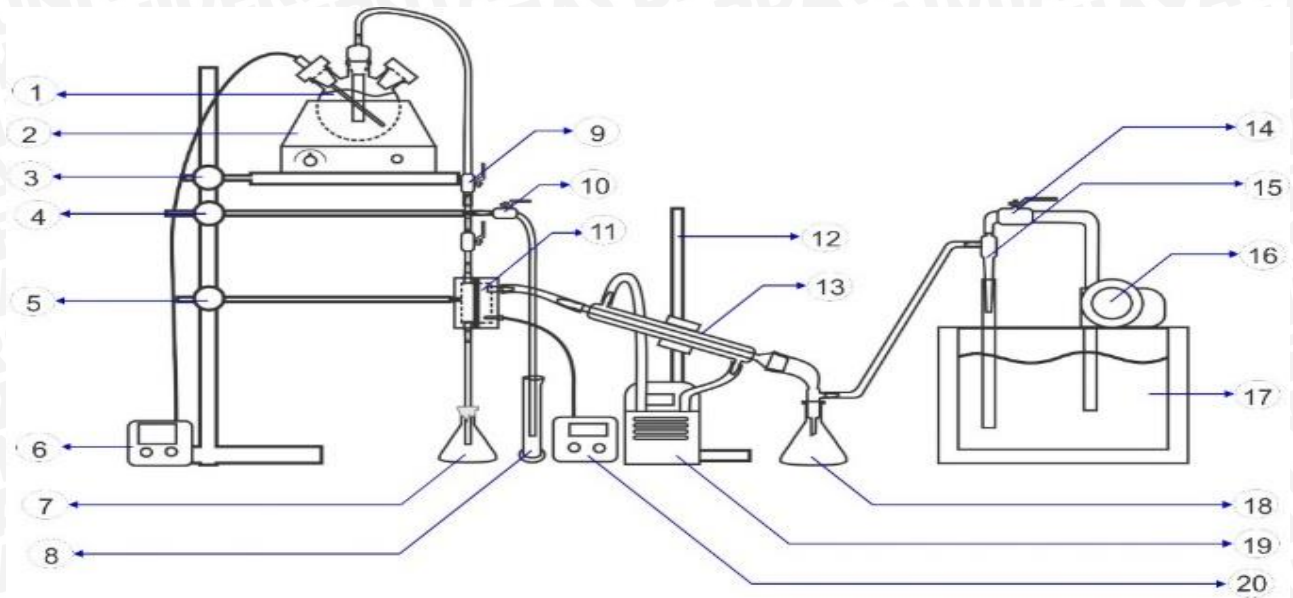
Rangkaian alat yang digunakan pada penelitian ini sesuai dengan gambar 1.

Rangkaian Modul Membran

Rangkaian modul membran yang digunakan pada penelitian ini sesuai dengan gambar 2.

Prosedur Penelitian

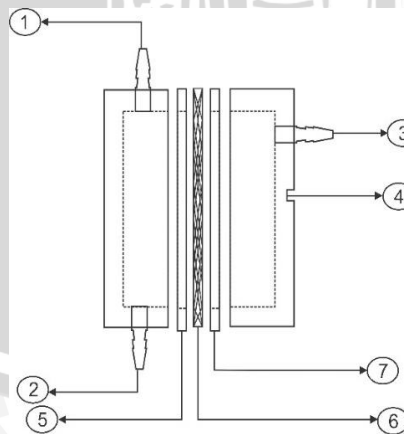
Proses *vacuum membrane distillation* (VMD) menggunakan membran PTFE untuk memisahkan larutan etanol-air.



