



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Uraian Proses

II.1.1 Prinsip Dasar Distilasi Atmosferik

Proses pengolahan minyak bumi di Pusat Pengembangan Sumber Daya Manusia Minyak dan Gas Bumi menggunakan unit distilasi atmosferis. Unit distilasi atmosferis merupakan suatu unit yang bertugas untuk melaksanakan seluruh rangkaian kegiatan pemisahan minyak mentah (crude oil) menjadi produk-produk minyak bumi berdasarkan perbedaan titik didih komponen pada tekanan 1 atm. Bertujuan untuk memisahkan fraksi-fraksi yang ada pada crude oil menjadi produk-produk yang dikehendaki pada tekanan atmosfer.

Proses pemisahan secara distilasi berdasarkan tiga tahapan operasi, yaitu: proses penguapan atau penambahan sejumlah panas ke dalam larutan yang akan dipanaskan, proses pembentukan fase seimbang dan proses pemisahan kedua fase setimbang. Ketiga tahap distilasi dilakukan di dalam kolom distilasi jenis bubble cap tray tower dengan suhu puncak kolom $\pm 115^{\circ}\text{C}$ dan suhu dasar kolom $\pm 270^{\circ}\text{C}$ (Rosyidi, 2020).

II.1.2 Peralatan Utama pada Unit Kilang

Unit kilang pada PPSDM Migas mempunyai beberapa alat utama yang digunakan pada proses pengolahan minyak mentah (crude oil) menjadi produk minyak bumi. Untuk dapat terlaksananya proses pengolahan, maka dibutuhkan peralatan pokok antara lain :

1. Pompa

Fungsi pompa di kilang adalah untuk mengalirkan cairan dari suatu tempat ketempat lain, atau dari tempat yang lebih rendah ke tempat yang lebih tinggi. Yang digunakan adalah pompa reciprocating (torak) dengan penggerak steam, pompa centrifugal dengan penggerak listrik dan pompa screw dengan penggerak motor listrik. Penggunaan pompa menurut fungsinya adalah :



LAPORAN PRAKTEK KERJA LAPANG
PUSAT PENGEMBANGAN SUMBER DAYA MANUSIA MIGAS
PERIODE NOVEMBER 2021

- a. Pompa *feed* (umpan) : digunakan untuk memompa feed (umpan) dari tangki feed ke proses.
 - b. Pompa reflux : digunakan untuk memompa dari tangka naptha ke kolom C-1 dan C-2
 - c. Pompa fuel oil : digunakan untuk memompa bahan bakar (fuel oil) dari tangki fuel oil ke furnace dan boiler
 - d. Pompa distribusi : digunakan untuk memompa produk dari tangka produk ke tangka depot dan mobil tangka
2. Alat penukar panas 5 unit (HE-1,2,3,4,5)
- Alat untuk memanaskan crude oil dengan memanfaatkan panas produk kilang yang akan didinginkan. HE berfungsi sebagai pemanas awal (preheater) crude oil untuk tujuan efisiensi panas. HE yang digunakan adalah jenis Shell and Tube Heat Exchanger, Crude Oil dilewatkan pada tube dan produk panas dalam shell. Jumlah HE yang dioperasikan ada lima unit, dua HE memanfaatkan panas produk residu, satu HE memanfaatkan panas produk naphta, dan dua HE memanfaatkan panas produk solar, sehingga temperature crude oil naik dari kurang lebih 33 °C menjadi kurang lebih 140 °C.
3. Stabilizer
- Setelah keluar dari Heat Exchanger (HE), produk yang bersuhu 120 °C masuk kedalam Stabilizer yang terdapat setelah keluar dari Heat Exchanger yang berjumlah 1 buah. Fungsi dari stabilizer ini adalah agar aliran produk yang telah keluar dari Heat Exchanger stabil untuk masuk ke dalam furnace.
4. Dapur pemanas atau furnace
- Berfungsi untuk memanaskan crude oil dari kurang lebih 140 °C menjadi kurang lebih 330 °C. Pada temperature tersebut sebagian besar fraksi – fraksi pada crude oil pada tekanan sedikit diatas 1 atm telah menguap kecuali residu.
5. Evaporator
- Berfungsi untuk memisahkan antara uap dan cairan (residu) dari crude oil yang sudah dipanaskan dari furnance. Jumlah evaporator ada satu unit.



LAPORAN PRAKTEK KERJA LAPANG
PUSAT PENGEMBANGAN SUMBER DAYA MANUSIA MIGAS
PERIODE NOVEMBER 2021

6. Kolom fraksinasi

Berfungsi memisahkan masing – masing fraksi yang dikehendaki sesuai trayek didihnya. Jumlah kolom fraksinasi ada tiga unit, dua unit dioperasikan dan satu unit idle, sebagai alat kontak uap – cairan kolom fraksinasi dilengkapi bubble cup tray.

