

DESAIN EVAPORATOR PADA PRARANCANGAN PABRIK BIODIESEL DARI MINYAK SAWIT DENGAN KAPASITAS 400.000 TON/TAHUN

Nur Rahma Setya K, Masudah, Sandra Santosa

Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Malang, Jl. Soekarno Hatta No. 9, Malang 65141, Indonesia
rsetyak@gmail.com ; [masudah@polinema.ac.id]

ABSTRAK

Pada proses pembuatan biodiesel terdapat tahapan proses yaitu tahap persiapan, tahap transesterifikasi, tahap pemisahan metil ester, tahap pencucian metil ester, dan tahap pemurnian metil ester. Pada tahap pemurnian dilakukan pemanasan metil ester dengan tujuan untuk menghilangkan sisa metanol dan air yang masih terkandung dalam metil ester. Oleh karena itu diperlukan desain evaporator yang sesuai untuk mendapatkan kemurnian produk metil ester yang akan berpengaruh pada kinerja mesin yang akan digunakan dalam jangka pendek maupun panjang. Penelitian ini bertujuan untuk merancang evaporator pada prarancangan pabrik biodiesel dengan kapasitas 400.000 ton/tahun. Perhitungan desain evaporator mengacu pada buku *process heat transfer* dan buku *equipment design* menggunakan metode kern dan perhitungan menggunakan bantuan *microsoft excel*. Dari hasil perhitungan didapatkan dimensi evaporator dengan diameter luar 114 in, tebal silinder 3/8 in dan tinggi evaporator 245,7 in dengan alat pemanas tipe 1-shell dan 2-tube. Desain evaporator ini diharapkan dapat menjadi acuan analisis kebutuhan alat sebelum pabrik didirikan. Terdapat saran yaitu perlu adanya evaluasi kerja alat evaporator secara berkala guna meningkatkan proses agar lebih optimal.

Kata kunci: biodiesel, evaporator, prarancangan pabrik, minyak sawit

ABSTRACT

In the process of making biodiesel, there are four stages, namely the preparation stage, the transesterification stage, the separation stage of the methyl ester, the methyl ester washing stage, and the methyl ester purification stage. In the purification stage, the methyl ester is heated with the purpose to remove the remaining methanol and water still contained in the methyl ester. Therefore, it is necessary to design an appropriate evaporator to obtain the purity of the methyl ester product, which will affect the performance of the machine that will be used in the short and long term. This study aims to design an evaporator in a biodiesel plant with a capacity of 400,000 tons/year. The calculation of the evaporator design refers to the process heat transfer book and the equipment design book using the Kern method and calculations using the help of Microsoft Excel. From the calculation results, the dimensions of the evaporator with an outer diameter of 114 in, a cylinder thickness of 3/8 in, and a height of 245.7 in in an evaporator with heaters of type 1-shell and 2-tube. This evaporator design is expected to be a reference for the analysis of equipment requirements before the factory is established. There is a suggestion that it is necessary to evaluate the work of the evaporator regularly to improve the process so that it is more optimal.

Keywords: *biodiesel, evaporator, factory pre-design, palm oil*

1. PENDAHULUAN

Saat ini telah banyak upaya untuk mencari dan mengembangkan sumber bahan bakar alternatif. Salah satu sumber bahan alternatif yaitu biodiesel. Biodiesel adalah ester monoalkil dari minyak tanaman dan lemak hewan [1]. Biodiesel terbentuk melalui reaksi antara senyawa ester dengan senyawa alkohol sehingga terbentuk senyawa ester baru [2].

Adapun tahapan proses pembuatan biodiesel yaitu tahap persiapan, tahap transesterifikasi, tahap pemisahan metil ester, tahap pencucian metil ester, dan tahap pemurnian metil ester. Pada tahap pemurnian metil ester memiliki peran penting dalam proses pembuatan biodiesel karena dapat menghilangkan zat pengotor seperti metanol-air. Adanya air akan dapat menyebabkan terjadi reaksi saponifikasi yang dapat menurunkan konversi metil ester yang terbentuk [3]. Kemurnian produk biodiesel akan berpengaruh pada kinerja mesin yang akan digunakan dalam jangka pendek maupun panjang [4].