Gambar 1 Rangkaian alat secara keseluruhan

Keterangan gambar 1 :

- | | |
|---|--|
| 1. Labu alas bulat leher tiga (penampung umpan) | 11. Modul membran |
| 2. <i>Heating mantle</i> | 12. Statif kondensor |
| 3. <i>Statif heating mantel</i> | 13. Kondensor liebig |
| 4. Statif katup | 14. Katup pengatur laju alir air |
| 5. Statif modul membrane | 15. <i>Water jet ejector</i> |
| 6. <i>Thermocontroller</i> larutan umpan | 16. Pompa sentrifugal |
| 7. Erlenmeyer retentat | 17. Tangki penampung air |
| 8. Gelas ukur pengukur laju alir | 18. Erlenmeyer permeat |
| 9. Katup pengatur laju umpan membrane | 19. <i>Chiller</i> |
| 10. Katup pengukur laju umpan | 20. <i>Thermocontroller</i> modul membrane |



Gambar 2. Konfigurasi modul membran

Keterangan gambar 2 :

- | | |
|---------------------------|-------------------------------|
| 1. Aliran umpan masuk | 4. Lubang <i>thermocouple</i> |
| 2. Aliran menuju retentat | 5. Membran PTFE |
| 3. Aliran menuju permeat | 6. Penyangga |
| | 7. Karet |

Larutan etanol-air yang digunakan sebagai umpan pada proses *Vacuum membrane distillation* (VMD) mempunyai konsentrasi etanol sebesar 8% w/w dan laju alir sebesar 6,6 ml/menit. *Vacuum membrane distillation* (VMD) dioperasikan selama 90 menit dan setiap 15 menit dilakukan pengukuran massa dan konsentrasi permeat. Tekanan vakum pada sisi permeat dijaga konstan sebesar 95-97 Kpa. Membran PTFE yang digunakan memiliki ukuran pori sebesar 0,22 μm . Variabel yang digunakan adalah variasi temperatur yaitu 45°C, 55°C, 65°C, dan 75°C.

Kinerja membran pada proses VMD dianalisa berdasarkan fluks dan selektivitas.

(a) Fluks membran (J)

Fluks membran dapat dihitung menggunakan rumus :

$$J = \frac{m}{A.t} \quad (2-1)$$

Dimana m adalah massa permeat, A adalah luas permukaan membran dan t adalah waktu operasi. Data massa permeat yang digunakan dalam perhitungan adalah pengukuran massa yang didapatkan setiap 15 meni (Mulder, 1996).

(b) Selektivitas (α)

Selektivitas membran didapatkan menggunakan data konsentrasi umpan dan konsentrasi permeat. Selektivitas dihitung menggunakan rumus :

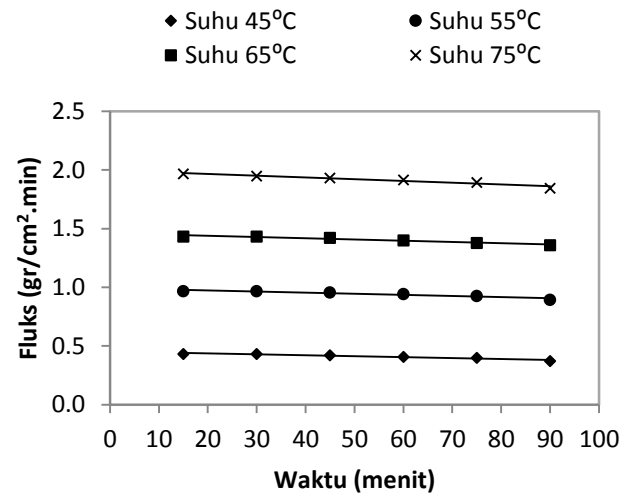
$$\alpha = \frac{y_A/y_B}{x_A/x_B} \quad (2-2)$$

Dimana x_A adalah konsentrasi zat terlarut pada umpan, x_B adalah konsentrasi pelarut pada umpan, y_A adalah konsentrasi zat terlarut pada permeat, dan y_B adalah konsentrasi pelarut pada permeat (Mulder, 1996).

