

STUDY KELAYAKAN HEAT EXCHANGER NOMOR 3 PADA KILANG PPSDM MIGAS CEPU

Arsal Naufal Yudhatama¹⁾

¹⁾Jurusan Teknik Mesin Universitas Negeri Surabaya, Kampus Ketintang Surabaya

Rahmanto Widiyantoro¹⁾, Ika Nurjannah²⁾

¹⁾Unit Kilang, PPSDM MIGAS Cepu, Blora, ²⁾Jurusan Teknik Mesin Universitas Negeri Surabaya, Kampus Ketintang Surabaya

Naskah diterima 31 05 2022; direvisi 15 05 2023; disetujui 15 05 2023

doi: <https://doi.org/10.24843/JEM.2022.v15.i01.p08>

Abstrak

Alat penukar panas merupakan suatu peralatan yang digunakan untuk mempertukarkan energi dalam bentuk panas antara aliran fluida yang berbeda suhu yang dapat terjadi melalui kontak langsung maupun tidak langsung. Salah satu tipe dari alat penukar kalor yang banyak dipakai adalah *Shell and Tube Heat Exchanger*. Namun dalam perawatannya kita perlu adanya evaluasi lapangan sebelum dilakukan maintenance. Metode evaluasi data lapangan selama 5(lima) hari dari *heat exchanger* ini lebih efisien karena kita tidak perlu mengevaluasi data lapangan setiap hari serta kita dapat mengetahui hasil lebih cepat jika dibandingkan dengan menggunakan data selama 1 bulan untuk mengetahui apakah alat penukar panas masih layak digunakan / dioperasikan selama 30 hari kedepan. Tujuan penulisan ini adalah untuk menentukan besar neraca panas, *Log Mean Temperature Different*, temperatur kalorik, luas daerah aliran, kecepatan aliran massa, bilangan Reynold, faktor perpindahan panas, bilangan Prandtl, koefisien perpindahan panas, temperatur dinding *tube*, rasio viskositas, koefisien perpindahan panas terkoreksi, *clean overall heat transfer coefficient*, *overall heat transfer coefficient design*, faktor pengotoran, *pressure drop*, dan efisiensi efektif dari alat penukar kalor. Hanya dengan menggunakan data awal dari *heat exchanger* yang meliputi suhu masuk serta suhu keluar dari *shell* dan *tube*, densitas, kapasitas produksi, dan spesifikasi alat dari *heat exchanger* selama 5(lima) hari.

Kata kunci : *Heat exchanger*, evaluasi, lima hari

Abstract

A heat exchanger is an equipment used to exchange energy in the form of heat between fluid flows of different temperatures that can occur through direct or indirect contact. One type of heat exchanger that is widely used is the Shell and Tube Heat Exchanger. However, in maintenance, we need a field evaluation before maintenance is carried out. This method of evaluating field data for 5 (five) days from a heat exchanger is more efficient because we do not need to evaluate field data every day and we can find out the results faster when compared to using data for 1 month to find out whether the heat exchanger is still suitable for use / operated for the next 30 days. The purpose of this paper is to determine the heat balance, Log Mean Temperature Different, caloric temperature, flow area, mass flow velocity, Reynolds number, heat transfer factor, Prandtl number, heat transfer coefficient, tube wall temperature, viscosity ratio, heat transfer coefficient. corrected, clean overall heat transfer coefficient, overall heat transfer coefficient design, impurity factor, pressure drop, and effective efficiency of the heat exchanger. Only by using initial data from the heat exchanger which includes the inlet and outlet temperatures of the shell and tube, density, production capacity, and equipment specifications of the heat exchanger for 5 (five) days.

Keywords: Heat exchanger, evaluation, five days

1. Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

Alat penukar panas merupakan suatu peralatan yang digunakan untuk mempertukarkan energi dalam bentuk panas antara aliran fluida yang berbeda suhu yang dapat terjadi melalui kontak langsung maupun tidak langsung. Salah satu aplikasi dari prinsip pertukaran panas adalah pada penukar panas jenis pembuluh dan kawat (*wire and tube exchangers*). Penukar panas pembuluh dan kawat terdiri dari pembuluh koil dan kawat yang dilas atau dipasang pada pembuluh dengan arah normal dan saling berhadapan. Penukar panas ini termasuk jenis

penukar panas permukaan diperluas (*extended surface*). Kawat yang berfungsi sebagai sirip dipasang lekat pada pembuluh yang mengalirkan fluida panas dengan tujuan untuk meningkatkan luas permukaan perpindahan panas dan selanjutnya akan memperbesar laju perpindahan panas (Furqan et al., 2020).

Salah satu tipe dari alat penukar kalor yang banyak dipakai adalah *Shell and Tube Heat Exchanger*. Alat ini terdiri dari sebuah *shell* silindris di bagian luar dan sejumlah *tube* (*tube bundle*) di bagian dalam, dimana temperatur fluida di dalam *tube bundle* berbeda dengan di luar *tube* (di dalam *shell*) sehingga terjadi perpindahan panas antara aliran fluida di dalam

tube dan di luar *tube*. Adapun daerah yang berhubungan dengan bagian dalam *tube* disebut dengan *tube side* dan yang di luar dari *tube* disebut *shell side*.

Blok Cepu yang terdapat di Blora, Jawa Timur, merupakan daerah penting penghasil minyak dan gas bumi. Blok ini memiliki beberapa lapangan migas diantaranya Ledok, Nglobo-Semanggi, Banyuasin, Kawengan, Wonocolo, dsb. Setiap lapangan migas tersebut dikelola oleh bermacam-macam perusahaan migas. Selain terdapat lapangan migas, di Cepu juga terdapat tempat pelatihan dan tempat peraga alat-alat pengolah minyak dan gas bumi.