Pada penelitian T. Bintoro (2020), untuk prarancangan pabrik biodiesel dengan kapasitas 350.000 ton/tahun menggunakan perhitungan desain evaporator dengan alat penukar panas tipe double pipe untuk pemurnian menghilangkan sisa metanol yang masih terkandung dalam metil ester tersebut [5]. Selain itu, pemurnian biodiesel dari sisa metanol berlebih dimaksudkan untuk mendapatkan biodiesel dengan yield tinggi sesuai standar SNI juga untuk mendaur ulang metanol berlebih yang ada pada biodiesel. Pemurnian biodiesel dari metanol juga dapat memudahkan pemisahan biodiesel dengan sisa gliserol dan metanol.

Kondisi operasi dan jenis evaporator yang dirancang merupakan salah satu faktor penting dalam proses pemurnian metil ester. Oleh karena itu diperlukan desain evaporator yang sesuai untuk mendapatkan kemurnian produk metil ester sesuai kapasitas yang direncanakan. Penelitian ini bertujuan untuk merancang evaporator untuk prarancangan pabrik biodiesel dengan kapasitas 400.000 ton/tahun. Desain evaporator pada penelitian ini didasarkan pada kondisi operasi suhu 90°C dan tekanan 1 atm dengan tipe evaporator *short tube vertical* dengan memiliki kelebihan relatif lebih murah serta pengoperasian dan pembersihannya lebih mudah [6].

2. METODOLOGI PENELITIAN

Adapun tahapan metodologi penelitian sebagai berikut:

2.1. Pengumpulan Data

Untuk melakukan perhitungan desain alat evaporator ada beberapa data yang harus diketahui dan dibutuhkan agar dapat bekerja secara efektif. Semua data yang dibutuhkan dapat diambil dari data perhitungan neraca masa dan neraca panas yang telah dihitung sebelumnya. Menggunakan acuan data dari buku *process heat transfer* [7] dan buku *equipment design* [7].

2.2. Perhitungan Desain Evaporator

- Menghitung volume

$$V_I = 80\%V_T \quad (1)$$

- Penentuan tebal silinder

$$t_s = \frac{pidi}{2(fE-0,6pi)} + C \quad (2)$$

- Menghitung volume total

$$V_T = \frac{\pi d^3}{24tg\frac{1}{2}a} + \frac{\pi d^2 Ls}{4} + 0,0847d^3 \quad (3)$$

Dimana :

VT = Volume total (ft³)

d = diameter (ft)

- Menghitung Ls, ha, hb, dan H

$$Ls = 1,5 d \quad (4)$$

$$ha = 0,169d \quad (5)$$

$$hb = \frac{d}{2tg\frac{1}{2}\alpha} \quad (6)$$

Dimana :

Ls = tinggi silinder (ft)

ha = tinggi tutup (ft)

hb = tinggi bagian bawah (ft)

H = panjang total (ft)

- Menghitung tha (tebal tutup atas) dan thb (tebal tutup bawah)

$$tha = \frac{0,885pir}{2(fE-0,1pi)} + C \quad (7)$$

$$thb = \frac{pidi}{2(fE-0,6pi)\cos\frac{1}{2}\alpha} + C \quad (8)$$

- Menghitung spesifikasi nozzle

Dapat dilihat pada buku *brownell & young* page 221.

2.3. Perhitungan Pemanas pada Evaporator

Terdapat perhitungan luas perpindahan panas yang dibutuhkan untuk menentukan tipe alat penukar panas yang dibutuhkan. Terdapat 3 faktor yang mempengaruhi *heat exchanger* dalam menerima panas, yaitu:

1. *Overall heat exchanger coefficient* (Koefisien perpindahan panas secara keseluruhan)
2. Luas perpindahan panas (A)
3. Perbedaan temperatur rata-rata (Δt_{LMTD})

Maka hubungan antara 3 faktor tersebut yaitu :

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T \quad (9)$$

Dimana:

Q = Kalor yang dilepaskan/diterima (W)

U = Koefisien perpindahan panas (W/m².°F)

A = Luas permukaan perpindahan panas (m²)

Δt_{LMTD} = Selisih temperatur rata-rata (°F)

Nilai luas permukaan perpindahan panas (A) dapat dihitung dengan mencari data Δt_{LMTD} terlebih dahulu dengan menggunakan rumus :

$$\Delta t_{LMTD} = \frac{\Delta t_2 - \Delta t_1}{2,3 \log \frac{\Delta t_2}{\Delta t_1}} \quad (10)$$

dimana, $\Delta t_1 = T_1 - t_2$; $\Delta t_2 = T_2 - t_1$

Keterangan:

