

Submitted : 7 April 2019

Revised : 1 Mei 2019

Accepted : 13 Mei 2019

REACTIVE DIVIDING WALL COLUMN (RDWC) PADA PRODUKSI DIETIL KARBONAT

Devina Affriani Reyga Riswandi¹, Michelle Tanujaya¹, Yansen Hartanto^{1*}, Herry Santoso¹

¹Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Katolik Parahyangan
Jalan Ciumbuleuit No. 94 Bandung 40141

*Email: yansen_hartanto@unpar.ac.id

Abstrak

Seiring dengan perkembangan zaman, kebutuhan akan bahan kimia semakin meningkat. Salah satunya adalah dietil karbonat melalui reaksi transesterifikasi dimetil karbonat. Namun untuk memproduksi dietil karbonat menggunakan distilasi konvensional dengan kemurnian yang tinggi dibutuhkan biaya yang terbilang mahal dan energi yang besar, sehingga diperlukan terobosan dan inovasi baru yaitu *Reactive Dividing Wall Column* (RDWC). Tujuan dari penelitian ini adalah membuat desain model dan optimasi RDWC. Pada penelitian ini digunakan software Aspen Plus. Model unit operasi yang digunakan adalah RadFrac. Model termodinamika yang digunakan adalah model UNIQUAC. Desain RDWC yang telah dibuat akan dilakukan optimasi secara bertahap dengan variabel-variabel optimasi, yaitu: jumlah tray reaktif, tinggi dinding, jumlah tray total, dan lokasi DMC masuk. Pada penelitian ini diperoleh hasil bahwa RDWC pada produksi dietil karbonat menghasilkan nilai *Total Annual Cost* (TAC) yang lebih rendah dibandingkan dengan metode konvensional. Nilai TAC optimum yang didapat adalah \$1.310.706,938/tahun. Desain RDWC untuk produksi dietil karbonat yang optimum mempunyai jumlah tahap reaktif sebanyak 24, tinggi dinding sebanyak 26, jumlah tahap total sebanyak 77 dan lokasi umpan dimetil karbonat pada tahap ke-71.

Kata Kunci: Distilasi, RDWC, Reaktif, TAC

Abstract

In this era, the demand for chemicals are increasing. One of them is an additive called diethyl carbonate that is produced by the transesterification reaction of dimethyl carbonate and ethanol. To produce diethyl carbonate by conventional distillation with high purity is expensive and requires a lot of energy, so that new breakthroughs and innovations are needed to overcome this problem. The new breakthrough and innovation proposed in this study is Reactive Dividing Wall Column (RDWC). The purpose of this study is to design an RDWC model and optimize the Reactive Dividing Wall Column. In this study, Aspen Plus software was used. The operating unit model used was RadFrac. The thermodynamic model used was the UNIQUAC model. The data was validated using the literature on reactive distillation. After validation, the data was used to design and optimize RDWC. Variables for optimization are: number of reactive trays, number of trays with a wall, total tray number and DMC feed location. The results showed that RDWC for the production of diethyl carbonate produced a lower value of TAC than conventional methods. The TAC value obtained was \$1,310,706,938/year. The Reactive Dividing Wall Column design for optimum diethyl carbonate production has a total number of 24 reactive stages, a total number of 26 wall stages, 77 total stages and dimethyl carbonate feed locations on the 71st stage.

Keywords: Distillation, RDWC, Reactive, TAC

1. PENDAHULUAN

Salah satu upaya untuk mengurangi emisi yang dihasilkan dari penggunaan bahan bakar adalah dengan penambahan zat aditif. Zat aditif akan menaikkan bilangan oktan dan dapat membuat pembakaran menjadi sempurna sehingga emisi gas CO dapat dikurangi. Zat aditif yang biasa digunakan pada bahan bakar minyak adalah *Tetra Ethyl Lead* (TEL) dan *Tetra Methyl Lead* (TML), namun TEL dan TML bersifat racun dan berbahaya karena didalamnya terkandung logam berat timbal (Pb). Karena itu dikembangkan zat aditif lain yang lebih aman, yaitu dietil karbonat (DEC). Penggunaan DEC sebesar 5%-berat dalam bahan bakar, dapat mengurangi materi partikulat dan emisi bahan bakar diesel sebesar 50%. Sehingga penggunaan DEC mempunyai potensi yang baik dalam aspek ekonomi dan lingkungan (Efransyah dkk., 2016).

