

DESAIN PREHEATER METANOL UNTUK PILOT PLANT BIODIESEL KUALITAS TINGGI DENGAN MOBILTHERM 605 SEBAGAI FLUIDA PEMANAS

Hanafi Prida Putra¹, Ika Wulandari^{1*}, Yayan Heryana¹, Romelan¹, Maharani Dewi Solikhah¹, Agus Kismanto¹

¹Balai Teknologi Bahan Bakar dan Rekayasa Disain, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi, 15314

ABSTRAK

Pemerintah menerapkan penggunaan campuran biodiesel 30% dalam minyak solar untuk bidang transportasi per Januari 2020. Untuk pelaksanaan program tersebut diperlukan biodiesel kualitas tinggi yang harganya bersaing dengan minyak solar. *Pilot plant* biodiesel kualitas tinggi dari bahan baku minyak jelantah kapasitas 1 ton/hari digunakan untuk mendapatkan biodiesel kualitas tinggi. Untuk mendukung *pilot plant* tersebut, diperlukan utilitas yang mumpuni, salah satunya adalah *preheater* metanol yang berfungsi untuk memanaskan uap metanol sampai suhu 270 °C sebelum masuk ke reaktor. Untuk fluida panas *preheater* digunakan Mobiltherm 605. Beban panas yang harus dipenuhi oleh *preheater* adalah sebesar 13,695.37 kkal/jam dan tipe penukar panas yang digunakan adalah *counter flow double pipe*. Dari perhitungan desain didapatkan koefisien perpindahan panas metanol di pipa dalam sebesar 132.68 BTU/hrft²°F, koefisien perpindahan panas Mobiltherm 605 di anulus sebesar 87.86 BTU/hrft²°F, panjang *preheater* 6 kaki, jumlah *hairpin* 2 buah, diameter pipa anulus sebesar 2 inci, dan diameter pipa dalam sebesar 1.25 inci. Koefisien perpindahan panas menyeluruh sebesar 45.33 BTU/hrft²°F.

Kata kunci : *biodiesel; desain; pilot plant; preheater metanol*

ABSTRACT

The government implemented the use of 30% biodiesel mixture in diesel oil for transportation as of 2020. For this program implementation, high quality of biodiesel which has competitive prices with diesel oil is required. A high quality biodiesel pilot plant from used cooking oil with capacity of 1 ton/day is used to obtain high quality biodiesel. To support the pilot plant, good utilities are needed, one of them is the methanol preheater which has function to heat the methanol vapor to 270 degree Celsius before entering the reactor. For the heat transfer fluid, Mobiltherm 605 is used. The head load that must be fulfilled by the preheater is 13,695.37 kcal /hour and counter flow double pipe exchanger is used. From design calculation, the methanol heat transfer coefficient in inner pipe is 132.68 BTU/hrft²°F, the Mobiltherm 605 heat transfer coefficient in annulus is 87.86 BTU/hrft²°F, length of exchanger is 6 feet, number of hairpin is 2, annular diameter is 2 inch, and inner pipe diameter is 1.25 inch. The heat transfer coefficient overall is 45.33 BTU/hrft²°F.

Keywords : *biodiesel; design; pilot plant; methanol preheater*

* Ika Wulandari

Email: ika.wulandari@bppt.go.id

Diterima 17 Januari 2020; Penerimaan hasil revisi 3 Februari 2020; Disetujui 8 Februari 2020