Kenaikkan konsentrasi pada operasi *vacuum membrane distillation* (VMD) dianalisa dengan membandingkan hasil pengujian konsentrasi etanol pada umpan dengan konsentrasi etanol yang diuji menggunakan refraktometer (ATAGO PAL-34S).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Parameter utama yang memengaruhi proses *vacuum membrane distillation* (VMD) adalah kondisi operasi. Kondisi operasi yang dikaji dalam penelitian ini adalah pengaruh suhu umpan. Variasi suhu umpan dan rentang waktu pengoperasian berpengaruh terhadap fluks, selektivitas serta

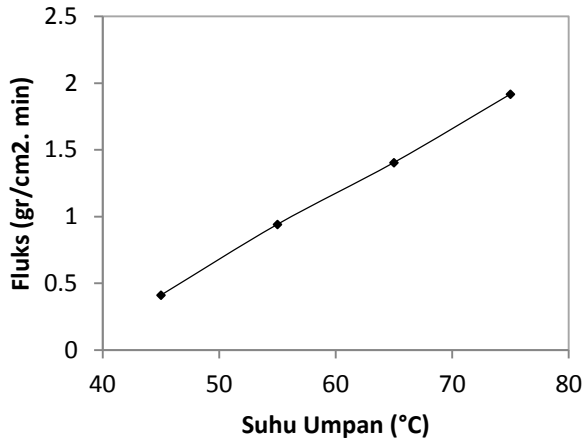


Gambar 3. Grafik pengaruh waktu terhadap fluks *Vacuum Membrane Distillation* (VMD) pada berbagai variasi suhu umpan

kenaikan konsentrasi yang dihasilkan dengan proses *vacuum membrane distillation* (VMD).

Pengaruh waktu terhadap fluks pada *vacuum membrane distillation* (VMD)

Grafik pada Gambar 3 menunjukkan pengaruh waktu terhadap fluks pada berbagai variasi temperatur umpan. Berdasarkan grafik pada Gambar 3 didapatkan bahwa fluks pada berbagai variasi temperatur umpan mengalami penurunan terhadap rentang waktu pengoperasian. Menurut Feliciano, dkk (2015), penurunan fluks disebabkan berkurangnya konsentrasi umpan dan mulai terjadinya fenomena polarisasi konsentrasi pada *boundary layer* yang akan menghambat transfer massa membran, dan menyebabkan penurunan fluks. Fenomena polarisasi konsentrasi menghambat transfer massa membran pada sisi umpan terjadi dalam fase cair, dimana larutan umpan panas yang kontak langsung dengan permukaan membran pada sisi umpan tidak dapat melewati pori membran karena sifat hidrofobik membran, sehingga hanya molekul uap yang bermigrasi dari sisi umpan ke sisi permeat. Sifat hidrofobik dari membran mikropori PTFE yang memiliki ukuran pori sebesar 0,22 μm dapat ditentukan dari besarnya sudut kontak air (*water contact angle, WCA*). Sudut kontak air yang terbentuk pada membran mikropori PTFE sebesar 103.36°. Sudut kontak tersebut mengindikasikan bahwa membran mikropori PTFE (0,22 μm) berifat hidrofobik. Membran mikropori PTFE (0,22 μm) yang digunakan sebagai *barrier* untuk memisahkan sisi umpan dan sisi permeat merupakan jenis polimer sederhana yang hanya tersusun oleh dua elemen yaitu



Gambar 4. Grafik pengaruh suhu umpam terhadap fluks *Vacuum Membrane Distillation* (VMD)

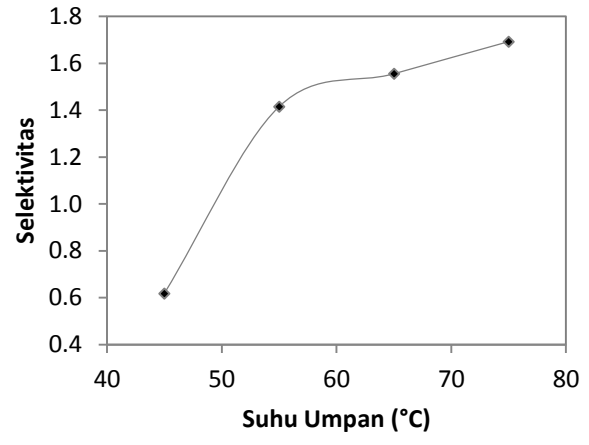
karbon dan fluorin. Ikatan antara C-C dan C-F memiliki ikatan yang kuat. Distribusi atom fluorin menyebabkan membran bersifat nonpolar, sedangkan air bersifat polar.