Selain sebagai zat aditif, dietil karbonat juga banyak digunakan di bidang pertanian dalam produksi pupuk, industri percetakan, dan industri tekstil sebagai pelarut. Dietil karbonat juga merupakan senyawa yang ramah lingkungan. Produksi dietil karbonat dengan kemurnian yang tinggi melalui reaksi antara etanol dan dimetil karbonat (DMC), memerlukan rangkaian alat berupa reaktor dan dua kolom distilasi untuk memisahkan produk dengan reaktan yang keluar dari reaktor, seperti penelitian yang dilakukan oleh Wei dkk., (2011). Biaya dan energi yang dihasilkan dari proses tersebut cukup tinggi. Oleh karena itu dilakukan penelitian untuk menemukan alternatif lain untuk memproduksi dietil karbonat (Shukla dkk., 2016).

Penelitian mengenai penggunaan kolom RDWC dalam produksi dietil karbonat masih belum banyak diusulkan sehingga dilakukan penelitian mengenai produksi dietil karbonat dalam kolom RDWC. Diharapkan dengan penggunaan kolom RDWC, produksi dietil karbonat dapat lebih hemat. Desain kolom RDWC yang diusulkan memiliki dinding (*wall*) pada bagian bawah kolom, dengan produk bawah (*bottom*) berupa DEC murni dan etanol serta produk distilatnya berupa metanol. Desain RDWC yang telah dibuat kemudian disimulasikan pada simulator Aspen Plus, kemudian dilakukan optimasi bertahap pada desain kolom RDWC dengan *Total Annual Cost* (TAC) sebagai fungsi obyektifnya.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini terdiri dari 2 tahap, yaitu validasi model dan optimasi model RDWC.

2.1 Validasi Model

Penelitian diawali dengan membuat model distilasi reaktif pada Aspen Plus menggunakan data yang diberikan oleh Wei dkk., (2011). Hal ini dilakukan mengetahui apakah desain awal penelitian ini sudah valid sebelum penelitian dilanjutkan ke

tahap optimasi desain. Jika hasil penelitian ini sudah memberikan hasil yang sama dengan literatur maka penelitian bisa dilanjutkan ke tahap optimasi.

Data yang digunakan dalam pembuatan model distilasi ekstraktif ini disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Data Distilasi Ekstraktif (Wei dkk., 2011)

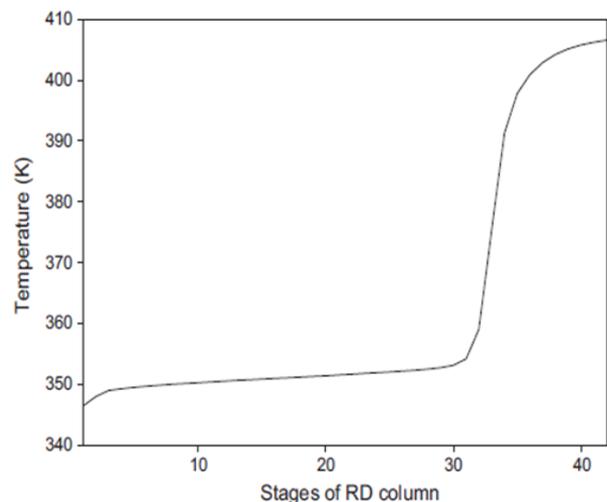
Variabel Desain	Kolom Reaktif
Jumlah Tahap	42
Lokasi etanol masuk	6
Lokasi DMC masuk	32
Rasio refluks	5,09
Kondensor	Total
Tekanan kolom (atm)	1
Laju distilat (kmol/h)	33,15

Spesifikasi umpan yang terdiri dari campuran etanol dan DMC disajikan dalam Tabel 2.

