

KAJIAN AWAL KEEKONOMISAN PENGGUNAAN *DIVIDING-WALL* PADA DISTILASI EKSTRAKTIF

Henry Saputra, Matthew Setiadi, Yansen Hartanto*, Herry Santoso
Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Katolik Parahyangan
Jalan Ciumbuleuit No. 94 Bandung 40141
*Email: yansen_hartanto@unpar.ac.id

Abstrak

Penggunaan *dividing-wall* pada distilasi ekstraktif tidak selalu efektif dalam segi ekonomi. Tujuan dari penelitian ini adalah melakukan evaluasi dan membandingkan keekonomisan proses pada distilasi ekstraktif kolom konvensional dan *extractive dividing wall column* (EDWC) serta melakukan identifikasi faktor yang mempengaruhi keekonomisan penggunaan *dividing-wall* pada distilasi ekstraktif. Pada penelitian ini dilakukan simulasi 3 campuran azeotrop yaitu campuran etanol-air, aseton-metanol, dan Tetrahidrofuran (THF)-etanol menggunakan perangkat lunak Aspen Plus. Model kolom distilasi yang digunakan adalah RadFrac. Simulasi kolom konvensional dan EDWC yang telah dibuat selanjutnya akan diperhitungkan biaya alat, biaya energi, dan *Total Annual Cost* (TAC). Pada penelitian ini diperoleh hasil bahwa pada campuran aseton-metanol TAC yang dihemat sebesar 9,6%, sedangkan pada campuran etanol-air biaya TAC naik sebesar 4,1% dan pada campuran THF-etanol biaya naik sebesar 16,63%. Dari hasil penelitian ini didapat bahwa faktor utama yang menyebabkan penggunaan *dividing-wall* menjadi efektif yaitu dalam hal penggunaan jenis kukus.

Kata Kunci: Distilasi, *Dividing-wall*, Ekstraktif, EDWC, TAC

Abstract

The used of dividing wall in extractive distillation was not always economically effective. The purpose of this study was to evaluate and compare the economics of process in conventional column and extractive dividing wall column and identified the factors that influence the effectiveness of using dividing wall in extractive distillation. In this study, a simulation of 3 azeotropic mixtures selected based on their effectiveness in saving cost. That 3 azeotrope mixtures are ethanol-water, acetone-water and Tetrahydrofuran (THF)-ethanol. Aspen Plus was used as software for simulation. The column model used was RadFrac. Conventional column and extractive dividing wall column simulation that have been made will be calculated their capital cost, energy cost and Total Annual Cost (TAC). In this study, the result showed that TAC for acetone-methanol was saved by 9,6% meanwhile TAC for ethanol-water was wasted by 4,1% and TAC for THF-ethanol was wasted by 16,63%. From the result of this study it was found the main factor that used of dividing-wall column were effective was from the used of steam types.

Keywords: Distillation, *Dividing-wall*, Extractive, EDWC, TAC

1. PENDAHULUAN

Sebagian besar proses pemisahan suatu campuran pada industri kimia menggunakan distilasi sebagai proses pemisahan karena distilasi tidak membutuhkan komponen tambahan untuk memisahkan suatu campuran. Namun distilasi memiliki kekurangan yaitu tidak dapat memisahkan campuran azeotrop. Salah satu cara untuk memisahkan campuran azeotrop yaitu menggunakan modifikasi dari distilasi yaitu distilasi ekstraktif. Distilasi ekstraktif menggunakan prinsip penambahan suatu *entrainer* untuk meningkatkan relatif volatilitas suatu campuran sehingga mudah dipisahkan (Zhang, 2014). Namun penggunaan distilasi ekstraktif ini menghasilkan biaya yang cukup tinggi oleh sebab itu terdapat modifikasi berupa penambahan sekat pada distilasi ekstraktif dimana terjadi pengurangan unit *reboiler* yang dinamakan *extractive dividing-wall column*.