Metode evaluasi data lapangan selama 5(lima) hari dari *heat exchanger* ini lebih efisien karena kita tidak perlu mengevaluasi data lapangan setiap hari serta kita dapat mengetahui hasil lebih cepat jika dibandingkan dengan menggunakan data selama 1 bulan untuk mengetahui apakah alat penukar panas masih layak digunakan / dioperasikan selama 30 hari kedepan.

Tujuan penulisan ini adalah untuk menentukan besar neraca panas, *Log Mean Temperature Different*, temperatur kalorik, luas daerah aliran, kecepatan aliran massa, bilangan Reynold, faktor perpindahan panas, bilangan Prandtl, koefisien perpindahan panas, temperatur dinding *tube*, rasio viskositas, koefisien perpindahan panas terkoreksi, *clean overall heat transfer coefficient*, *overall heat transfer coefficient design*, faktor pengotoran, *pressure drop*, dan efisiensi efektif dari alat penukar kalor nomor 03 pada PPSDM MIGAS Cepu.

1.1.1. Prinsip Dasar Destilasi Atmosferik

Proses pengolahan minyak bumi di PPSDM Migas Cepu menggunakan Crude Destilation Unit (CDU). Proses ini terjadi di destilasi atmosferik. Unit destilasi atmosferik merupakan suatu unit yang bertugas melaksanakan seluruh rangkaian kegiatan pemisahan minyak mintah (crude oil) menjadi produk produk minyak bumi berdasarkan tekanan satu atmosfer.

1.1.2. Perpindahan Panas

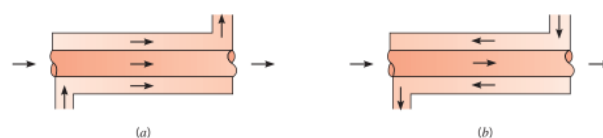
Menurut Kavadya & Ropiudin, (2020) pindah panas adalah perpindahan energi yang diakibatkan oleh perbedaan suhu. Transfer energi sebagai panas merupakan suatu sistem yang memiliki suhu lebih tinggi berpindah ke sistem yang memiliki suhu yang lebih rendah (Hossain, 2011). Perpindahan suhu ini akan berhenti apabila kedua sistem telah memiliki suhu yang sama (Holman, 2005). Pindah panas pada pengeringan terjadi akibat suhu bahan lebih rendah dari pada suhu udara yang dialirkan di sekelilingnya (Holman, 2005). Panas yang diberikan ini akan menaikkan suhu bahan dan menyebabkan tekanan uap air di dalam bahan lebih tinggi dari pada tekanan

uap di udara, sehingga terjadi perpindahan uap air dari bahan ke udara yang merupakan pindah massa Mujumdar, (2006)

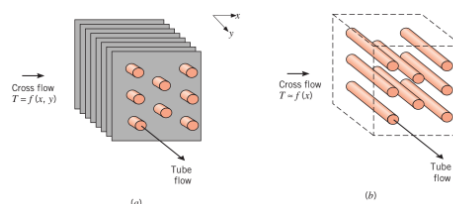
1.1.3. Alat Penukar Panas (Heat Exchanger)

Menurut (Arsana, 2016) alat penukar panas merupakan suatu peralatan yang digunakan untuk mempertukarkan energi dalam bentuk panas antara aliran fluida yang berbeda suhu yang dapat terjadi melalui kontak langsung maupun tidak langsung. Salah satu aplikasi dari prinsip pertukaran panas adalah pada penukar panas jenis pembuluh dan kawat (wire and tube exchangers).

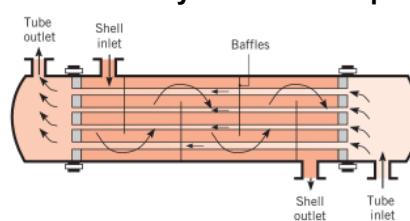
Menurut (BERGMAN et al., 1807) proses pertukaran panas antara dua fluida yang berada pada temperatur yang berbeda dan dipisahkan oleh dinding padat terjadi pada banyak aplikasi teknik. Perangkat yang digunakan untuk menerapkan pertukaran ini disebut penukar panas, dan aplikasi khusus dapat ditemukan dalam pemanas ruangan dan pendingin udara, produksi listrik, pemulihan panas limbah, dan pemrosesan kimia.



Gambar 1. Penukar panas tabung konsentris, (a) Aliran paralel. (b) Arus Balik.



Gambar 2. Penukar panas aliran silang, penukar. (a) Bersipir dengan kedua cairan tidak tercampur. (b) Tanpa sirip dengan satu cairan bercampur dan yang lainnya tidak tercampur.



Gambar 3. Penukar panas shell-and-tube dengan satu shell pass dan satu tube pass (modus operasi cross-counterflow).

1.1.4. Komponen Utama Heat Exchanger

Berikut adalah komponen utama heat exchanger, yaitu:

1.2.4.1. Tube

Tube digunakan sebagai media konduktor panas antara fluida cairan dan dingin. Tube

berdasarkan ukuran diameter pipa dibedakan menjadi diameter luar tube diukur berdasarkan rooms, sedangkan ketebalannya menggunakan BWG standar (Birmingham Wire Gages). Terdapat dua jenis tube yaitu polos dan bersirip.