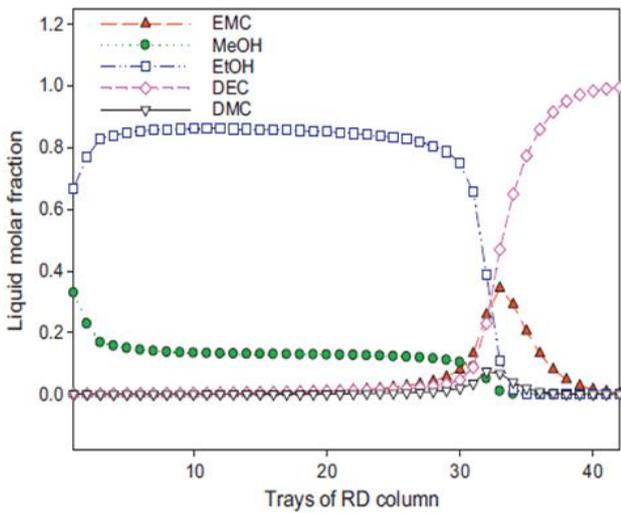
Tabel 2. Spesifikasi Umpan (Wei dkk., 2011)

Aliran	Etanol	DMC
Laju molar umpan, kmol/jam	10,95	5,5
Temperatur, °C	30	30
Tekanan, atm	1	1
Komposisi, fraksi mol		
Etanol	1	0
DMC	0	1

Profil temperatur dan komposisi sepanjang kolom digunakan sebagai data validasi seperti yang disajikan dalam Gambar 1 dan Gambar 2. Hasil simulasi awal ini diharapkan memberikan profil temperatur dan komposisi yang serupa dengan hasil literatur yang menandakan bahwa simulasi awal ini telah valid.



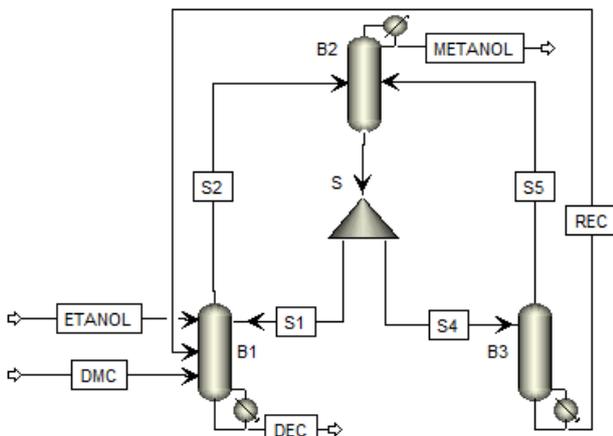
Gambar 1. Profil temperatur (Wei dkk., 2011)



Gambar 2. Profil komposisi (Wei dkk., 2011)

2.2 Desain dan Optimasi RDWC

Setelah model awal valid maka penelitian dilakukan dengan mendesain dan mengoptimasi RDWC berdasarkan data dari desain awal. Konfigurasi RDWC disajikan dalam Gambar 3.