Konfigurasi *extractive dividing-wall column* itu sendiri berawal dari prinsip awal distilasi ekstraktif yaitu prinsip *direct sequence* dimana komponen yang paling mudah dipisahkan akan dipisah pertama kali sebagai produk atas kolom pertama. Selanjutnya terdapat modifikasi yang bernama *thermal coupling direct sequence* dimana *reboiler* pada kolom pertama diganti dengan unit *thermal couple*. Modifikasi *thermal coupling* ini dapat disusun lebih lanjut menjadi *side rectifier arrangement* dimana bagian *stripping* kolom kedua dipindahkan ke kolom pertama untuk mengurangi biaya energi. Dua kolom pada konfigurasi *side rectifier* ini dapat dijadikan 1 kolom dengan adanya sekat bagian atas yang memisahkannya yang dinamakan konfigurasi *extractive dividing wall column* (Smith, 2005).

Penggunaan *dividing-wall* pada EDWC umumnya bisa mengurangi biaya yang diperlukan. Tetapi 1 buah kolom EDWC hanya memiliki 1 buah *reboiler* sehingga hanya mampu menggunakan 1 jenis pemanas sedangkan pada konfigurasi konvensional terdiri dari 2 *reboiler* yang dapat menggunakan 2 jenis pemanas misalnya *HP steam* dan *LP steam*.

Penelitian ini akan mengkaji keefektifan EDWC dilihat dari segi ekonomis untuk tiga jenis campuran azeotrop yaitu aseton-metanol, etanol-air, dan THF-etanol. Biaya alat, biaya energi, dan *Total Annual Cost* (TAC) masing-masing campuran akan diperhitungkan. Dari perbandingan tersebut akan diperoleh suatu kesimpulan tentang faktor apa yang mempengaruhi keefektifan penggunaan *dividing-wall* pada distilasi ekstraktif.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dimulai dari validasi kolom konvensional dan desain EDWC yang dilanjutkan dengan analisis ekonomi.

2.1 Validasi Model Kolom Konvensional

Penelitian diawali dengan melakukan simulasi kolom konvensional ketiga campuran pada *software Aspen Plus* menggunakan data literatur. Hasil simulasi yang telah dibuat akan dibandingkan dengan literatur. Hasil simulasi dikatakan valid jika hasil simulasi menyerupai literatur. Setelah valid simulasi dapat diolah lebih lanjut untuk mendapatkan biaya kapital, biaya energi, dan TAC. Data yang digunakan untuk validasi ketiga campuran azeotrop disajikan dalam Tabel 1 s.d. 6 berikut.

Tabel 1. Data Literatur Etanol-Air (Tututi-Avilla, 2014)

Variabel Desain	Hasil
Jumlah tahap kolom 1	17
Jumlah tahap kolom 2	19
Letak umpan masuk	11
Letak <i>entrainer</i> masuk	4
Beban kondensor 1 (kW)	685,04
Beban kondensor 2 (kW)	140,14
Beban <i>reboiler</i> 1 (kW)	907,57
Beban <i>reboiler</i> 2 (kW)	230,06
Rasio refluks 1	0,64
Rasio refluks 2	0,81

Tabel 2. Spesifikasi Umpan (Tututi-Avilla, 2014)

Variabel	Hasil
Laju alir etanol, kmol/jam	38,1024
Laju alir air, kmol/jam	7,2576
Laju alir EG, kmol/jam	69,6045
Komposisi etanol, %mol	84
Komposisi air, %mol	16
Temperatur, °K	351
Tekanan, atm	1

Tabel 3. Data Literatur Aseton-Metanol (Wu, 2013)

Variabel Desain	Kolom Reaktif
Jumlah tahap kolom 1	57
Jumlah tahap kolom 2	26
Letak umpan masuk	40
Letak <i>entrainer</i> masuk	25
Beban kondensor 1 (kW)	9615,3
Beban kondensor 2 (kW)	6893,57
Beban <i>reboiler</i> 1 (kW)	10925,60
Beban <i>reboiler</i> 2 (kW)	7113,07
Rasio <i>reflux</i> 1	3,32
Rasio <i>reflux</i> 2	1,604

Tabel 4. Spesifikasi Umpan Aseton-Metanol (Wu, 2013)