1.2.4.2. Tube Bundle

Tube Bundle tersusun atas tube yang saling sambung menyambung antara ujung samping pangkal dari tube dalam 1 atau 2 sheet (lembar) Tube bundle merupakan rangkaian penting dalam penukar panas, dan penentuan besarnya kapasitas peralatan.

1.2.4.3. Tube Sheet

Adalah tempat penautan atau pengikatan tube berakhir Tube sheet terbuat dari bahan dengan ketebalan dan jenis yang tergantung dari jenis cairan yang mengalir didalam peralatan.

1.2.4.4. Shell

Shell adalah silinder yang terletak diluar pada bagian penukar panas. Ukuran bentuk shell (ketebalan plat dan diameter) dibatasi oleh ulasan pertimbangan kemampuan seperti penanganan dibidang pemeliharaan dan pembersihan fasilitas.

1.2.4.5. Baffle Plate

Baffle plate dipasang pada sekat tube seperti shell. Adanya sekat (baffle) menyebabkan aliran fluida dalam shell menjadi lebih panjang dan berkelok, sehingga perpindahan panas lebih sempurna dan bisa diatur.

1.2.4.6. Tie Rod

Adalah batang besi yang berbentuk bulat yang memiliki ulir pada kedua ujungnya dan ditempatkan dalam lembar tube (tube sheet).

2. Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam proses perhitungan Evaluasi Heat Exchanger adalah metode kuantitatif Metode ini dilakukan dengan cara mengambil data yang diperoleh dari Unit Kilang PPSDM Migas selama 5(lima) hari. Data yang telah diperoleh dari Unit Kilang PPSDM Migas diolah sesuai dengan diagram alir prosedur kegiatan dan skema kerja.

2.1. Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini seluruhnya berdasarkan data proses produksi dari Unit Kilang di PPSDM Migas yang telah terintegrasi dan telah tersedia, sehingga pengambilan data dapat diperoleh dari

- Data Lapangan
- Control Room
- Laboratorium Unit Kilang
- Buku Literatur

2.3. Analisa Performance Heat Exchanger

Untuk menganalisa performance suatu *Heat Exchanger*, parameter-parameter yang digunakan adalah :

2.3.1. Duty (Q)

Duty merupakan besarnya energi atau panas yang ditransfer per waktu. *Duty* dapat dihitung baik pada fluida dingin atau fluida panas. Apabila *duty* pada saat operasional lebih kecil dibandingkan dengan *duty* pada kondisi desain, kemungkinan terjadi *heat losses*, *fouling* dalam *tube*, penurunan laju alir (fluida panas atau dingin), dan lain-lain. *Duty* dapat meningkat seiring bertambahnya kapasitas. Untuk menghitung unjuk kerja alat penukar panas, pada dasarnya menggunakan persamaan berikut :

$$Q = W \times C_p \times \Delta T$$

Keterangan :

Q = Jumlah panas yang dipindahkan (Btu/hr)
W = Laju alir (lb/hr)
Cp = *Specific heat* fluida (Btu/lb oF)
 ΔT = Perbedaan temperatur yang masuk dan keluar (oF)

2.3.2. Log Mean Temperature Difference (LMTD)

$$LMTD = \frac{\Delta t_h - \Delta t_c}{\ln \frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}}$$

Keterangan :

Δt_h = Beda temperatur tinggi (oF)
 Δt_c = Beda temperatur rendah (oF)

2.3.3. Uc (Clean Overall Coefficient)

Clean Overall Coefficient merupakan coefficient panas menyeluruh pada awal Heat Exchanger yang dipakai (masih bersih), biasanya ditentukan oleh besarnya tahanan konveksi ho dan hio, sedangkan tahanan konduksi diabaikan karena sangat kecil bila dibandingkan dengan tahanan konveksi.

$$U_c = \frac{h_{io} \times h_o}{h_{io} + h_o}$$

2.3.4. UD (Design/Dirty Overall Coefficient)

Design/Dirty Overall Coefficient merupakan koefisien perpindahan panas menyeluruh setelah terjadi pengotoran pada heat exchanger, besarnya Ud lebih kecil daripada Uc.

$$U_d = \frac{Q_{tube}}{A \times \Delta T_{LMTD}}$$

2.3.5. Heat balance

$$Q = W \cdot C_p \cdot (T_1 - T_2) = w \cdot C_p \cdot (t_1 - t_2)$$

Bila panas yang diterima fluida lebih kecil daripada panas yang dilepaskan fluida panas berarti panas yang hilang lebih besar dan ini mengurangi performance suatu Heat Exchanger.

2.3.6. Fouling factor

Rd atau *Fouling factor* merupakan *resistance* dan heat exchanger yang dimaksudkan untuk mereduksi korosifitas akibat dari interaksi antara fluida dengan dinding pipa *heat exchanger*, tetapi setelah digunakan beberapa lama Rd akan mengalami akumulasi (deposited), hal ini tidak baik untuk Heat Exchanger karena Rd yang besar akan menghambat laju perpindahan panas antara hot fluid dan cold fluid. Jika *fouling* tidak dapat dicegah, dibutuhkan pembersihan secara periodik. Beberapa cara pembersihan yaitu secara kimia contohnya pembersihan endapan karbonat dan klorinasi, secara

mekanis contohnya dengan mengikis atau penyikatan dan dengan penyemprotan semprotan air dengan kecepatan sangat tinggi. Pembersihan ini membutuhkan waktu yang tidak singkat sehingga terkadang operasi produksi harus dihentikan.

$$Rd = \frac{U_c - U_d}{U_c \times U_d}$$

Bila R_d (deposited) > R_d (allowed) maka Heat Exchanger tersebut perlu dibersihkan. R_d yang diijinkan sebesar $0,004 \text{ hr.ft}^2 \cdot \text{F/Btu}$.