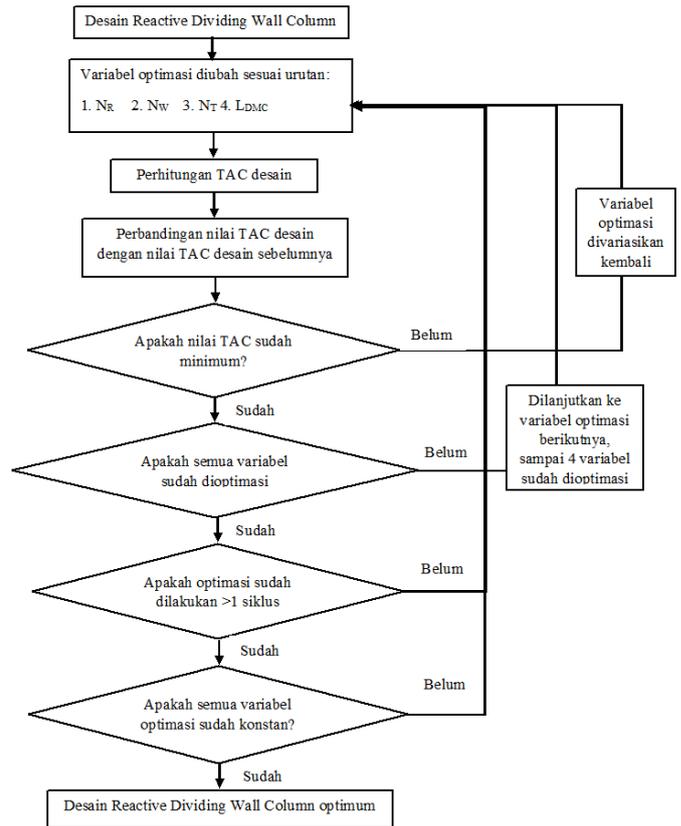
Gambar 3. Diagram aliran proses RDWC

Pada Aspen Plus belum tersedia model yang menggambarkan kolom RDWC sehingga pada penelitian ini dimodelkan menjadi 3 buah kolom distilasi. Kolom B2 menggambarkan bagian atas kolom sedangkan kolom B1 dan B3 menggambarkan bagian bawah kolom yang terpisah dengan adanya dinding (*wall*). Kolom B1 merupakan kolom distilasi reaktif dimana terjadi reaksi sekaligus pemisahan.

Pada penelitian ini terdapat 4 variabel desain yang digunakan dalam optimasi, yaitu jumlah tahap reaktif (N_R), tinggi dinding (N_W), jumlah tahap total (N_T), dan lokasi DMC masuk (L_{DMC}). Fungsi objektif yang diminimalkan yaitu *Total Annual Cost* (TAC) yang dihitung berdasarkan persamaan sebagai berikut (Luyben 2010).

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

Optimasi yang digunakan yaitu optimasi bertahap (*sequential optimization*) seperti yang dilakukan oleh Luyben (2010). Diagram alir optimasi disajikan dalam Gambar 4 berikut ini.

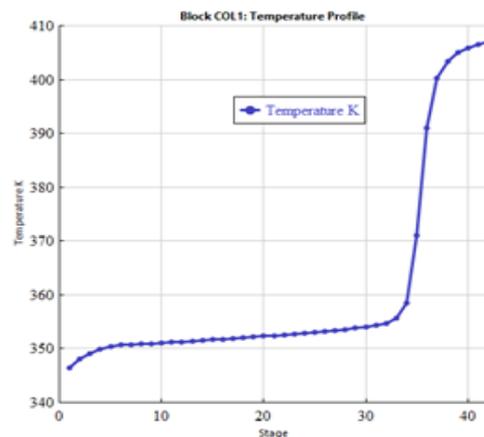


Gambar 4. Diagram alir optimasi bertahap

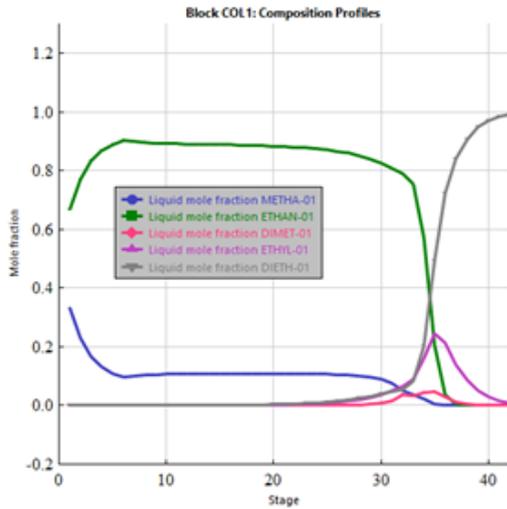
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Validasi Model

Profil temperatur dan komposisi sepanjang kolom distilasi hasil penelitian ini dibandingkan dengan hasil penelitian oleh Wei dkk., (2011) seperti disajikan dalam Gambar 1 dan Gambar 2. Profil temperatur dan komposisi pada penelitian ini disajikan dalam Gambar 4 dan Gambar 5.



Gambar 4. Profil temperatur pada kolom distilasi



Gambar 5. Profil komposisi pada kolom distilasi

Dari Gambar 4 dan Gambar 5 tersebut terlihat bahwa profil temperatur serta komposisi sudah mendekati hasil yang diperoleh Wei dkk., (2011). Oleh karena itu penelitian ini sudah bisa dilanjutkan ke penelitian selanjutnya yaitu desain dan optimasi RDWC.