Pngaruh suhu umpam terhadap fluks pada *vacuum membrane distillation* (VMD)

Grafik pada Gambar 4 menunjukkan pengaruh temperatur umpam terhadap fluks. Didapatkan hasil bahwa semakin tinggi temperatur umpam yaitu temperatur 45, 55, 65, dan 75°C, maka fluks akan semakin meningkat secara linear.

Perbedaan fluks terhadap temperatur umpam disebabkan oleh tekanan uap campuran etanol-air pada berbagai variasi temperatur umpam. Kenaikkan temperatur larutan akan meningkatkan tekanan uap dari larutan tersebut, karena saat temperatur larutan umpam etanol-air dinaikkan, molekul-molekul etanol dan air akan mendapatkan tambahan energi panas yang dapat meningkatkan energi vibrasi molekul sehingga semakin banyak interaksi-interaksi antar molekul yang terputus. Interaksi antar molekul yang terputus pada permukaan larutan umpam memiliki cukup energi untuk lepas membentuk fasa uap.

Peningkatan temperatur umpam dari 45, 55, 65, dan 75 °C akan meningkatkan tekanan uap dari larutan umpam sehingga komponen uap yang terbentuk akan semakin meningkat. Meningkatnya komponen-komponen uap etanol dan air yang terbentuk akan meningkatkan penetrasi uap-uap memasuki pori membran sehingga lebih banyak molekul-molekul uap pada sisi permeat yang akan terkondensasi. Hal ini yang meyebabkan fluks meningkat dengan meningkatnya temperatur umpam.



Pengaruh suhu umpam terhadap selektifitas *vacuum membrane distillation* (VMD)

Proses *vacuum membran distillation* (VMD) merupakan salah satu jenis operasi membran distilasi dimana membran yang digunakan tidak terlibat secara langsung dalam pemisahan, peran membran hanya sebagai *barrier* untuk mengadakan *liquid-vapor interface*, dimana penguapan berlangsung.

Grafik pada Gambar 5 yaitu pengaruh temperatur umpam terhadap selektivitas menggunakan membran PTFE terlihat bahwa meningkatnya temperatur umpam dari 45°C hingga

Gambar 5. Grafik pengaruh suhu umpam terhadap selektivitas *Vacuum Membrane Distillation* (VMD)

55 °C selektivitas mengalami peningkatan yang signifikan dari 0,6 hingga menjadi 1,4, namun pada temperatur umpam dari 55, 65 hingga 75°C selektivitas mengalami peningkatan yang tidak signifikan atau mendekati konstan dari 1,4, 1,6 hingga menjadi 1,7 jika dibandingkan pada temperatur umpam dari 45°C hingga 55 °C. Menurut Wu, dkk (2006), selektivitas meningkat dan mendekati konstan pada temperatur yang lebih tinggi, karena peningkatan temperatur umpam, meningkatkan tekanan uap parsial kedua komponen sehingga *driving force* berupa perbedaan tekanan antara sisi umpam dan sisi permeat yang digunakan untuk melewati komponen uap meningkat.

Meningkatnya tekanan uap parsial air dan etanol akan meningkatkan tekanan uap campuran pada sisi umpam. Meningkatnya tekanan uap campuran pada sisi umpam menyebabkan meningkatnya perbedaan tekanan antara sisi umpam dan sisi permeat, dimana tekanan vakum yang

diterapkan pada sisi permeat sebesar 95-97 Kpa. Meningkatnya perbedaan tekanan antara sisi umpan dan sisi permeat menyebabkan *driving force* yang

perbedaan tekanan antara sisi umpan dan sisi permeat kecil, dimana tekanan vakum yang diterapkan pada sisi permeat sebesar 95-97 Kpa, sehingga belum cukup mampu untuk mendorong etanol melewati membran.