Tersedia online Maret 2020

AME (Aplikasi Mekanika dan Energi): Jurnal Ilmiah Teknik Mesin © 2020

1. PENDAHULUAN

Indonesia menghadapi permasalahan besar di bidang penyediaan bahan bakar minyak (BBM). Peningkatan penggunaan BBM berbanding dengan semakin banyak impor BBM yang dilakukan oleh negara. Hal ini dikarenakan semakin menipisnya cadangan minyak dalam negeri dan terbatasnya kemampuan kilang dalam negeri. Pada sektor transportasi, pengurangan impor BBM dilakukan dengan pencampuran biodiesel ke dalam minyak solar. Hal ini tertuang dalam Peraturan Menteri ESDM no.12 tahun 2015 (ESDM, 2015) yaitu per Januari 2020 diwajibkan pencampuran 30 % biodiesel ke dalam minyak solar. Apabila kewajiban pencampuran biodiesel sebanyak 30 % dapat terpenuhi, maka dapat menghemat devisa negara dari impor minyak solar per tahun sebanyak 4,2 milyar USD (Rp 56,5 trilyun). Akan tetapi, hal tersebut belum dapat tercapai karena implementasi pencampuran biodiesel tersebut belum terlaksana secara keseluruhan karena adanya kendala teknis dan non-teknis. Salah satu kendala implementasi biodiesel adalah kualitas mutu dari biodiesel dan harga yang kurang bersaing dengan minyak solar. Oleh sebab itu dirancanglah teknologi produksi biodiesel kualitas tinggi dengan *plant* biodiesel nirkatalis. *Plant* biodiesel nirkatalis yang digunakan pada kesempatan ini adalah *pilot plant* biodiesel kualitas tinggi dari bahan baku minyak jelantah kapasitas 1 ton per hari. *Plant* ini diprediksi mampu untuk menghasilkan biodiesel dengan kualitas yang baik dengan biaya produksi yang lebih murah. Untuk keberhasilan produksi biodiesel kualitas tinggi maka diperlukan sistem utilitas yang dapat memenuhi keperluan selama jalannya proses produksi. Salah satu hal yang penting dalam sistem utilitas *plant* ini adalah *preheater* metanol.

Pada pembuatan biodiesel secara konvensional, *preheater* metanol digunakan untuk memanaskan metanol sampai suhu 95 °C untuk proses esterifikasi dengan asam (Crabbe, 2001) atau sampai suhu 70 °C untuk proses transesterifikasi dengan basa (Noiroj, 2009). Sementara itu, *preheater* metanol pada penulisan ini mengacu pada hasil penelitian dari Solikhah (2016) dan Hagiwara (2015) yang menggunakan reaktor kolom gelembung dengan suhu metanol masuk reaktor sebesar 270 °C (518 °F). Sistem pemanas *thermal oil* digunakan untuk mendapatkan suhu 270 °C keluar dari *preheater*

metanol. Sistem pemanas *thermal oil* adalah sistem tertutup (*closed loop*) yang terdiri dari *thermal oil heater*, pompa sirkulasi, tangki ekspansi, tangki penyimpanan, *de-aerator*, perpipaan, dan panel kontrol. Pemanasan *thermal oil* pada sistem ini menggunakan *burner* (Occupational Safety and Health Branch Labour Departement, 2017). Untuk fluida pemanas, diperlukan *thermal oil* yang dapat dipanaskan lebih dari suhu 270 °C sehingga sistem *thermal oil* bekerja dengan kondisi operasi di bawah titik didihnya. Dengan demikian, sistem pemanas *thermal oil* dapat bekerja pada tekanan rendah tetapi menghasilkan suhu tinggi yang diinginkan (Alpha Omega, 2018).

Penulisan ini bertujuan untuk mendapatkan desain penukar panas yang dapat digunakan sebagai *preheater* metanol yang berfungsi untuk memanaskan metanol sebanyak 200 kg/jam (440.92 lb/jam) dengan suhu masuk *preheater* sebesar 106°C (222.8 °F) dan suhu keluar 270 °C (518 °F) dengan total panas dibutuhkan sebesar 13,861.4 kkal/jam yang didapatkan dari simulasi *pilot plant* menggunakan *software ChemCAD*. Dari total panas yang dibutuhkan, dapat diprediksi bahwa penukar panas tipe *counter flow double pipe* cukup untuk memenuhi kebutuhan tersebut.

2. METODE PENELITIAN

Untuk memperoleh desain penukar panas yang dapat memenuhi spesifikasi *preheater* metanol diperlukan:

2.1 Data-Data Perancangan

Data-data perancangan tersebut antara lain adalah sifat fluida metanol dan sifat fluida *thermal oil* yang digunakan. *Thermal oil* yang digunakan ditentukan dari studi literatur.