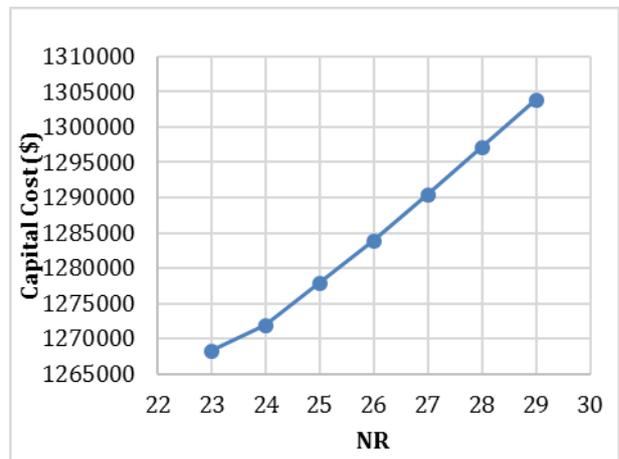
3.2 Desain dan Optimasi Desain

Desain awal RDWC menggunakan cara yang disampaikan oleh Kiss (2013). Hasil desain awal RDWC disajikan dalam Tabel 3.

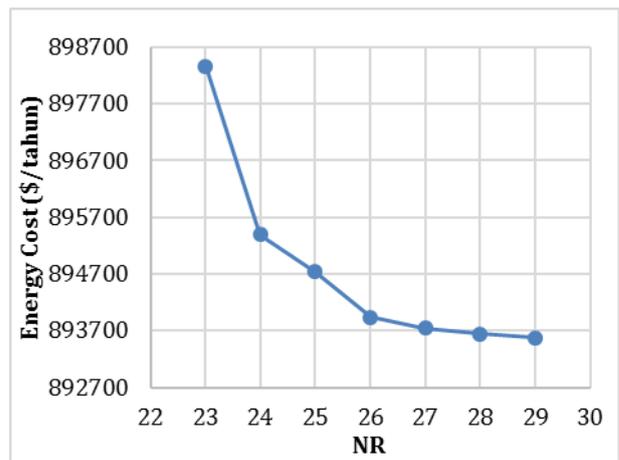
Tabel 3 Hasil Desain RDWC

Variabel	Nilai
Beban Kondensor	-3.135,5 kW
Beban Reboiler 1	2.232,8 kW
Beban Reboiler 2	939,25 kW
Jumlah Tray DWC	30
Jumlah Tray Bagian Atas	49
Kemurnian Etanol	0,999
Kemurnian DEC	0,999
Kemurnian Metanol	0,998
Jumlah Tahap Reaktif	30
Vapor Liquid Split	0,61

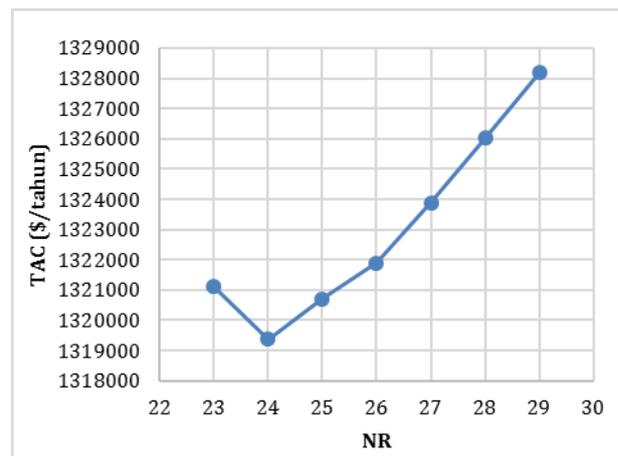
Dari desain awal RDWC tersebut dilakukan optimasi secara bertahap dengan fungsi objektif yaitu TAC. Pengaruh jumlah tahap reaktif (N_R) terhadap biaya disajikan dalam Gambar 6 sampai dengan Gambar 8.