7. Kolom stripper

Berfungsi untuk menguapkan kembali fraksi ringan yang terikut pada suatu produk.

8. Condenser

Berfungsi untuk mencairkan produk uap solvent ringan (pertasol CA) dari puncak kolom C-2. Ada 12 unit condenser yang dioperasikan, empat unit condenser sebagai partial condesor dan delapan unit condesor sebagai total condenser.

9. Cooler

Berfungsi untuk mendinginkan produk cair panas menjadi produk dingin sesuai temperature yang dikehendaki.

10. Separator

Berfungsi untuk memisahkan air, minyak dan gas dalam produk. Terdapat 9 separator yang dioperasikan

11. Tangki

Berfungsi untuk menampung atau menyimpan crude oil dan produk-produknya.

(Rosyidi, 2020)

II.2 Uraian Tugas Khusus

II.2.1 Latar Belakang

Pertumbuhan industri di Indonesia sedang berkembang pesat yang mengakibatkan persaingan di dunia industri menjadi semakin kompetitif. Oleh karena itu masyarakat dituntut untuk menyesuaikan diri dengan perkembangan ini agar dapat bersaing dalam era globalisasi. Hal ini menuntut ketersediaan energi yang memadai. Saat ini, minyak dan gas bumi merupakan sumber energi andalan dan



LAPORAN PRAKTEK KERJA LAPANG
PUSAT PENGEMBANGAN SUMBER DAYA MANUSIA MIGAS
PERIODE NOVEMBER 2021

paling banyak dibutuhkan diberbagai sektor kehidupan. Di sisi lain, minyak dan gas bumi adalah energi yang tidak dapat diperbaharui. Dalam menghadapi era pasar bebas mengharuskan bangsa Indonesia memiliki sumber daya manusia yang handal dan berkualitas sehingga mampu bersaing dengan negara-negara lainnya. Mahasiswa sebagai salah satu sumber daya tersebut bertanggung jawab untuk membekali dirinya dengan ilmu pengetahuan, memperluas dan memperdalam tentang ilmu pengetahuan sekaligus mempertajam daya analisa terhadap suatu masalah sesuai dengan bidang ilmunya, sehingga keseimbangan antara dunia Pendidikan dan industry yang selaras dapat menghasilkan seorang sarjana yang memiliki pemahaman dan keterampilan yang berkaitan dengan perkembangan teknologi yang di kemudian hari dapat membuat lebih berkembang.

Alat penukar panas atau (*Heat Exchanger*) merupakan alat yang berfungsi untuk memindahkan energi panas antara dua atau lebih fluida dan terjadi pada temperatur yang berbeda antara fluida, dimana fluida tersebut ada yang bertindak sebagai fluida panas (*hot fluid*) dan yang lain bertindak sebagai fluida dingin (*cold fluid*). Salah satu fungsi dari alat penukar panas, pada industri minyak dan gas ialah sebagai pemanas awal (*pre-heater*) untuk *feed* sebelum di panaskan lebih tinggi pada *furnace*. Selain sebagai pemanas awal, *Heat Exchanger* juga berfungsi untuk menurunkan suhu suatu produk sebelum memasuki tangka maka dari itu dinamakan sebagai penukar panas (*Heat Exchanger*). Pada Kilang PPSDM MIGAS Cepu, terdapat 5 alat *Heat Exchanger* yaitu *HE 01*, *HE 02*, *HE 03*, *HE 04* dan *HE 05*. Untuk mendapatkan pemanasan awal, minyak mentah mengalir pada *tube* dari bawah ke atas pada *HE-2* atau *HE-3* yang mendapat pemanasan dari media pemanas produk solar yang diproduksi dari *bottom C4 (Solar stripper)*. Sedangkan pemanasan pada *HE-4* dan *HE-5* menggunakan media pemanas produk residu yang diproduksi



dari *bottom* C5. Semua media pemanas ini mengalir pada HE di bagian *shell* nya.

Alat penukar panas sangat berpengaruh terhadap keberhasilan dari keseluruhan rangkaian proses pada suatu industri. Apabila terjadi kegagalan operasi pada peralatan ini baik mekanikal maupun operasional dapat menyebabkan berhentinya unit operasi. Selain itu dalam suatu kilang minyak, proses perpindahan panas sangat penting dalam rangka energi konservasi, keperluan proses, persyaratan keamanan dan perlindungan terhadap lingkungan. Ada beberapa jenis dari *Heat Exchanger* yang biasa digunakan, untuk Kilang Minyak PPSDM MIGAS Cepu jenis yang digunakan adalah Shell and Tube. Dari uraian diatas maka dengan adanya kegiatan Praktek Kerja Lapangan ini akan dilakukan pembelajaran dan penelitian evaluasi kinerja *Heat Exchanger* (HE-003) di PPSDM Migas Cepu.