2.3.7. Pressure Drop (ΔP)

Penurunan tekanan baik di shell maupun di tube tidak boleh melebihi batas *pressure drop* yang diizinkan. Tekanan dalam heat exchanger, merupakan *Driving Force* bagi aliran fluida di shell maupun di tube, jika *pressure drop* lebih besar dari yang diizinkan maka akan menyebabkan laju alir massa (lb/hr) inlet fluida di shell dan di tube jauh berbeda dengan laju alir massa outlet masing-masing fluida. Hal ini akan menurunkan performance dari Heat Exchanger tersebut. *Pressure drop* pada shell dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\Delta P_s = \frac{f \times G_s^2 \times (N+1)}{5,225 \times 10^{10} \times D_e \times S G_{60}^{60} \times \phi_s}$$

Pressure drop pada tube dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\Delta P_t = \frac{f \times G_t^2 \times L \times N}{5,225 \times 10^{10} \times I D_t \times S G_{60}^{60} \times \phi_t}$$

Keterangan :

F = fanning friction factor

G_s = laju aliran massa per satuan luas dalam shell

N = jumlah pass/ laluan tube

D = diameter dalam tube

S_g = specific gravity

Penurunan tekanan baik di *shell* maupun di *tube* tidak boleh melebihi batas *pressure drop* yang diizinkan. Tekanan dalam *heat exchanger*, merupakan *driving force* bagi aliran fluida di shell maupun di tube, jika *pressure drop* lebih besar dari yang diizinkan maka akan menyebabkan laju alir massa inlet fluida di tube jauh berbeda dengan laju alir massa outlet masing-masing fluida. Hal ini akan menurunkan performance dari heat exchanger tersebut.

Dalam menganalisa performance shell dan tube heat exchanger diasumsikan :

1) Terdapat *heating surface* yang sama pada setiap pass.

2) *Overall Coefficient Heat Transfer* (U_c) adalah konstan.

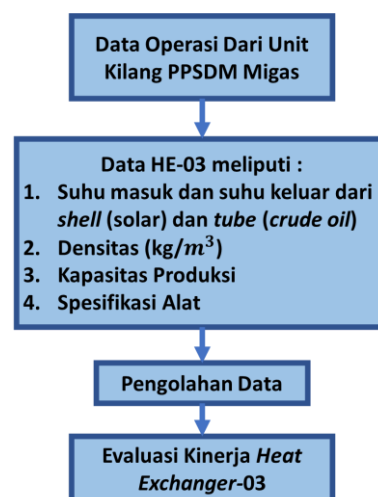
3) Laju alir massa fluida di shell dan di tube adalah konstan.

4) *Specific Heat* dari masing-masing fluida adalah konstan.

5) Tidak ada perubahan fasa penguapan pada setiap bagian dari *heat exchanger*.

6) *Heat Loss* diabaikan.

2.4. Skema Kerja



3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Spesifikasi Heat Exchanger Pada PPSDM MIGAS CEPU

Tabel 1. Spesifikasi Heat Exchanger Nomor 03 PPSDM MIGAS Cepu

No.	Uraian	Notasi	Satuan	HE-02
Shell				
1	Diameter Luar	Ods	Inchi	31,614
2	Diameter Dalam	ID	Inchi	30,374
3	Jumlah Baffle	N	Buah	4
4	Jarak Antar Baffle	B	Inchi	23,623
5	Jumlah Passes	N		1
6	Jenis Fluida			Solar
Tube				
1	Diameter Luar	Odt	Inchi	1
2	Panjang Tube	L	Feet	10
3	Jumlah Tube	Nt	Buah	400
4	BWG			14
5	Pitch	Pt	Inchi	1,25
6	Jarak Antar Tube	C'	Inchi	0,25
7	Jumlah Passes	N		1
8	Jenis Fluida			Crude Oil
Tahun Pembuatan				2009

3.2. Analisa Efisiensi Heat Exchanger Nomor

a) Data Lapangan

Tabel 2. Data Lapangan Bagian Shell
Shell (Solar)

Tanggal	Kapasitas / Hari Vs (L/D)	Suhu Masuk T ₁ (°C)	Suhu Keluar T ₂ (°C)	Densitas (ρ) 15°C, kg/m ³
11 April 2022	185.834	195	143	0,8456
12 April 2022	178.884	195	148	0,8433
13 April 2022	145.359	212	155	0,8538
14 April 2022	183.232	220	155	0,8466
15 April 2022	155.430	212	138	0,8578
Rata - rata	169.748	206,8	147,8	0,8494

Tabel 3. Data Lapangan Bagian Tube
Tube (Crude Oil)