Gambar 6. Pengaruh N_R terhadap biaya kapital

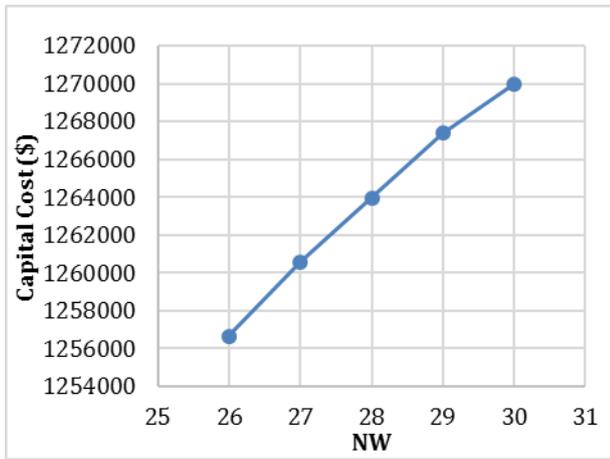


Gambar 7. Pengaruh N_R terhadap biaya energi

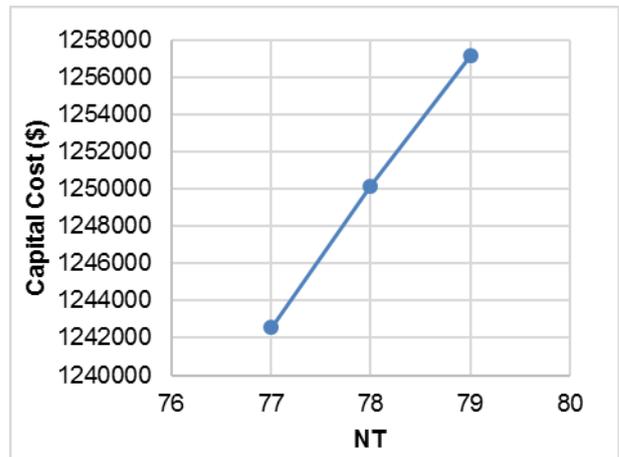


Gambar 8. Pengaruh N_R terhadap TAC

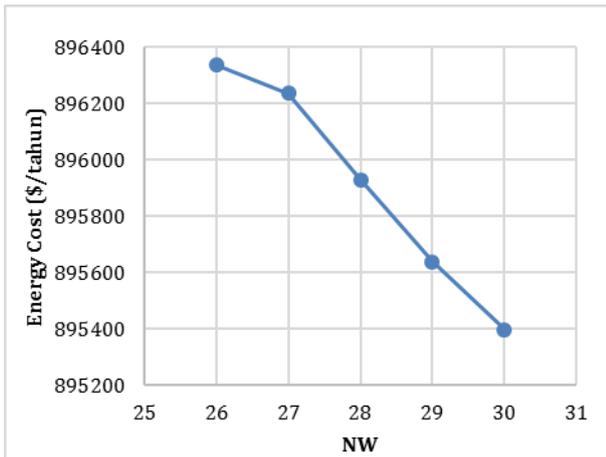
Jumlah tahap reaktif divariasikan dari 23 hingga 29. Dari Gambar 8 terlihat bahwa TAC paling rendah dicapai saat jumlah tahap reaktif sebesar 24 tahap. Optimasi selanjutnya dilakukan dengan mengubah tinggi dinding (N_w). Pengaruh tinggi dinding terhadap biaya disajikan dalam Gambar 9 sampai dengan Gambar 11.



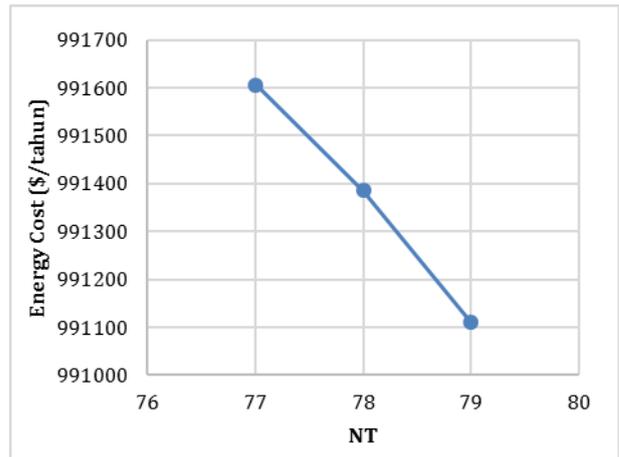
Gambar 9. Pengaruh N_w terhadap biaya kapital