2.2 Perhitungan perancangan

Perhitungan desain penukar panas *counter flow double pipe* sesuai Kern (1965) dengan langkah-langkah sebagai berikut:

2.2.1 Menghitung panas yang dibutuhkan

$$Q = mC_m\Delta T \quad (1)$$

dengan,

Q = panas yang dibutuhkan (BTU/hr)

m = massa metanol dari simulasi (lb)

C_m = kapasitas panas rata-rata metanol (BTU/lb°F)

ΔT = perbedaan suhu metanol masuk dan keluar *preheater* (°F)

2.2.2 Menghitung ΔT_{LMTD}

$$\Delta T_{LMTD} = \frac{\Delta T_{max} - \Delta T_{min}}{\ln \frac{\Delta T_{max}}{\Delta T_{min}}} \quad (2)$$

dengan,
 ΔT_{max} = perbedaan suhu fluida panas masuk dengan fluida dingin keluar *preheater* (°F)
 ΔT_{min} = perbedaan suhu fluida panas keluar dengan fluida dingin masuk *preheater* (°F)

2.2.3 Menghitung luas yang dibutuhkan

$$A = \frac{Q}{U \Delta T_{LMTD}} \quad (3)$$

dengan,
 A = Luas perpindahan panas yang dibutuhkan (ft²)
 U = Koefisien perpindahan panas menyeluruh (BTU/hrft²°F)

2.2.4 Perhitungan transfer panas di annulus

$$h_o = j_H \frac{k_h}{D_e} \left(\frac{C_h \mu_h}{k_h} \right)^{\frac{1}{3}} \left(\frac{\mu_h}{\mu_w} \right)^{0.14} \quad (4)$$

dengan,
 h_o = koefisien perpindahan panas di annulus (BTU/hrft²°F)
 j_H = didapatkan dari pembacaan grafik (Fig. 24 Kern)
 k_h = konduktivitas panas Mobiltherm 605 (BTU/hrft°F)
 D_e = diameter ekivalen (ft)
 C_h = kapasitas panas rata-rata Mobiltherm 605 (BTU/lb°F)
 μ_h = viskositas Mobiltherm 605 (lb/fthr)
 μ_w = viskositas air (lb/fthr)

2.2.5 Perhitungan transfer panas di pipa dalam

$$h_{io} = h_i \frac{ID}{OD} \quad (5)$$

$$h_i = j_H \frac{k_c}{ID} \left(\frac{C_c \mu_c}{k_c} \right)^{\frac{1}{3}} \left(\frac{\mu_c}{\mu_w} \right)^{0.14} \quad (6)$$

dengan,
 h_{io} = koefisien perpindahan panas di pipa dalam (BTU/hrft²°F)
 ID = diameter dalam pipa dalam (ft)
 OD = diameter luar pipa dalam (ft)
 j_H = didapatkan dari pembacaan grafik (Fig. 24 Kern)
 k_c = konduktivitas panas metanol (BTU/hrft°F)
 C_c = kapasitas panas rata-rata metanol (BTU/lb°F)
 μ_c = viskositas metanol (lb/fthr)

2.2.6 Mencari U terkoreksi

$$U_c = \frac{h_{io} h_o}{h_{io} + h_o} \quad (7)$$

$$\frac{1}{U_D} = \frac{1}{U_c} + R_d \quad (8)$$

dengan,
 U_c = koefisien perpindahan panas menyeluruh bersih (BTU/hrft²°F)
 U_D = koefisien perpindahan panas menyeluruh yang dirancang (BTU/hrft²°F)
 R_d = faktor pengotor

2.2.7 Menghitung dimensi penukar panas
 Dihitung panjang efektif (L) dan jumlah *hairpin* yang digunakan.

2.2.8 Menghitung *pressure drop*

Pressure drop di anulus:

$$\Delta P_a = \frac{\left(\left(\frac{4faGa^2L}{2g\rho_h^2De'} \right) + \left(3 \left(\frac{V^2}{2g} \right) \right) \right) \rho_h}{144} \quad (9)$$