Tanggal	Kapasitas / Hari Vs (L/D)	Suhu Masuk t ₁ (°C)	Suhu Keluar t ₂ (°C)	Densitas (ρ) 15°C, kg/m ³
11 April 2022	275.241	60	90	0,8416
12 April 2022	271.566	60	86	0,8416
13 April 2022	283.601	61	87	0,8423
14 April 2022	278.164	60	86	0,8423
15 April 2022	281.913	53	85	0,8423
Rata - rata	278.097	70,6	86,8	0,8420

b) Analisa Perhitungan

Tabel 4. Analisa Perhitungan Heat Exchanger Nomor 03

SHELL (SOLAR)	TUBE (CRUDE OIL)	
T ₁ (Masuk) = 206,8 °F T ₂ (Keluar) = 147,8 °F V solar = 169.748 m ³ /hari	t ₁ (Masuk) = 70,6 °F t ₂ (Keluar) = 86,8 °F V crude oil = 278.097 m ³ /hari	
1) Kecepatan Aliran (Ws) Ws = V _{solar} x ρ _s Ws = $\frac{169.748 \text{ L}}{\text{hari}} \times \frac{1 \text{ hari}}{24 \text{ jam}} \times 0,842 \frac{\text{kg}}{\text{L}} \times 2,2046 \frac{\text{lb}}{\text{kg}}$ Ws = 13129,11 $\frac{\text{lb}}{\text{jam}}$	1) Kecepatan Aliran (Wt) Wt = V _{crude oil} x ρ _t Wt = $\frac{278.097 \text{ m}^3}{\text{hari}} \times \frac{1 \text{ hari}}{24 \text{ jam}} \times 847,200 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 2,2046 \frac{\text{lb}}{\text{kg}}$ Wt = 21637,06 $\frac{\text{lb}}{\text{jam}}$	
2) SG solar SG _{solar} = $\frac{\rho_s}{\rho_{air}} = \frac{842,430 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{997 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}$ SG _{solar} = 0,845	2) SG crude oil SG _{crude oil} = $\frac{\rho_t}{\rho_{air}} = \frac{847,200 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{997 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}$ SG _{crude oil} = 0,850	
3) Suhu rata-rata (T_{av}) T _{av} = $\frac{T_1 + T_2}{2} = \frac{206,8 \text{ °F} + 147,8 \text{ °F}}{2}$ T _{av} = 177,3 °F	3) Suhu rata-rata (t_{av}) t _{av} = $\frac{t_1 + t_2}{2} = \frac{70,6 \text{ °F} + 86,8 \text{ °F}}{2}$ t _{av} = 78,7 °F	
°API °API = $\frac{141,5}{SG^{60/60 \text{ °F}}} - 131,5$ °API = $\frac{141,5}{0,845} - 131,5$ °API = 35,956	°API °API = $\frac{141,5}{SG^{60/60 \text{ °F}}} - 131,5$ °API = $\frac{141,5}{0,850} - 131,5$ °API = 34,971	
Cp = 0,51 Btu/lb°F (gambar 4. Kern)	cp = 0,45 Btu/lb°F	
3) Menghitung panas yang dibutuhkan (qs) qs = Ws x Cp x (T ₁ - T ₂) qs = $13129,11 \frac{\text{lb}}{\text{jam}} \times 0,51 \frac{\text{Btu}}{\text{lb °F}} \times (206,8 - 147,8) \text{ °F}$ qs = 395054,9199 $\frac{\text{Btu}}{\text{jam}}$	4) Menghitung panas yang dibutuhkan (qt) qt = Wt x Cp x (T ₂ - T ₁) qt = $21637,06 \frac{\text{lb}}{\text{jam}} \times 0,45 \frac{\text{Btu}}{\text{lb °F}} \times (86,8 - 70,6) \text{ °F}$ qt = 157734,1674 $\frac{\text{Btu}}{\text{jam}}$	
5) Menghitung neraca panas Q = qs - qt Q = $395054,9199 \frac{\text{Btu}}{\text{jam}} - 157734,1674 \frac{\text{Btu}}{\text{jam}}$ Q = 237316,7525 $\frac{\text{Btu}}{\text{jam}}$ Losses = $\frac{Q}{qs} = \frac{237316,7525 \frac{\text{Btu}}{\text{jam}}}{395054,9199 \frac{\text{Btu}}{\text{jam}}} \times 100\% = 60\%$		
6) Menghitung Log Mean Temperature difference (LMTD)		
Shell (solar)	Tube (crude oil)	ΔT
T ₁ = 206,8	t ₂ = 86,8	Δt _h = 120
T ₂ = 147,8	t ₁ = 70,6	Δt _c = 77,2
ΔT _h = 59	Δt = 16,2	Δt _h - Δt _c = 42,8
LMTD = $\frac{\Delta t_h - \Delta t_c}{\ln \frac{\Delta t_h}{\Delta t_c}} = \frac{42,8}{\ln \frac{120}{77,2}} = 97,0318 \text{ °F}$		
R = $\frac{T_1 - T_2}{t_2 - t_1} = \frac{206,8 - 147,8}{86,8 - 70,6} = 3,642$		
S = $\frac{t_2 - t_1}{T_1 - t_1} = \frac{86,8 - 70,6}{206,8 - 70,6} = 0,1189$		
FT = 0,9826 (gambar 18. Kern)		
ΔTLMTD = FT x LMTD = 0,9826 x 97,0318 = 95,3434 °F		
7) Menentukan Faktor Kontroling Fluida (ke solar) dan friksi kalor (fc)		
$\frac{\Delta t_c}{\Delta t_h} = \frac{77,2}{120} = 0,6433$		
*berdasarkan gambar 17. Kern, diperoleh		
Kc = 0,17		
fc = 0,44		