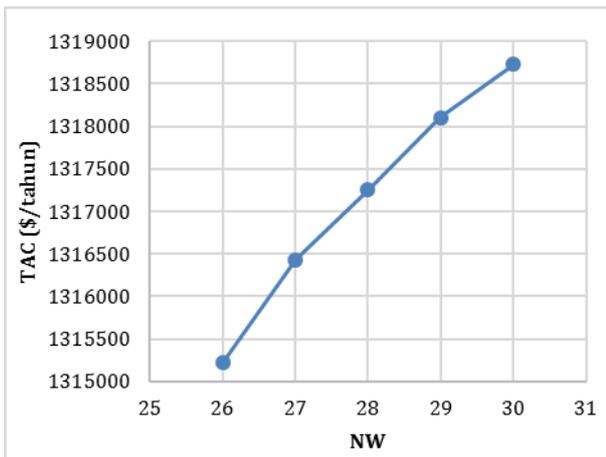
Gambar 12. Pengaruh N_T terhadap biaya kapital



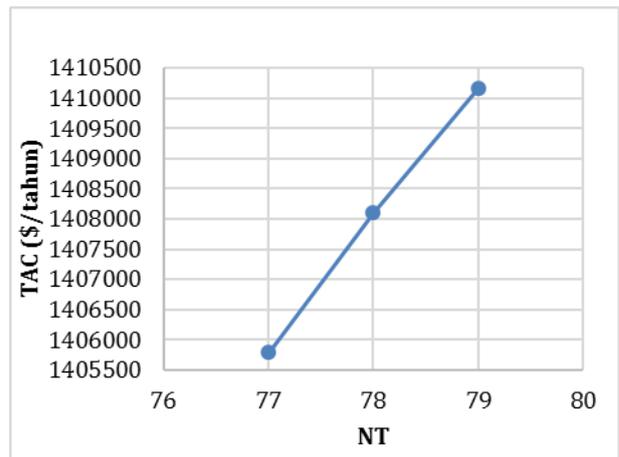
Gambar 10. Pengaruh N_w terhadap biaya energi



Gambar 13. Pengaruh N_T terhadap biaya energi



Gambar 11. Pengaruh N_w terhadap TAC

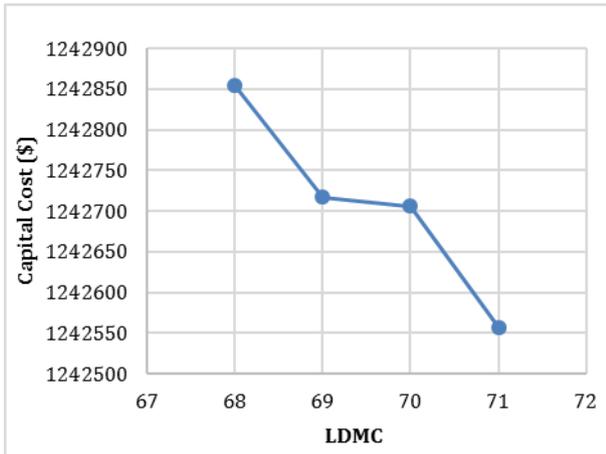


Gambar 14. Pengaruh N_T terhadap TAC

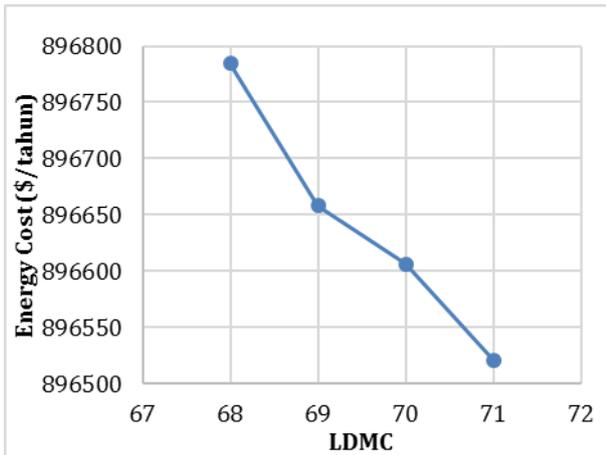
Dari Gambar 9 sampai dengan Gambar 11 terlihat bahwa tinggi dinding mempengaruhi biaya kapital, energi, dan juga TAC. Kondisi optimum tercapai saat tinggi dinding sebesar 26 tahap. Untuk tinggi dinding yang di bawah 26 tidak bisa mencapai kemurnian produk yang diinginkan. Optimasi selanjutnya dilakukan dengan mengubah jumlah tahap total kolom (N_T) yang disajikan dalam Gambar 12 s.d. Gambar 14.