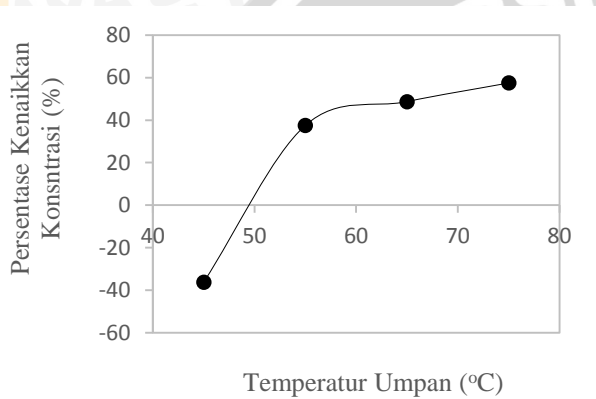
Pengaruh Temperatur Umpan pada Vacuum Membrane Distillation (VMD) terhadap Peningkatan Konsentrasi Etanol

Grafik pada Gambar 6 menunjukkan persentase kenaikan konsentrasi etanol dari konsentrasi awal 8% w/w pada temperatur umpan 45, 55, 65, dan 75 °C sebesar -36,25%, 37,5%, 48,8%, dan 57,7%. Persentase kenaikan konsentrasi etanol dari konsentrasi awal 8%w/w pada temperatur umpan 55, 65, dan 75 °C menunjukkan kenaikan yang tidak cukup besar serta pada temperatur 45 °C tidak mengalami kenaikan.

Menurut Lei, dkk (2005), pada proses *vacuum membrane distillation* (VMD), tekanan pada sisi permeat dipertahankan dibawah tekanan uap yang terbentuk pada sisi umpan. Tekanan vakum pada sisi permeat tersebut digunakan sebagai *driving force* antara sisi umpan dan sisi permeat. Selain itu menurut Wu, dkk (2005), tekanan vakum yang diterapkan pada sisi permeat dari membran dapat meningkatkan penguapan komponen volatil pada *liquid-vapor interface*. Namun pada penelitian ini, tekanan vakum yang diterapkan pada sisi permeat sebesar 95-97 Kpa belum dibawah tekanan uap yang terbentuk pada sisi umpan, sehingga *driving force* perbedaan tekanan antara sisi umpan dan sisi permeat untuk menyebabkan komponen uap mengalir melewati membran pada 45, 55, 65, dan 75°C masih relatif kecil. Hal ini menyebabkan persentase kenaikan konsentrasi etanol dari konsentrasi awal 8% w/w pada temperatur umpan 55, 65 dan 75°C tidak cukup besar serta pada temperatur 45 °C tidak mengalami kenaikan.

Grafik pada Gambar 6 menunjukkan bahwa range temperatur umpan 50°C-55°C, persentase kenaikan konsentrasi etanol mengalami peningkatan sebesar 40,00%. Pada range temperatur umpan 55°C-65°C, persentase kenaikan konsentrasi etanol mengalami peningkatan sebesar 11,30%. Pada range temperatur umpan 65°C-75°C, persentase kenaikan konsentrasi etanol mengalami peningkatan sebesar 8,90%. Berdasarkan penjelasan tersebut range temperatur umpan 50°C-55°C memiliki peningkatan persentase kenaikan konsentrasi yang lebih signifikan yaitu 40% jika dibandingkan dengan range temperatur umpan 55°C-65°C dan 65°C-75°C yang

Gambar 6. Grafik persentase kenaikan kosentrasi etanol dari kosentrasi awal 8% w/w



digunakan untuk melewati komponen air dan etanol melewati pori membran bertambah besar, sehingga transfer massa komponen air dan etanol melewati membran meningkat.

Air merupakan komponen utama pada larutan umpan, sehingga pada temperatur umpan yang lebih tinggi menyebabkan tekanan uap parsial air mengalami peningkatan yang lebih besar dibandingkan peningkatan tekanan uap parsial etanol. Hal ini menyebabkan gaya dorong air melewati membran bertambah besar dibandingkan dengan etanol, sehingga fluks air di permeat lebih meningkat dibandingkan fluks air pada temperatur yang lebih rendah. Meningkatnya fluks air ini, menyebabkan selektivitas pada temperatur umpan yang lebih tinggi mengalami peningkatan yang tidak signifikan atau mendekati konstan.