T1 = Suhu fluida panas masuk (°F)

T2 = Suhu fluida panas keluar (°F)

t1 = Suhu fluida dingin masuk (°F)

t_2 = Suhu fluida dingin keluar (°F)

Selanjutnya, setelah menentukan nilai ΔT_{lmtcd} dapat dilanjutkan ke perhitungan luas permukaan perpindahan panas (A) dengan menggunakan rumus dibawah ini:

$$A = \frac{Q}{U_D \times \Delta T} \quad (11)$$

Keterangan:

- A = Luas permukaan perpindahan panas (m²)
- Q = Kalor yang dilepaskan/diterima (W)
- U_D = Koefisien perpindahan kalor menyeluruh desain (W/m².°F)
- ΔT = Selisih temperatur rata-rata (°F)

Selain itu, terdapat koefisien perpindahan panas dari fluida, yang mana dipengaruhi oleh faktor pengotoran. Tingginya faktor pengotor dikarenakan endapan dari fluida yang mengalir atau korosi pada alat tersebut[8]. Koefisien perpindahan panas dapat dicari dengan persamaan:

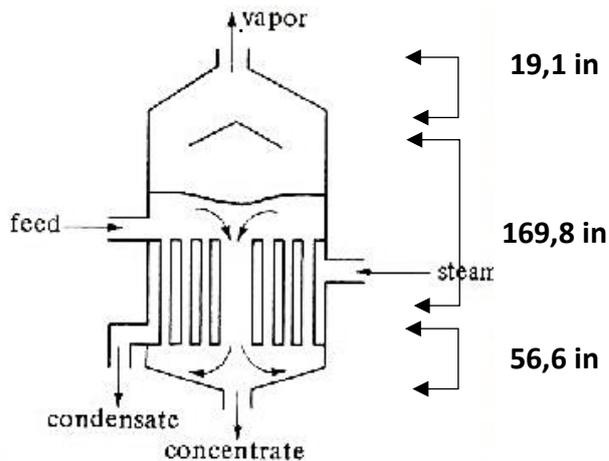
$$\frac{1}{U_d} = \frac{1}{U_c} + R_d \quad (12)$$

Dimana :

- U_d = Koefisien perpindahan kalor menyeluruh desain (W/m².°F)
- U_c = Koefisien perpindahan kalor menyeluruh bersih (W/m².°F)
- R_d = Faktor pengotoran / *fouling factor*

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari rancangan evaporator untuk pemurnian biodiesel didapatkan desain sebagai berikut:



Gambar 1. Desain evaporator tipe *short vertical tube* untuk pemurnian metil ester

Tabel 1. Dimensi rancangan evaporator tipe *short vertical tube* untuk pemurnian metil ester diatas

Dimensi	Jumlah
V_T (Volume Tangki)	1.097,2 ft ³
t_s (tebal silinder)	3/16 in
D_o standar (diameter luar silinder)	114 in
D_i (diameter dalam silinder)	113,25 in
V_1 (volume tutup bawah tangki)	109,9 ft ³
V_2 (volume silinder tangki)	989,7 ft ³
V_3 (volume tutup atas tangki)	71,2 ft ³
L_s (tinggi silinder)	14,2 ft
H_a (tinggi tutup atas tangki)	1,6 ft
H_b (tinggi tutup bawah tangki)	4,7 ft
H (tinggi total tangki)	20,5 ft
t_{ha} (tebal tutup atas tangki)	3/16 in
t_{hb} (tebal tutup bawah tangki)	4/16 in
d_i (nozzle) (diameter dalam)	6,07 in
d_o (nozzle) (diameter luar)	7 9/16 in
Lebar flange	10 in
Tebal flange	1 1/3 in
Tinggi nozzle	3 1/2 in

Tabel 2. Data hasil perhitungan dimensi rancangan pemanas evaporator tipe *shell and tube heat exchanger*

Dimensi	Shell	Tube
Diameter luar		1 1/4 in
Diameter dalam	13 1/4 in	1,11 in
Jarak antar baffle	4 in	
Jumlah passess	1	2
L		20 ft
BWG		15 in
P_T	1 9/16 in	
U_c	40,8	
U_d	37,5	
R_d	0,00213	