II.2.2 Tujuan

Tujuan dari tugas khusus ini, yakni untuk :

1. Mengevaluasi dan memberikan solusi mengenai peningkatan efisiensi kerja *Heat Exchanger*-003
2. Mengetahui nilai efisiensi kerja *Heat Exchanger*-003

II.2.3 Manfaat

Diharapkan dengan mengetahui nilai efisiensi kerja *Heat Exchanger*-003 dapat meningkatkan performa kerja *Heat Exchanger*-003.

II 2.4 Tinjauan Pustaka

A. Prinsip Kerja

Prinsip kerja dari alat penukar kalor yaitu memindahkan panas dari dua fluida pada temperatur berbeda di mana transfer panas dapat dilakukan secara langsung ataupun tidak langsung :

1. Secara kontak langsung

Panas yang dipindahkan antara fluida panas dan dingin melalui permukaan kontak langsung berarti tidak ada dinding antara kedua fluida. Transfer panas yang terjadi yaitu melalui interfase/penghubung antara kedua fluida. Contoh:



aliran *steam* pada kontak langsung yaitu 2 zat cair yang *immiscible* (tidak dapat bercampur), gas-liquid, dan partikel padat-kombinasi fluida.

2. Secara kontak tak langsung

Perpindahan panas terjadi antara fluida panas dan dingin melalui dinding pemisah. Dalam sistem ini, kedua fluida akan mengalir.

B. Jenis *Heat Exchanger*

Heat exchanger sendiri memiliki jenis yang bermacam-macam. Beberapa contoh *heat exchanger* adalah :

1. *Double-pipe heat exchanger*

Merupakan jenis paling sederhana dari *Heat Exchanger*. Satu fluida mengalir dalam pipa bagian dalam dan fluida lain berada diantara 2 pipa yang ada. Aliran fluida dapat bersifat *co-current* atau *counter current*. *Heat Exchanger* ini terbuat dari 2 pipa dengan panjang yang sama dan pada ujung pipa diberi fitting. Jenis ini biasa digunakan untuk laju alir rendah.

2. *Box heat exchanger*

Jenis ini yaitu alat penukar panas yang bagian shellnya berbentuk seperti bak atau kubus (*box*), sedangkan fluida yang didinginkan dilewatkan pada *tubenya* dan sebagai media pendingin digunakan air. Kelemahan dari jenis ini adalah kubus merupakan bentuk yang kurang baik untuk menahan tekanan yang tinggi.

3. *Shell and tube heat exchanger*

Jenis ini digunakan untuk laju alir yang lebih tinggi, sehingga sering digunakan di industri. *Tube* dipasang secara paralel dan banyak di dalam satu *shell*. Fluida dingin masuk ke dalam *tube*. Fluida panas masuk dari ujung yang berbeda aliran *counter current* di bagian *shell*. Keuntungan dari HE jenis ini adalah memiliki permukaan perpindahan panas persatuan volume yang lebih besar, mempunyai susunan mekanik yang baik dengan bentuk yang cukup baik untuk operasi bertekanan, tersedia dalam berbagai bahan konstruksi, prosedur pengoperasian lebih mudah, metode perancangan yang lebih baik telah tersedia, dan pembersihan dapat dilakukan dengan mudah. Oleh karena itu, jenis HE yang paling menguntungkan untuk digunakan adalah HE jenis *Shell and Tube*.



C. Tipe Aliran dalam *Heat Exchanger*

1. *Counter Current Flow* (berlawanan arah)

Counter current flow adalah aliran berlawanan arah, dimana fluida yang satu masuk pada satu ujung penukar kalor, sedangkan fluida yang satu lagi masuk pada ujung penukar kalor yang lain, masing-masing fluida mengalir menuju arah yang berlawanan. Untuk tipe *Counter current flow* ini memberikan panas yang lebih baik bila dibandingkan dengan aliran searah atau paralel. Sedangkan banyaknya *pass* (lintasan) juga berpengaruh terhadap efektifitas dari alat penukar panas yang digunakan

2. *Co-current* (searah)

Parallel flow atau *co-current* adalah aliran searah, dimana kedua fluida masuk pada ujung penukar panas yang sama dan kedua fluida mengalir searah menuju ujung penukar panas yang lain.