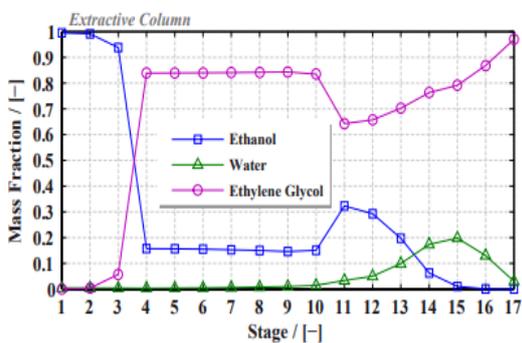
Variabel	Hasil
Laju alir umpan, kmol/jam	540
Komposisi aseton, %mol	50
Komposisi metanol, %mol	50
Temperatur, °C	46,85
Tekanan, atm	1

Tabel 5. Data THF-Etanol (Litya, dkk. 2018)

Variabel Desain	Hasil
Jumlah tahap kolom 1	75
Jumlah tahap kolom 2	10
Letak umpan masuk	55
Letak entrainer masuk	3
Beban kondensor 1	1580,34
Beban kondensor 2	575,838
Beban <i>reboiler</i> 1	1993,82
Beban <i>reboiler</i> 2	1353,51
Rasio refluks 1	2,65
Rasio refluks 2	0,1

Tabel 6. Umpan THF-Etanol (Litya dkk. 2018)

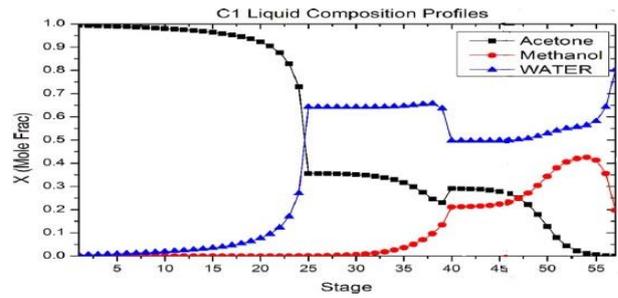
Variabel	Hasil
Laju alir umpan, kmol/jam	100
Komposisi THF, %mol	50
Komposisi etanol, %mol	50
Temperatur, °K	320
Tekanan, atm	1



Gambar 1. Profil Komposisi Etanol-Air (Tututi-Avilla, 2014)

Profil komposisi sepanjang kolom hasil simulasi akan dibandingkan dengan literatur. Jika grafik menyerupai hasil simulasi maka dapat dikatakan sudah valid. Pada literatur campuran THF-etanol tidak terdapat profil komposisi oleh sebab itu tolak ukur validitas pada campuran THF-etanol mengacu pada

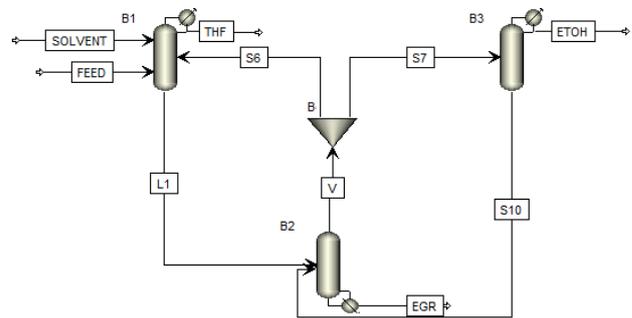
kemurnian yang diperoleh. Profil komposisi fase cair sepanjang kolom disajikan dalam Gambar 1 s.d. 2.



Gambar 2. Profil Komposisi Aseton-Metanol (Wu, 2013)

2.2 Desain EDWC

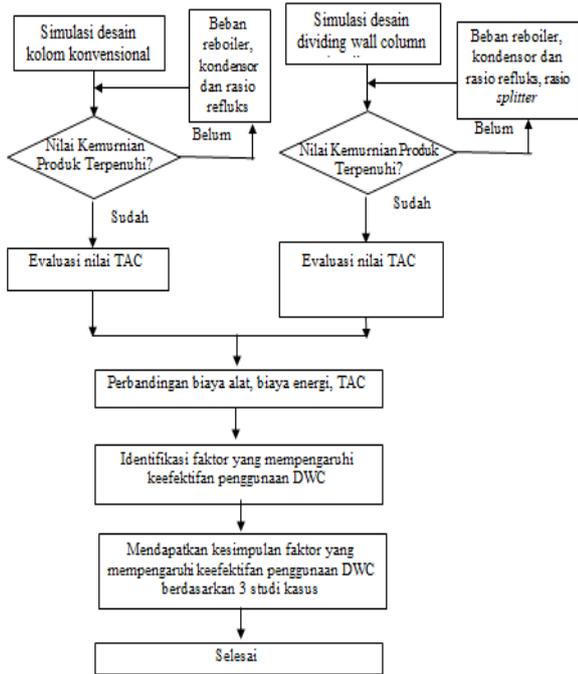
Setelah melakukan simulasi kolom konvensional dilanjutkan dengan melakukan simulasi EDWC. Diagram aliran EDWC yang akan dibuat tersaji pada Gambar 3.