<p>4) Menghitung suhu kalor $T_c = T_2 + (fc \times (T_1 - T_2))$ $T_c = 147,8 + (0,44 \times (206,8 - 147,8))$ $T_c = 173,76 \text{ }^\circ\text{F}$</p>	<p>8) Menghitung suhu kalor $tc = t_1 + (fc \times (t_2 - t_1))$ $tc = 70,6 + (0,44 \times (86,8 - 70,6))$ $tc = 77,728 \text{ }^\circ\text{F}$</p>
<p>9) Menghitung flow area shell (As) dan diameter ekuivalen (De) Diketahui : Diameter dalam (ID) = 30,748 Inchi Pitch (Pt) = 1,25 in Tube clearance (C'') = Pt - OD = 1,25 - 1 = 0,25 in Jarak antar baffle (B) = 23,623 in $A_s = \frac{ID \times C'' \times B}{144 \times Pt}$ $A_s = \frac{30,748 \text{ inc} \times 0,25 \text{ in} \times 23,623 \text{ in}}{144 \text{ in}^2 \times 1,25 \text{ inc}}$ $A_s = 1,0088 \text{ ft}^2$ *Berdasarakan gambar 28. Kern, diketahui OD = 1 in, Pt triangular = 1,25 in. Diperoleh : $De = 0,72 \text{ in} = \frac{0,72}{12} \text{ ft} = 0,06 \text{ ft}$</p>	<p>9) Menghitung flow area tube (At) Diketahui : Jumlah tube (Nt) = 400 Jumlah pass (n) = 1 Diameter dalam (OD) = 1 in BWG = 14 Didapatkan flow area pertube (At'') = 0,546 in²(kern, table 10) $A_t = \frac{Nt \times At''}{144 \times n}$ $A_t = \frac{400 \times 0,546 \text{ in}^2}{144 \times 1}$ $A_t = 1,5167 \text{ ft}^2$ Pada 1 in OD tubes dan BWG =14, diperoleh : $IDt = 0,834 \text{ in} = \frac{0,834}{12} = 0,0695 \text{ ft}$</p>
<p>10) Menghitung kecepatan massa (Gs) $G_s = \frac{W_s}{A_s}$ $G_s = \frac{13129,11 \text{ lb/jam}}{1,0088 \text{ ft}^2}$ $G_s = 13014,5817 \frac{\text{lb}}{\text{jam ft}^2}$</p>	<p>10) Menghitung kecepatan massa (Gt) $G_t = \frac{W_s}{A_t}$ $G_t = \frac{21637,06 \text{ lb/jam}}{1,5167 \text{ ft}^2}$ $G_t = 14265,8799 \frac{\text{lb}}{\text{jam ft}^2}$</p>

<p>10) Menentukan bilangan reynold *Berdasarakan gambar viscositas of petroleum dan gambar 14 dengan : $T_c = 173,76 \text{ }^\circ\text{F}$ $^\circ\text{API} = 35,956$; diperoleh data : 35 $^\circ\text{API} = (x = 10 ; y = 20)$ Maka $\mu = 1,72 \text{ cp}$ 42 $^\circ\text{API} = (x = 11,6 ; y = 16)$ Maka $\mu = 0,83 \text{ cp}$ Untuk mencari μ pada $^\circ\text{API} = 35,956$, dilakukan dengan cara interpolasi sebagai berikut : $\frac{42 - 35,956}{42 - 35} = \frac{0,83 - x}{0,83 - 1,72}$ $\mu(x) = 1,5985 \text{ cp}$ $\mu(x) = 1,5985 \times 2,42 \frac{\text{lb}}{\text{ft jam}}$ $\mu(x) = 3,86837 \frac{\text{lb}}{\text{ft jam}}$ $Res = \frac{De \times G_s}{\mu}$ $Res = \frac{0,06 \text{ ft} \times 13014,5817 \frac{\text{lb}}{\text{jam ft}^2}}{3,86837 \frac{\text{lb}}{\text{ft jam}}}$ $Res = 201,8615$</p>	<p>11) Menentukan bilangan reynold *Berdasarakan gambar viscositas of petroleum dan gambar 14 dengan : $t_c = 77,728 \text{ }^\circ\text{F}$ $^\circ\text{API} = 34,971$; diperoleh data 34 $^\circ\text{API} = (x = 10,3 ; y = 21,3)$ Maka $\mu = 5,53 \text{ cp}$ 35 $^\circ\text{API} = (x = 10 ; y = 20)$ Maka $\mu = 4,33 \text{ cp}$ Untuk mencari μ pada $^\circ\text{API} = 34,971$, dilakukan dengan cara interpolasi sebagai berikut : $\frac{35 - 34,971}{35 - 34} = \frac{4,33 - x}{4,33 - 5,53}$ $\mu(x) = 4,3648 \text{ cp}$ $\mu(x) = 4,3648 \times 2,42 \frac{\text{lb}}{\text{ft jam}}$ $\mu(x) = 10,56282 \frac{\text{lb}}{\text{ft jam}}$ $Ret = \frac{IDt \times G_t}{\mu}$ $Ret = \frac{0,0695 \text{ ft} \times 14265,8799 \frac{\text{lb}}{\text{jam ft}^2}}{10,56282 \frac{\text{lb}}{\text{ft jam}}}$ $Ret = 93,8650$</p>
---	---