Pressure drop di pipa dalam:

$$\Delta P_p = \frac{\left(\frac{4fpGp^2L}{2g\rho_c^2D} \right) \rho_c}{144} \quad (10)$$

dengan,
 fa = faktor friksi di anulus
 G_a = kecepatan masa di anulus (lb/hrft²)
 V = kecepatan alir (ft/s)
 g = percepatan gravitasi (ft/hr²)
 ρ_h = densitas rata-rata Mobiltherm 605 (lb/ft³)
 fp = faktor friksi di pipa dalam
 G_p = kecepatan masa di pipa dalam (lb/hrft²)
 ρ_c = densitas rata-rata metanol (lb/ft³)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemilihan fluida pemanas *thermal oil* berdasarkan pada suhu titik didih, unsur keamanan, stabilitas, dan kemudahan untuk mendapatkannya. *Thermal oil* yang sering digunakan adalah Therminol 66 atau sejenis dengan *Dowtherm A*. Uji stabilitas yang dilakukan oleh Grirate (2015) menunjukkan bahwa *thermal oil* ini memiliki performa yang bagus dan tidak mengalami kerusakan selama di tes dengan variabel waktu dan suhu. Therminol memiliki suhu titik didih hingga mencapai 359 °C (Eastman, 2019). Sementara itu, *thermal oil* lain adalah Mobiltherm 605. *Thermal oil* ini digunakan oleh Solikhah (2016) sebagai fluida pemanas untuk *preheater* reaktor kolom gelembung dengan suhu Mobiltherm 605 masuk *preheater* sebesar 300 °C. Mobiltherm 605

memiliki suhu titik didih diatas 316 °C (Exxon, 2018). Kedua *thermal oil* tersebut, dari sisi suhu titik didih, keamanan, dan stabilitas dapat digunakan sebagai fluida pemanas, tetapi pada perhitungan desain *preheater* ini dipilih Mobiltherm 605 karena lebih mudah untuk didapatkan.

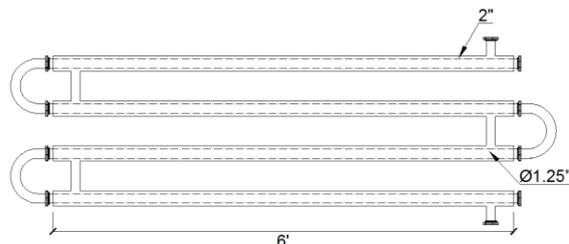
Data-data sifat yang akan digunakan untuk perhitungan desain *preheater* metanol adalah sebagai berikut.

Tabel 1. Sifat fluida untuk perhitungan sesuai dengan kondisi *preheater*

Sifat	Mobiltherm 605 (Exxon, 2015)	Metanol (Yaws, 1999)
ρ	41.5449 lb/ft ³	61.2419 lb/ft ³
k	0.0648 BTU/fthr ^{°F}	0.1127 BTU/fthr ^{°F}
μ	4.0247 lb/fthr	1.3305 lb/fthr
C	0.6908 BTU/lb ^{°F}	0.4173 BTU/lb ^{°F}
T_{in}	572.00 °F	222.80 °F
T_{out}	518.00 °F	518.00 °F

Selanjutnya dilakukan perhitungan desain menggunakan data tersebut. Dari perhitungan didapatkan nilai panas yang dibutuhkan untuk menaikkan suhu 440.92 lb/jam metanol dari 222.80 °F ke 518.00 °F adalah sebesar 13,695.37 kkal/jam. Jumlah tersebut berbeda sedikit dengan hasil simulasi karena perbedaan cara perhitungan kapasitas panas rata-rata metanol. ΔT_{LMTD} dengan persamaan (2) diperoleh sebesar 137.73 °F, sehingga luasan perpindahan panas yang dibutuhkan adalah 15.77 ft². Dengan luasan tersebut, jenis penukar panas yang cocok digunakan adalah *double pipe* (Kern, 1965). Untuk jenis alirannya dipilih *counter flow* karena memiliki *recovery* panas yang lebih bagus daripada *co-current* dan tidak memperlumahkan besaran suhu fluida dingin yang keluar dari penukar panas (Bengtson, 2010).