Gambar 3. Flowsheet EDWC

Pada simulator Aspen Plus belum tersedia model konfigurasi kolom EDWC sehingga simulasi EDWC yang akan dibuat menggunakan model 3 kolom dan tambahan sebuah unit *splitter* untuk membagi fase uap yang berada pada kolom 3 ke kolom 1 dan kolom 2 sesuai rasio yang digunakan.

Setelah melakukan simulasi kolom konvensional dan EDWC, data yang diperoleh akan diolah lebih lanjut untuk mendapatkan biaya kapital, biaya energi, dan TAC. Biaya kapital tersusun dari biaya kolom, biaya *cooler*, biaya kondensor, dan biaya *reboiler*. Biaya energi tersusun dari harga jenis *steam* per satuan energi. TAC tersusun dari biaya kapital dan biaya energi. Persamaan yang digunakan untuk menghitung nilai TAC menggunakan persamaan yang dipaparkan oleh Luyben (2010). Metodologi penelitian ini disajikan dalam Gambar 4 berikut ini.



Gambar 4. Metodologi Penelitian

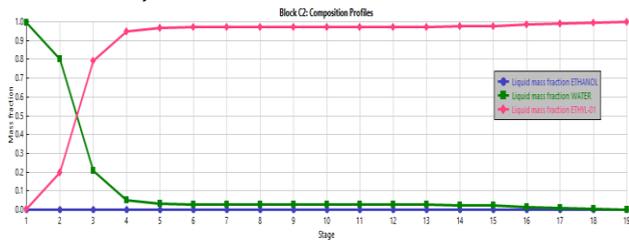
Total Annual Cost (TAC) dihitung berdasarkan persamaan yang dipaparkan oleh Luyben (2010).

$$TAC = \text{biaya energi} + \frac{\text{biaya peralatan}}{\text{Pay Back Period}} \quad (1)$$

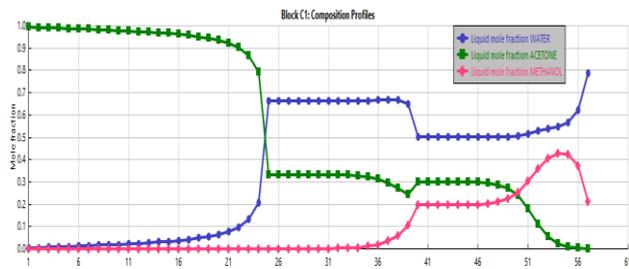
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Validasi Model

Hasil simulasi berupa profil komposisi sepanjang kolom disajikan dalam Gambar 5 dan Gambar 6.



Gambar 5. Profil Komposisi Campuran Etanol-Air



Gambar 6. Profil Komposisi Campuran Aseton-Metanol

Gambar 1 dan Gambar 5 memiliki bentuk kurva yang serupa sehingga hasil simulasi dapat dikatakan sudah valid. Sama halnya dengan campuran aseton-metanol. Gambar 2 dan Gambar 6 juga memiliki grafik yang serupa oleh karena itu simulasi untuk campuran aseton-metanol sudah valid. Kedua hasil ini memiliki persen kesalahan di bawah 10%.

Untuk validasi campuran THF-etanol menggunakan pendekatan kemurnian. Jika kemurnian produk mendekati dengan literatur, maka hasil simulasi dapat dikatakan valid. Perbandingan kemurnian untuk THF-etanol disajikan dalam Tabel 5.