3. *Cross Flow* (Silang)

Cross flow atau sering disebut dengan aliran silang adalah fluida-fluida yang mengalir sepanjang permukaan bergerak dalam arah saling tegak lurus.

D. Perancangan *Shell and Tube Heat Exchanger*

Perancangan *heat exchanger* tipe *shell and tube* memiliki beberapa alur perancangan yang perlu diperhitungkan, yaitu:

1. Diameter *shell*, *shell* berdiameter kecil membuat *heat exchanger* menjadi lebih ekonomis. *Pressure drop* dari diameter *shell* yang lebih kecil menjadi lebih besar. Penentuan diameter *shell*, *flowrate* cairan, kapasitas ruang yang tersedia, dan biaya harus dipertimbangkan.
2. Panjang *tube*, penukar panas biasanya lebih murah ketika memiliki diameter *shell* yang lebih kecil dan panjang *tube* lebih besar. Tujuan untuk membuat penukar panas selama mungkin. Banyak keterbatasan untuk ini, termasuk ruang yang tersedia di lokasi penempatan HE tersebut.
3. *Pitch* (jarak antar pusat *tube*), proses mendesain *tube* diharuskan merancang besarnya *pitch* tidak kurang dari 1,25 kali diameter luar *tube*.
4. *Baffle*, peningkatan efisiensi pertukaran panas biasanya pada *shell and tube* dipasang sekat (*baffle*). Ini bertujuan untuk membuat turbulensi aliran fluida



dan menambah waktu tinggal, namun pemasangan sekat akan memperbesar *pressure drop* operasi dan menambah beban kerja pompa, sehingga laju alir fluida yang dipertukarkan panasnya harus dipertimbangkan.

5. Jumlah *pass*, peningkatan efisiensi pertukaran panas, jumlah *pass* yang digunakan dipertimbangkan berdasarkan *mass flow* fluida yang masuk. Besaran *mass flow* yang masuk ke dalam *heat exchanger* maka jumlah *pass* yang digunakan dapat diperbanyak. Namun *pressure drop* yang ditimbulkan karena jumlah *pass* yang besar menjadi lebih tinggi. Oleh karena itu, jumlah *pass* harus diatur agar *pressure drop* yang timbul tetap berada di bawah batas ketentuan dan efisiensi yang dihasilkan besar.
6. Diameter dalam *tube*, *tube* dengan diameter yang kecil memiliki biaya yang ekonomis. *Pressure drop* menjadi lebih besar dan lebih cepat kotor, jadi untuk menentukan diameter *tube*, *flowrate* cairan, kapasitas ruang yang tersedia, biaya dan sifat kekotoran dari cairan harus dipertimbangkan (Fitrianiingtias, 2010).

E. Faktor Pertimbangan Menentukan Aliran Fluida

Dimana tidak ada perubahan fase terjadi, faktor-faktor berikut akan menentukan alokasi aliran fluida pada *shell* atau pipa.

1. Korosi

Cairan lebih korosif harus dialokasikan ke sisi pipa. Hal ini akan mengurangi mahalnya biaya material atau komponen yang terkena fluida korosif.

2. Fouling

Fluida yang memiliki kecenderungan faktor pengotor terbesar pada permukaan perpindahan kalor harus ditempatkan dalam pipa. Hal ini akan memberikan temperatur lebih baik terhadap desain kecepatan fluida, dan besar kecepatan yang diijinkan dalam pipa akan mengurangi *fouling*. Pipa juga akan lebih mudah untuk dibersihkan.

3. Temperatur fluida

Jika suhu cukup tinggi dan memerlukan penggunaan material dengan paduan khusus maka penempatan pada fluida yang bertemperatur tinggi didalam pipa akan mengurangi biaya keseluruhan. Pada temperature sedang, menempatkan



fluida panas dalam pipa akan mengurangi suhu permukaan shell, sehingga tidak perlu pelapisan untuk mengurangi kerugian panas ke lingkungan.

4. Pengoperasian tekanan

Aliran tekanan yang lebih tinggi harus dialokasikan ke sisi pipa. Pipa bertekanan tinggi akan lebih murah daripada shell tekanan tinggi. Untuk penurunan tekanan yang sama, koefisien perpindahan kalor yang lebih tinggi akan diperoleh di sisi pipa dari pada sisi shell. Fluida dengan penurunan tekanan yang diijinkan lebih rendah harus di alokasikan pada sisi pipa.

5. Tingkat laju aliran (*Stream flow-rates*)

Mengalokasikan fluida dengan laju aliran terendah ke sisi shell biasanya akan memberikan desain yang paling ekonomis.