Kenaikan jumlah tahap total mengakibatkan kenaikan biaya kapital dan penurunan biaya energi. Tetapi kenaikan biaya capital lebih signifikan sehingga TAC minimum tercapai saat jumlah tahapnya rendah yaitu sebesar 77 tahap. Untuk kondisi di bawah 77 tahap tidak bisa menghasilkan produk dengan kemurnian yang diinginkan. Optimasi dilanjutkan

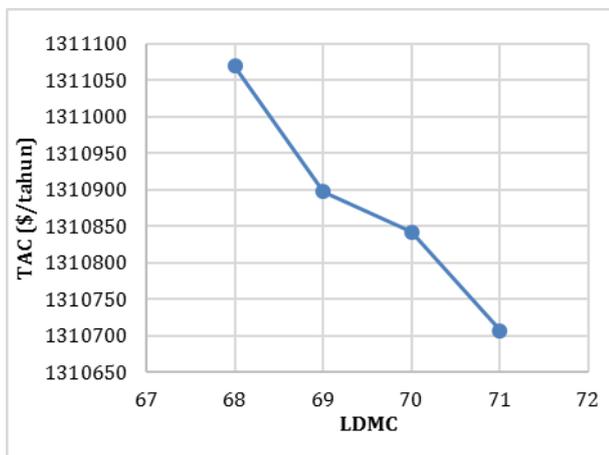
dengan mengubah lokasi umpan masuk DMC (L_{DMC}). Pengaruh lokasi umpan DMC terhadap biaya disajikan dalam Gambar 15 sampai dengan Gambar 17.



Gambar 15. Pengaruh L_{DMC} terhadap biaya kapital



Gambar 16. Pengaruh L_{DMC} terhadap biaya energi



Gambar 17. Pengaruh L_{DMC} terhadap TAC

Dari Gambar 15 sampai dengan Gambar 17 terlihat bahwa lokasi umpan DMC tidak berpengaruh secara signifikan terhadap TAC jika dibandingkan

dengan variabel yang lain. TAC minimum dicapai saat DMC dimasukkan pada tahap ke 71.

4. KESIMPULAN

Desain optimum yang dihasilkan pada penelitian ini dengan TAC sebagai fungsi objektif yaitu jumlah tahap reaktif sebesar 24, tinggi dinding sebesar 26. Jumlah tahap total 77 tahap dan lokasi umpan masuk DMC pada tahap 71. TAC yang dihasilkan pada kondisi optimum ini yaitu \$1.310.706,938/tahun.

Penelitian selanjutnya bisa dilakukan menggunakan optimasi serempak menggunakan perangkat lunak Multisimplex untuk menghasilkan titik optimum yang lebih akurat.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Efransyah, F. A., Anggoro, R. L., Kuswandi, Wibawa, G., Pendirian Pabrik Dietil Karbonat dari CO₂ dan Etanol Melalui Proses Direct Synthesis, *Jurnal Teknik ITS*, 2016, 5, hal. 2337-3539.
- Kiss, A. A., *Advanced Distillation Technologies Design, Control and Applications*. The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex: John Wiley & Sons Ltd., 2013.
- Luyben, W. L., *Distillation Design and Control Using Aspen Simulation*, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2006.
- Luyben, W. L., *Principles and Case Studies of Simultaneous Design*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2011.
- Luyben, W. L., Chien, I.-L., *Design And Control Of Distillation Systems For Separating Azeotropes*. New Jersey: John Wiley and Sons, Inc., 2010.
- Perry, R. H., Green, D. W., *Perry's Chemical Engineers' Handbook 8th Edition*. New York: The McGraw-Hill Companies, Inc., 2008.
- Shukla, K., Srivastava, V. C., Diethyl carbonate: critical review of synthesis routes, catalysts used and engineering aspects, *RSC Adv.*, 2016, 6, hal. 32624-32645.
- Smith, R., *Chemical Process Design and Integration*, 2005, John Wiley and Sons.
- Wei, H.Y., Rokhmah, A., Handogo, R., Chien, I. L., Design and control of reactive-distillation process for the production of diethyl carbonate via two consecutive trans-esterification reactions, *Journal of Process Control*, 2011, 21, pp. 1193-1207.