Tabel 7. Perbandingan Kemurnian pada THF-Etanol

Kemurnian (%-mol)	Penelitian Ini	Penelitian Litya dkk. (2018)
THF	99,7	99,9
Etanol	99,7	99,9
Etilen-glycol	99,9	100

Dari Tabel 7 terlihat bahwa untuk sistem THF-etanol sudah valid karena kemurniannya telah mendekati dengan hasil yang diperoleh literatur. Adanya sedikit perbedaan diakibatkan adanya perbedaan versi dari simulator yang digunakan.

3.2 Desain EDWC

Dari konfigurasi distilasi ekstraktif konvensional yang terdiri dari 2 kolom diubah menjadi EDWC yang hanya terdiri dari 1 kolom distilasi. Desain EDWC menggunakan heuristik yang dipaparkan oleh Kiss (2013). Target dari EDWC ini yaitu kemurnian produk yang dihasilkan harus sama dengan kemurnian yang dihasilkan dari distilasi ekstraktif konvensional. Hasil desain EDWC disajikan dalam Tabel 8 s.d. Tabel 10.

Tabel 8. Hasil EDWC untuk Etanol-Air

Parameter	Nilai
Beban reboiler (kW)	1.064,82
Beban kondensor (kW)	676,80
Kemurnian etanol (%)	99,5
Kemurnian air (%)	99,5
Kemurnian EG (%)	99,9

Tabel 9. Hasil EDWC untuk Aseton-Metanol

Parameter	Nilai
Beban reboiler (kW)	16.095,3
Beban kondensor (kW)	14.640,6
Kemurnian aseton (%)	99,5
Kemurnian metanol (%)	99,5
Kemurnian Air (%)	99,9

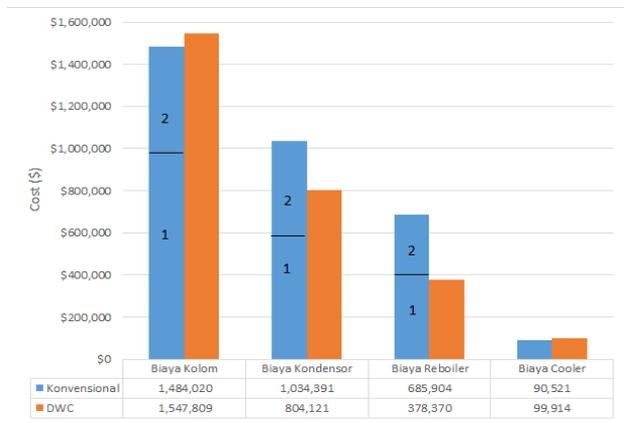
Tabel 10. Hasil EDWC untuk THF-Etanol

Parameter	Nilai
Beban <i>reboiler</i> (kW)	3.461,63
Beban kondensor (kW)	2.266,44
Kemurnian THF (%)	99,7
Kemurnian etanol (%)	99,7
Kemurnian etilen-glikol (%)	99,9

Dari Tabel 6 s.d. Tabel 8 terlihat bahwa kemurnian produk pada EDWC sudah mencapai kemurnian yang dihasilkan pada distilasi ekstraktif konvensional. Karena itu penelitian dilanjutkan ke tahap selanjutnya yaitu analisis ekonomi.

3.3 Analisis Ekonomi

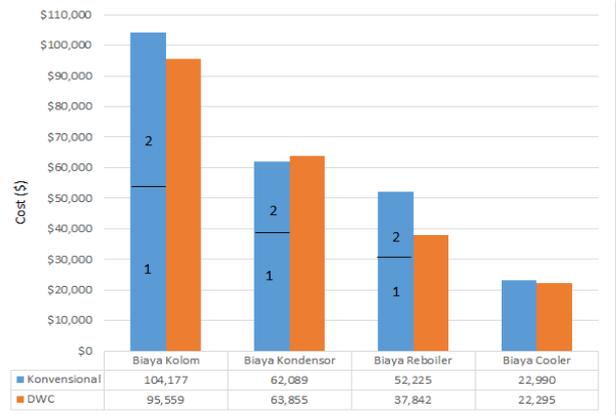
Analisis ekonomi dilakukan dengan menghitung biaya kapital, biaya energi, dan TAC untuk distilasi ekstraktif konvensional dan EDWC. Pada Gambar 7 disajikan biaya kapital untuk campuran aseton-metanol. Biaya kolom untuk EDWC lebih besar dibandingkan dengan konvensional sedangkan biaya kondensor dan *reboiler* lebih rendah.