Grafik pada Gambar 5 menunjukkan selektivitas pada temperatur umpan 45°C memiliki nilai dibawah 1. Selektivitas kurang dari 1 mengindikasikan bahwa kandungan air lebih banyak pada bagian permeat. Hal ini disebabkan karena tekanan uap parsial etanol pada temperatur umpan 45°C sangat kecil yaitu sebesar 0,75 Kpa. Tekanan uap parsial etanol yang sangat kecil menyebabkan

hanya memiliki kenaikan sebesar 11,30% dan 8,90%.

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian ini maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Semakin tinggi temperatur umpan yang digunakan yaitu temperatur 55, 65, dan 75°C, maka fluks akan meningkat secara linier dan selektivitas meningkat mendekati konstan.
2. Semakin tinggi temperatur umpan yang digunakan yaitu temperatur 55, 65, dan 75°C, maka persentase kenaikan konsentrasi etanol dari konsentrasi umpan 8% w/w meningkat mendekati konstan. Pada temperatur umpan 45, 55, 65, dan 75°C persentase kenaikan konsentrasi etanol sebesar -36,25%, 37,50%, 48,75%, dan 57,75%. Range temperatur umpan 50-55°C memiliki peningkatan persentase kenaikan konsentrasi etanol yang lebih signifikan jika dibandingkan dengan range temperatur umpan 55°C-65°C dan 65°C-75°C.

DAFTAR PUSTAKA

AlHathal, A., Adel O., S., Mohammed, S., & Abdul, R. K. (2013). *Potential Of Membrane Distillation-A Comprehensive Review. International Journal Of Water, Vol.7, No.4*, 316-346.

Bakhshi, A., Toraj, M., Omid, G. N., & Abdolreza, A. (2006). *Effect Of Operating Conditions On Pervaporation Of Methanol-Water Mixtures:Part 2. Journal Membrane Technology*, 7-11.

Carmo, M., & J.C., G. (2002). *Ethanol-Water Separation in the PSA Process. Journal Absorption 8, Kluwer Academic Publishers*, 235-248.

Drioli, E., Alessandra, C., & Louis, P. M. (2008). *Membrane Distillation. Journal of Membrane Processes, Vol.2*, 1-10.

Izquierdo-Gil, M., & G., J. (2003). *Factors Affecting Flux and Separation Performance in Vacuum Membrane Distillation (VMD). Journal of Membrane Science 214, Elsevier*, 113-130.

Khayet, M., & Takeshi, M. (2011). *Membrane Distillation Principles and Applications*. USA: Elsevier.

Paniak, P. P. (2007). *A Comprehensive Guide to The Hazardous Properties of Chemical Substances Third Edition*. Mahanttam: John Wiley & Sons, Inc.

Raysendi, A. R., Sri, N., & Anton, M. (2015). *Efektivitas Penggunaan Bioetanol Sari Buah Semu Jambu Mete (Anacardium occidentale L.) Terhadap Lama Pembakaran Kompor Bioetanol. Jurnal Sains dan Seni ITS, Vol.4, No.1*, 2337-3520.

Sinaga, C., Annisa, D., & Nonot, S. (n.d.). *Optimalisasi Rasio Refluks dan Penggunaan Energi dalam Proses Distilasi Campuran Ethanol-AIR*.

Wei, P., Li-Hua, C., Lin, Z., Xin-Hua, X., Huan-lin, C., & Cong-jie, C. (2014). *A Riview of Membrane Technology for Bioethanol Production. Journal of Renewable and Sustainable Energy Reviews 30, Elsevier*, 388-400.

Wu, B., Xiaoyao, T., K., L., & W.K., T. (2006). *Removal of 1,1,1-Trichloroethane from Water Using A Polyvinylidene Fluoride Hollow Fiber Membrane Module: Vacuum Membrane Distillation Operation. Journal Separation and Purification Technology, Elsevier*, 301-309.