<p>12) Menghitung koefisien perpindahan panas lapisan film pada bagian luar shell (ho) *Berdasarakan gambar 4 dengan data : $T_c = 173,76 \text{ }^\circ\text{F}$ $^\circ\text{API} = 35,956$ diperoleh $C_p = 0,515 \frac{\text{btu}}{\text{lb } ^\circ\text{F}}$ dan gambar 1 diperoleh $k = 0,0773 \frac{\text{Btu}}{\text{jam ft}^2 \text{ }^\circ\text{F}}$ *Berdasarakan gambar 28. Kern dengan $Res = 201,8615$ Diperoleh $j_H = 7,3$ $\frac{h_o}{\phi_s} = j_H \times \frac{k}{De} \times \left[\frac{C_p \times \mu}{k} \right]^{1/3}$</p>	<p>12) Menghitung koefisien perpindahan panas lapisan film pada bagian luar tube (hi) *Berdasarakan gambar 4 dengan data : $t_c = 77,728 \text{ }^\circ\text{F}$ $^\circ\text{API} = 34,971$ diperoleh $cp = 0,482 \frac{\text{btu}}{\text{lb } ^\circ\text{F}}$ dan gambar 1 diperoleh $k = 0,0781 \frac{\text{Btu}}{\text{jam ft}^2 \text{ }^\circ\text{F}}$ $\frac{1}{IDt} = \frac{10 \text{ ft}}{0,0695 \text{ ft}} = 143,8849$ *Berdasarakan gambar 24. Kern dengan : $\frac{L}{IDt} = 143,8849$ $Ret = 93,8650$ Diperoleh $j_H = 1,9$ $\frac{h_i}{\phi_t} = j_H \times \frac{k}{IDt} \times \left[\frac{C_p \times \mu}{k} \right]^{1/3}$</p>
---	--

<p>12) Menghitung suhu dinding luar tube (tw) $\frac{h_{io}}{\phi_t} = \frac{h_i}{\phi_t} \times \frac{IDt}{OD}$ $\frac{h_{io}}{\phi_t} = 8,3985 \frac{\text{btu}}{\text{jam } ^\circ\text{F ft}^2} \times \frac{0,834 \text{ in}}{1 \text{ in}}$ $\frac{h_{io}}{\phi_t} = 7,004349 \frac{\text{btu}}{\text{jam } ^\circ\text{F ft}^2}$ $tw = tc + \frac{\phi_s}{\phi_s + \phi_t} \times (Tc - tc)$ $tw = 77,728 \text{ }^\circ\text{F} + \frac{27,7803 \frac{\text{btu}}{\text{jam } ^\circ\text{F ft}^2}}{27,7803 \frac{\text{btu}}{\text{jam } ^\circ\text{F ft}^2} + 7,004349 \frac{\text{btu}}{\text{jam } ^\circ\text{F ft}^2}} \times (173,76 \text{ }^\circ\text{F} - 77,728 \text{ }^\circ\text{F})$ $tw = 154,42269$</p>

<p>13) Menghitung koefisien transfer panas bagian shell (ho) $tw = 154,42269$ $^\circ\text{API} = 35,956$; diperoleh data : 35 $^\circ\text{API} = (x = 10 ; y = 20)$ Maka $\mu = 2,15 \text{ cp}$ 42 $^\circ\text{API} = (x = 11,6 ; y = 16)$ Maka $\mu = 0,94 \text{ cp}$ Untuk mencari μ pada $^\circ\text{API} = 35,956$, dilakukan dengan cara interpolasi sebagai berikut : $\frac{42 - 35,956}{42 - 35} = \frac{x - 2,15}{0,94 - 2,15}$ $\mu(x) = 1,10525 \text{ cp}$ $\mu(x) = 1,10525 \times 2,42 \frac{\text{lb}}{\text{ft jam}}$ $\mu(x) = 2,67471 \frac{\text{lb}}{\text{ft jam}}$ $\phi_s = \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0,14}$ $\phi_s = \left(\frac{3,86837 \frac{\text{lb}}{\text{ft jam}}}{2,67471 \frac{\text{lb}}{\text{ft jam}}} \right)^{0,14}$ $\phi_s = 1,05302$ $ho = \frac{ho}{\phi_s} \times \phi_s$ $ho = 27,7803 \frac{\text{btu}}{\text{jam } ^\circ\text{F ft}^2} \times 1,05302$ $ho = 29,25321 \frac{\text{btu}}{\text{jam } ^\circ\text{F ft}^2}$</p>	<p>14) Menghitung koefisien transfer panas bagian shell (hi) $tw = 154,42269$ $^\circ\text{API} = 34,971$; diperoleh data 34 $^\circ\text{API} = (x = 10,3 ; y = 21,3)$ Maka $\mu = 1,95 \text{ cp}$ 35 $^\circ\text{API} = (x = 10 ; y = 20)$ Maka $\mu = 2,15 \text{ cp}$ Untuk mencari μ pada $^\circ\text{API} = 34,971$, dilakukan dengan cara interpolasi sebagai berikut : $\frac{35 - 34,971}{35 - 34} = \frac{x - 1,95}{2,15 - 1,95}$ $\mu(x) = 1,9558 \text{ cp}$ $\mu(x) = 1,9558 \times 2,42 \frac{\text{lb}}{\text{ft jam}}$ $\mu(x) = 4,73304 \frac{\text{lb}}{\text{ft jam}}$ $\phi_t = \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0,14}$ $\phi_t = \left(\frac{10,56282 \frac{\text{lb}}{\text{ft jam}}}{4,73304 \frac{\text{lb}}{\text{ft jam}}} \right)^{0,14}$ $\phi_t = 1,11895$ $h_{io} = \frac{h_{io}}{\phi_t} \times \phi_t$ $h_{io} = 7,004349 \frac{\text{btu}}{\text{jam } ^\circ\text{F ft}^2} \times 1,11895$ $h_{io} = 7,83752 \frac{\text{btu}}{\text{jam } ^\circ\text{F ft}^2}$</p>
--	---

<p>14) Menghitung koefisien bersih $U_c = \frac{h_{io} \times h_o}{h_{io} + h_o}$ $U_c = \frac{7,83752 \times 29,25321}{7,83752 + 29,25321}$ $U_c = 6,18140 \frac{\text{btu}}{\text{jam } ^\circ\text{F ft}^2}$</p>
--