Gambar 7. Perbandingan Biaya Kapital pada Sistem Aseton-Metanol

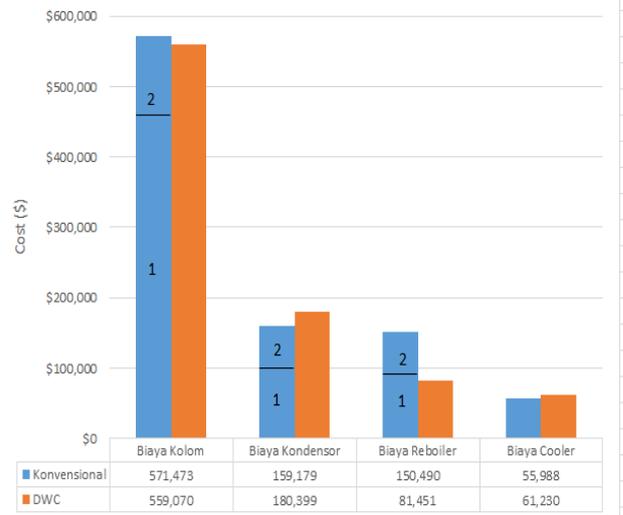
Faktor yang menyebabkan besarnya biaya kolom pada EDWC adalah dimensi kolom yang lebih besar dibandingkan dengan kolom pada konfigurasi konvensional.

Untuk campuran etanol-air, EDWC justru dapat menghemat biaya kolom sekitar 8%. Hal ini disebabkan oleh pembuatan EDWC yang memiliki dimensi kolom yang lebih kecil ketimbang dengan kolom konvensional. Selain itu, biaya *reboiler* serta *cooler* juga dapat dikurangi hingga 27% dan 3%. Namun, biaya kondensor pada EDWC mengalami kenaikan sekitar 2% yang disebabkan dari luas perpindahan panasnya lebih besar dibandingkan kolom konvensional. Hasil perhitungan biaya kapital untuk campuran etanol-air disajikan pada Gambar 8.



Gambar 8. Perbandingan Biaya Kapital pada Sistem Etanol-Air

Untuk biaya kapital pada campuran THF-etanol disajikan dalam Gambar 9 berikut ini.



Gambar 9. Perbandingan Biaya Kapital pada Sistem THF-Etanol.

Biaya kondensor pada EDWC meningkat sebesar 13%. Biaya *cooler* pada EDWC juga menambah biaya sekitar 9% sama seperti sistem campuran aseton-metanol. Namun, pemborosan biaya tersebut tidak berpengaruh secara signifikan terhadap biaya kapital. Pada campuran THF-etanol biaya total kolom 1 juga lebih tinggi dibandingkan kolom 2. Biaya alat kolom 1 pada campuran ini lebih tinggi dibandingkan kolom 2 karena pada kolom pertama memiliki jumlah tahap yang sangat tinggi dibandingkan kolom 2 yang akan mempengaruhi dimensi kolom tersebut. Namun, pada alat *reboiler* dan kondensor biaya kolom pertama sedikit lebih tinggi dibandingkan kolom kedua.

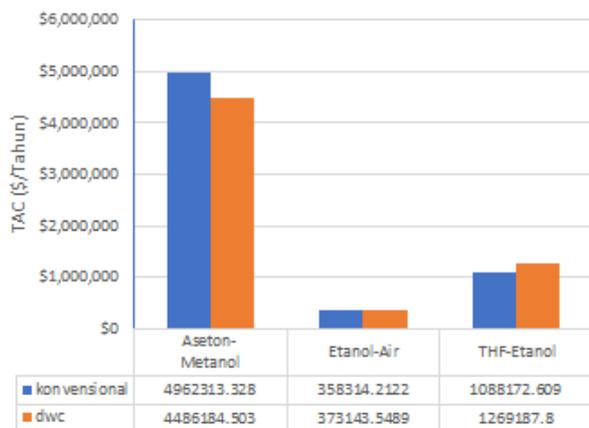
Perhitungan biaya energi ditentukan dari beban *reboiler* dan jenis *steam* yang digunakan. Perbandingan beban *reboiler* dan penggunaan jenis *steam* ketiga campuran disajikan dalam Gambar 10 berikut ini.