Berdasarkan persamaan (4), diperoleh koefisien perpindahan panas Mobiltherm 605 di anulus sebesar 132.68 BTU/hrft²°F. Sementara koefisien perpindahan panas metanol di pipa dalam sebesar 87.86 BTU/hrft²°F. Berdasarkan hasil perhitungan tersebut diperoleh koefisien perpindahan panas menyeluruhnya sebesar 45.33 BTU/hrft²°F. Selanjutnya, untuk dimensi penukar panas diperoleh panjang 6 kaki dengan *hairpin* 2 buah, diameter anulus sebesar 2 inci, dan diameter pipa dalam sebesar 1.25 inci. *Pressure drop* diperoleh sebesar 0.0829 psi di bagian anulus dan 0.0042 psi di bagian pipa dalam.



Gambar 1. Desain *counter flow double pipe* untuk *preheater* metanol

Sesuai perhitungan desain yang sudah dilakukan, *counter flow double pipe* ini dapat memenuhi kebutuhan penukaran panas yang diperlukan oleh *preheater* metanol *pilot plant* biodiesel kualitas tinggi dari bahan baku minyak jelantah kapasitas 1 ton/hari. Untuk nilai koefisien perpindahan panas menyeluruh dan *pressure drop* sudah memenuhi persyaratan perancangan (Kern, 1965).

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil dari perhitungan desain diperoleh koefisien transfer panas metanol sebesar 132.68 BTU/hrft²°F melalui pipa dalam *double pipe*, sementara koefisien transfer panas Mobiltherm 605 sebesar 87.86 BTU/hrft²°F melalui anulus *double pipe*. Penukar panas *counter flow double pipe* memiliki panjang 6 kaki, *hairpin* 2 buah, diameter pipa anulus sebesar 2 inci, dan diameter pipa dalam sebesar 1.25 inci. Koefisien perpindahan panas menyeluruh diperoleh sebesar 45.33 BTU/hrft²°F. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui efektivitas performa dari *preheater* metanol dengan fluida pemanas Mobiltherm 605 ini.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kementerian Riset dan Pendidikan Tinggi atas pembiayaan kegiatan InSinan 2019.

REFERENSI

- Alpha Omega. (2018). Thermal Oil Guide. CV Alpha Omega. Surabaya.
- Bengtson, H. (2010). Double pipe heat exchanger design with counterflow or parallel flow. Diambil dari <https://www.brighthub.com/hvac/64548-double-pipe-heat-exchanger-design/>.
- Crabbe, E., Nolasco-Hipolito, C., Kobayashi, G., Sonomoto, K., Ishizaki, A. (2001). Biodiesel production from crude palm oil and evaluation of butanol extraction and

- fuel properties. *Process Biochemistry*, 37, 65-71.
- Hagiwara, S., Nabetrani, H., dan Nakajima, M. (2015). Non-catalytic alcoholysis process for production of biodiesel fuel by using bubble column reactor. *Journal of Physics Conference Series* 596.
- Kern, D.Q. (1965). *Process Heat Transfer*. Singapore: McGraw-Hill Book Company Inc.
- Noiroj, K., Intarapong, P., Luengnaruemitchai, A., Jai-In, S. (2009). A comparative study of KOH/Al₂O₃ and KOH/Nay catalyst for biodiesel production via transesterification from palm oil. *Renewable Energy*, 34, 1145-1150.
- Occupational Safety and Health Branch Labour Departement. (2017). Code of Practice for the Safe Operation Thermal Oil Heaters. *Labour Departement the Government of the Hong Kong Special Administrative Region*. Hong Kong.
- Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor 12 Tahun 2015.
- Safety Data Sheet Exxon Mobil Mobiltherm 605. (2016). Diambil dari www.msds.exxonmobil.com.
- Safety Data Sheet Therminol 66. (2019). Diambil dari http://ws.eastman.com/ProductCatalogApps/PageControllers/MSDS_PC.aspx?Product=71093438
- Solikhah, M.D., Prismantoko, A., Pratiwi, F.T., Kismanto, A., Adiarso, Tambunan, A.H., ..., Nabetani, H. (2016). Produksi biodiesel nir-katalis dari PFAD dengan packed bubble column reactor. *Prosiding Kongres Teknologi Nasional 2016*.
- Yaws, C.L. (1999). *Chemical properties handbook : physical, thermodynamic, environmental, transport, safety, healt related properties for organic and inorganic chemicals*. New York: McGraw-Hill Book Company Inc.