<p>15) Menghitung koefisien desain (Ud) Dari data diketahui, OD tube = 1 in, BWG = 14, maka didapat a'' = 0,2618 ft $A = Nt \times L \times a''$ $A = 400 \times 10 \text{ ft} \times 0,2618 \text{ ft}$ $A = 1047,2 \text{ ft}^2$ $U_d = \frac{Q \text{ tube}}{A \times \Delta T_{LMTD}}$ $U_d = \frac{237316,7525 \frac{\text{Btu}}{\text{jam}}}{1047,2 \text{ ft} \times 95,3434 \text{ }^\circ\text{F}}$ $U_d = 2,3769 \frac{\text{btu}}{\text{jam } ^\circ\text{F ft}^2}$</p>
--

<p>16) Menghitung nilai Rd $R_d = \frac{U_c - U_d}{U_c \times U_d}$ $R_d = \frac{6,18140 - 2,3769}{6,18140 \times 2,3769}$ $R_d = 0,25894 \frac{\text{btu}}{\text{jam } ^\circ\text{F ft}^2}$</p>
--

<p>17) Menghitung efisiensi HE-3 $\eta = \frac{qt}{qs} \times 100\%$ $\eta = \frac{157734,1674 \frac{\text{Btu}}{\text{jam}}}{395054,9199 \frac{\text{Btu}}{\text{jam}}} \times 100\%$ $\eta = 39,927\%$</p>

<p>18) Menghitung pressure drop penurunan tekanan bagian shell (ΔP_s)</p> <p>Res = 201,8615</p> <p>Dari gambar 29 diperoleh : f =</p> $0,0045 \frac{ft^2}{in^2}$ <p>$^{\circ}API = 35,956$</p> <p>Tc = 173,76 $^{\circ}F$</p> <p>SG_{solar} 60/60 $^{\circ}F = 0,845$</p> <p>De = 0,06 ft</p> $Gs = 13014,5817 \frac{lb}{jam \ ft^2}$ <p>$\emptyset_s = 1,05302$</p> <p>Jumlah crosses</p>	<p>19) Menghitung pressure drop penurunan tekanan bagian tube (ΔP_t)</p> <p>Ret = 93,8650</p> <p>Dari gambar 29 diperoleh : f =</p> $0,0064 \frac{ft^2}{in^2}$ <p>$^{\circ}API = 34,971$</p> <p>L = 10 ft</p> <p>N = 1 buah</p> <p>SG_{crude oil} = 0,850</p> <p>IDt = 0,0695 ft</p> $Gt = 14265,8799 \frac{lb}{jam \ ft^2}$ <p>$\emptyset_t = 1,11895$</p>
--	---

Tabel 5. Hasil Pehitungan Analisa Heat Exchanger Nomor 03

Efisiensi Heat Exchanger	39,927%
Losses	60 %
Ud ($\frac{\text{btu}}{\text{jam } ^\circ\text{Fft}^2}$)	2,3769 $\frac{\text{btu}}{\text{jam } ^\circ\text{Fft}^2}$
Uc ($\frac{\text{btu}}{\text{jam } ^\circ\text{Fft}^2}$)	6,18140 $\frac{\text{btu}}{\text{jam } ^\circ\text{Fft}^2}$
Rd	0,25894 $\frac{\text{btu}}{\text{jam } ^\circ\text{Fft}^2}$
ΔPs (psi)	0,00139 psi
ΔPt (psi)	0,00377 psi

4. Simpulan

Dari hasil pengujian yang telah dilaksanakan maka dapat disimpulkan bahwa data dari lapangan yang didapat saat dilakukan perhitungan, diperoleh efisiensi alat *heat exchanger* nomor 03 di kilang PPSDM MIGAS Cepu adalah 39,927% dengan *losses* sebesar 60%. Yang artinya *heat exchanger* nomor 03 masih layak digunakan atau dioperasikan karena tidak melebihi pressure drop yang diizinkan. Nilai pressure drop yang diizinkan sebesar 10 Psi.

Daftar Pustaka

Arsana, I. M. (2016). *PENGARUH JARAK ANTAR KAWAT TERHADAP EFISIENSI PENUKAR PANAS*

JENIS PEMBULUH DAN KAWAT KONVEKSI BEBAS. 21, 142–153. <https://doi.org/13005-34395-1-PB>

BERGMAN, T., LAVINE, A., INCOPERA, F., & DEWITT, D. (1807). *Fundamentals of Heat and Mass Transfer 7th Edition - Incropera* (R. Marchione, Ed.; 7th ed.).

Furqan, M., Syukran, S., & Sariyusda, S. (2020). Kaji Eksperimental Dan Analisa Kinerja Penukar Panas Udara Type Shell and Tube Jenis Aliran Berlawanan. *Jurnal Mesin Sains Terapan*, 4(1), 57. <https://doi.org/10.30811/jmst.v4i1.1746>

Holman, J. P. (2005). *Heat Transfer Tenth Edition*. 120.

Hossain, M. (2011). *Heat and Mass Transfer: Modeling and Simulation*. InTech.

Kavadya, S., & Ropiudin. (2020). *Perpindahan Panas pada Pengering Tipe Drum Berputar pada Kondisi Tanpa Beban*. 3(1), 1–15.

Mujumdar, A. (2006). *HANDBOOK OF INDUSTRIAL DRYING* (3rd ed.). by Taylor & Francis Group.