Gambar 10. Perbandingan Kebutuhan Energi

Penghematan beban *reboiler* EDWC pada sistem campuran aseton-metanol dan etanol-air berturut-turut adalah sebesar 8% dan 6,5%. Akan tetapi, pemborosan beban *reboiler* EDWC terjadi pada sistem campuran THF-etanol, yaitu sebesar 9%. Pada campuran aseton-metanol, kedua jenis konfigurasi dapat menggunakan *steam* yang sama yaitu *LP steam*. Sedangkan untuk campuran etanol-air dan THF-etanol membutuhkan jenis kukus yang lebih mahal untuk EDWC yaitu *HP steam*. Pemilihan jenis kukus ini didasarkan pada temperatur produk bawah kolom distilasi yang digunakan.

Biaya energi dan biaya kapital merupakan komponen penyusun TAC. Dengan menghitung nilai TAC pada ketiga sistem campuran, maka pengaruh EDWC terhadap keekonomisan proses dapat diketahui. Perbandingan TAC ketiga campuran terdapat pada Gambar 11.



Gambar 11. Perbandingan TAC EDWC dan Distilasi Ekstraktif Konvensional

Sistem campuran aseton-metanol dapat menghemat TAC pada EDWC sebesar 9,6%, sedangkan pada campuran etanol-air dan THF-etanol membutuhkan tambahan biaya sebesar 4,1%, dan

16,63%. Faktor utama yang mempengaruhi besarnya TAC, yaitu biaya energi yang terdiri dari jumlah dan jenis *steam* yang dibutuhkan. Penggunaan HP *steam* pada EDWC menjadi faktor penggunaan *dividing-wall* menjadi lebih mahal seperti terdapat pada campuran etanol-air dan THF-etanol.

4. KESIMPULAN

Pada sistem campuran aseton-metanol, penggunaan EDWC menjadi lebih ekonomis karena dapat mengurangi TAC sebesar 9,6%, beban reboiler sebesar 8,3%, biaya kapital sebesar 14,1%, dan biaya energi sebesar 8,3%.

Pada sistem campuran etanol-air, penggunaan EDWC menjadi kurang ekonomis karena dapat menambah TAC sebesar 4,1%, beban reboiler sebesar 6,5%, biaya kapital sebesar 9%, dan biaya energi sebesar 7,96%.

Pada sistem campuran THF-etanol, penggunaan EDWC juga kurang ekonomis karena dapat meningkatkan TAC sebesar 16,63 %, beban reboiler sebesar 9,5%, dan biaya energi sebesar 25,7%.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Christopher, J. dan Litya, N., 2018, Desain Dan Optimasi Distilasi Ekstraktif Dan Extractive Dividing Wall Column Pada Pemisahan Campuran Tetrahidrofur-Etanol.
- Kiss, A. A., 2013, *Advance Distillation Technologies : Design, Control and Applications 1ed*, John Wiley and Sons Ltd, Chicester.
- Luyben, W. L., 2013, *Distillation Design and Control Using Aspen Simulation*, John Wiley & Sons: New York.
- Luyben, W. L. dan Chien, I-L., 2010, *Design and Control of Distillation Systems for Separating Azeotropes*, John Wiley and Sons, Inc, New Jersey, Hoboken.
- Smith, R., 2005, *Chemical Process Design and Integration*, John Wiley and Sons Ltd, Chicester.
- Tututi-Avila, S., Jimenez-Guiterrez, A., dan Hahn, J., 2014, Control analysis of an extractive dividing-wall column used for ethanol dehydration, *Chemical Engineering and Processing*.
- Wu, Y. C., Hsu, P. H-C., dan Chien, I-L., 2014, Critical assessment of the energy-saving potential of an extractive dividing-wall column, *Industrial and Engineering Chemistry Research*, pp. 5384-5399.
- Zhang, H., Ye, Q., Qin, J., Xu, H., dan Li, N., 2014, Design and control of extractive dividing-wall column for separating ethyl acetate-isopropyl alcohol mixture, *Industrial and Engineering Chemistry Research*, pp. 1180-1205.