Perancangan evaporator dalam studi ini bertujuan untuk mendapatkan desain evaporator yang sesuai dengan kebutuhan proses pemurnian metil ester pada perancangan pabrik biodiesel dari minyak sawit dengan kapasitas 400.000 ton/tahun. Perancangan evaporator ini menggunakan tipe *short vertical tube* dengan bahan *high alloy SA-240 Grade D Type 430*. Dengan tutup atas standard dish head dan tutup bawah conical dengan dilengkapi nozzle keluaran atas metanol-air dan keluaran bawah metil ester. Kelebihan evaporator tipe *short vertical tube* memiliki kelebihan relatif lebih murah serta pengoperasian dan pembersihannya lebih mudah [6].

Pada perancangan evaporator dipilih alat penukar panas menggunakan tipe *Shell and tube* karena memiliki penampang perpindahan panas yang lebih besar dibandingkan dengan tipe lain sehingga banyak digunakan dalam industri minyak dan gas bumi [9]. Perhitungan didasarkan pada nilai luas perpindahan panas (A) dengan ketentuan yaitu, jika nilai $A < 120 \text{ ft}^2$ maka artinya tipe *heat exchanger* yang digunakan adalah jenis *Double Pipe*, begitupun sebaliknya jika nilai $A > 120 \text{ ft}^2$ maka tipe *heat exchanger* yang digunakan atau dipilih adalah tipe *shell and tube*. Nilai luas perpindahan panas (A) yang didapatkan dari perhitungan menggunakan *Ms. Excel* yaitu $221,02 \text{ ft}^2$ yang artinya lebih dari 120 ft^2 . Dalam pemilihan bahan yang masuk ke dalam *shell* dan *tube* didasarkan pada ketentuan dimana fluida yang memiliki laju alir yang besar dilewatkan *tube* untuk memaksimalkan proses pemindahan panas yang terjadi [10].

Ada yang perlu diperhatikan dalam perhitungan pemanas diantaranya adalah nilai *clean overall coefficient* (U_c), *design overall coefficient* (U_d), dan juga *fouling factor* (R_d). *Trial* ukuran STH yang layak dengan dapat ditentukan dari nilai *pressure drop* (ΔP) yang terjadi pada *shell* dan *tube*. Nilai ketetapan *pressure drop* (ΔP) jika gas/uap harus $< 2 \text{ psi}$ sedangkan *pressure drop* (ΔP) jika liquid harus $< 10 \text{ psi}$ [11]. Didapatkan hasil perhitungan *pressure drop* di dalam *shell* sebesar $0,026 \text{ psi}$ dan di dalam *tube* sebesar $0,0002 \text{ psi}$. Nilai U_c dan U_d didapatkan sebesar $40,8 \text{ Btu/jam.ft}^2.\text{F}$ dan $37,5 \text{ Btu/jam.ft}^2.\text{F}$. Nilai U_c menunjukkan perpindahan panas pada *heat exchanger* pada keadaan bersih dan belum terdapat endapan/kerak. Sedangkan nilai U_d menunjukkan perpindahan panas pada *heat exchanger* setelah beroperasi dan sudah terdapat endapan/kerak [12].

Fouling factor (R_d) adalah hambatan perpindahan panas pada *heat exchanger* karena adanya endapan/kerak [13]. Nilai R_d dapat dipengaruhi oleh beberapa hal diantaranya: jenis fluida, temperatur, jenis material alat, laju alir fluida dan lama waktu operasi [14]. Dengan adanya pengotor di dalam alat dapat mempengaruhi temperatur fluida dan dapat mempengaruhi koefisien perpindahan panas dari fluida tersebut [15]. Dihilangkan *dirt factor* (R_d) sebesar $0,00213$ yang artinya masih dapat diterima dan sesuai dengan syarat perhitungan yaitu $R_d \text{ hitung} > 5\text{-}10\%$ dari R_d yang ditentukan. Hal ini menunjukkan bahwa desain *evaporator* layak dioperasikan sehingga dapat digunakan untuk memurnikan metil ester.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil rancangan evaporator untuk pemurnian metil ester pada pra-rancangan pabrik biodiesel kapasitas $400.000 \text{ ton/tahun}$ didapatkan desain evaporator tipe *short vertical tube* dengan dimensi didapatkan diameter 114 in , tebal silinder $3/8 \text{ in}$ dan tinggi alat $245,7 \text{ in}$ dengan alat pemanas tipe 1-shell dan 2-tube dengan luas area (A) $221,02 \text{ ft}^2$ dan R_d (*fouling factor*) $0,000213$. Pemilihan tipe evaporator *short vertical tube* dikarenakan kelebihan relatif lebih murah serta pengoperasian dan pembersihannya lebih mudah.

Untuk penelitian selanjutnya, author menyarankan untuk perancangan evaporator perlu diperhatikan mengenai perlu adanya evaluasi kerja alat evaporator secara berkala guna meningkatkan proses agar lebih optimal dan dilakukan perawatan secara berkala.

REFERENSI

- [1] S. K. Putri *et al.*, "Studi Proses Pembuatan Biodiesel dari Minyak Kelapa (Coconut Oil) dengan Bantuan Gelombang Ultrasonik," *J. rekayasa proses*, vol. 6, no. 1, hal. 20–25, 2012.
- [2] Y. Ristianingsih, N. Hidayah, dan F. W. Sari, "Pembuatan Biodiesel Dari Crude Palm Oil (CPO) Sebagai Bahan Bakar Alternatif Melalui Proses Transesterifikasi Langsung," *J. Teknol. Agro-Industri*, vol. 2, no. 1, hal. 38, 2016, doi: 10.34128/jtai.v2i1.23.
- [3] R. G. Satyani, "Optimasi Katalis Basa Dalam Pembuatan Biodiesel Dari Lemak Sapi," 2007.
- [4] Saiful, N. Nurfitriana, M. Ramli, dan I. Maulana, "Pengembangan Membran Magnesol untuk Pemurnian Biodiesel," *J. Rekayasa Kim. Lingkung.*, vol. 9, no. 3, hal. 118, 2013, doi: 10.23955/rkl.v9i3.780.
- [5] T. M. H. Bintoro, "Skripsi Prarancangan Pabrik Biodiesel Dari Crude Palm Oil Dan Metanol Kapasitas 350.000 Ton/Tahun," 2020.
- [6] G. D. Ulrich, *A Guide to Chemical Engineering Process Design and Economics*. 1984.
- [7] L. Brownell dan E. Young, "Process Equipment Design." 1959.
- [8] Hendri, Suhengki, dan A. F. Lubis, "Pengaruh Fouling Terhadap Laju Perpindahan Panas Pada Superheater Boiler CFB PLTU Sebalang," *Power Plant*, vol. 6, no. 1, hal. 48–57, 2018, doi: 10.33322/powerplant.v6i1.72.
- [9] F. Harditya, "Perancangan dan Pengaruh Perhitungan Nilai Efektivitas Panas terhadap Alat Penukar Panas Tipe 'Shell and Tube Heat Exchanger' dengan Menggunakan Fluida Air - Air," 2016.
- [10] A. F. Sari, "Shell and Tube Heat Exchanger Design pada Heater dengan Pemanas Steam pada Ethanolamine Plant," 2019.
- [11] P. P dan P. M, "Perekayasa Heat Exchanger Sebagai Pemanas Umpan UF6 Dalam Pabrik Elemen Bakar Nuklir," *Prima*, vol. 8, no. 2, hal. 104–109, 2011.
- [12] Sugiyanto, "Analisis Alat Penukar Kalor Tipe Shell And Tube dan Aplikasi Perhitungan Dengan Microsoft Visual Basic 6.0," 2018.
- [13] B. Setyoko, "Evaluasi Kinerja Heat Exchanger Dengan Metode Fouling Faktor," *Teknik*, vol. 29, no. 2, hal. 148–153, 2008.
- [14] M. Sebayang, "Evaluasi Kinerja Heat Exchanger Dengan Metode Fouling Faktor di Laboratorium Satuan Operasi PTKI Medan," *Ready Star*, vol. 2, no. 1, hal. 11–15, 2019.
- [15] I. Bizzy dan R. Setiadi, "Studi Perhitungan Alat Penukar Kalor Tipe Shell and Tube Dengan Program Heat Transfer Research Inc. (HTRI)," *J. Rekayasa Mesin Univ. Sriwij.*, vol. 13, no. 1, hal. 67–76, 2016.