(Budianto,2013)

F. Metode Perhitungan

Untuk menganalisa dan meredesain suatu HE, maka parameter-parameter yang digunakan adalah:

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)

C_p = *Specific heat* fluida (Btu/lb °F)

Δt = Perbedaan temperatur yang masuk dan keluar (°F)

2. *Log Mean Temperature Difference* (LMTD)



LAPORAN PRAKTEK KERJA LAPANG
PUSAT PENGEMBANGAN SUMBER DAYA MANUSIA MIGAS
PERIODE NOVEMBER 2021

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

Keterangan :

Δt_h = Beda temperatur tinggi (°F)

Δt_c = Beda temperatur rendah (°F)

3. U_c (*Clean Overall Coefficient*)

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

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

4. U_d (*Design/Dirty Overall Coefficient*)

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

$$U_d = \frac{Q}{Nt \times a'' \times L \times LMTD}$$

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*.

6. *Fouling factor*

R_d 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 R_d akan mengalami akumulasi (*deposited*), hal ini tidak baik untuk *heat exchanger* karena R_d 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



LAPORAN PRAKTEK KERJA LAPANG
PUSAT PENGEMBANGAN SUMBER DAYA MANUSIA MIGAS
PERIODE NOVEMBER 2021

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.

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

Bila R_d (*deposited*) > R_d (*allowed*) maka *heat exchanger* tersebut perlu dibersihkan. R_d yang diijinkan sebesar $0,005 \text{ hr.ft}^2 \cdot \text{°F/Btu}$.

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 :

$$\Delta P_s = \frac{f \cdot (G_s)^2 \cdot D_s \cdot (N + 1)}{5,22 \cdot 10^{10} \cdot D_e \cdot S_g \cdot \phi_s}$$

Pressure drop pada *tube* dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\Delta P_t = \frac{f \cdot (G_t)^2 \cdot L \cdot n}{5,22 \cdot 10^{10} \cdot D \cdot S_g \cdot \phi_t}$$

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*

Dalam menganalisa *performance shell* dan *tube heat exchanger* diasumsikan:

- Terdapat *heating surface* yang sama pada setiap *pass*.
- Overall Coefficient Heat Transfer* (U_c) adalah konstan.



LAPORAN PRAKTEK KERJA LAPANG
PUSAT PENGEMBANGAN SUMBER DAYA MANUSIA MIGAS
PERIODE NOVEMBER 2021

- c) Laju alir massa fluida di shell dan di tube adalah konstan.
- d) *Specific Heat* dari masing-masing fluida adalah konstan.
- e) Tidak ada perubahan fasa penguapan pada setiap bagian dari *heat exchanger*.
- f) *Heat Loss* diabaikan

(Kern,1965)



II.2.5 Pembahasan dan Perhitungan Evaluasi *Heat Exchanger*

A. Data *Heat Exchanger*

Tabel IV.1 Spesifikasi Alat *Heat Exchanger* 003

<i>Shell</i>			
Uraian	Notasi	Satuan	
a. Diameter luar	ODs	Inchi	31,614
b. Diameter dalam	ID	Inchi	30,748
c. Jumlah <i>baffle</i>	N	Buah	4
d. Jarak antar <i>baffle</i>	B	Inchi	23,623
e. Jumlah <i>Passes</i>	N		1
f. Jenis fluida			Solar
<i>Tube</i>			
Uraian	Notasi	Satuan	
a. Diameter Luar	ODs	Inchi	1
b. Panjang <i>Tube</i>	L	Ft	10
c. Jumlah <i>Tube</i>	Nt	Buah	400
d. BWG			14
e. Pitch	Pt	Inchi	1,25
f. Jarak Antar <i>Tube</i>	C'	Inchi	0,25
g. Jumlah <i>Passes</i>	N		1
h. Jenis Fluida			<i>Crude Oil</i>



LAPORAN PRAKTEK KERJA LAPANG
 PUSAT PENGEMBANGAN SUMBER DAYA MANUSIA MIGAS
 PERIODE NOVEMBER 2021

Tabel IV.2 Data Operasi *Heat Exchanger* 003

<i>Shell (Solar)</i>					
Tanggal	Kapasitas (L/hari)	Kapasitas (ft ³ /jam)	Suhu Masuk (T ₁) °C	Suhu Keluar (T ₂) °C	Densitas (ρ) (Kg/m ³)
03 Nov 2021	151.945	223,5786	225	185	831
<i>Tube (Crude Oil)</i>					
Tanggal	Kapasitas (L/hari)	Kapasitas (ft ³ /jam)	Suhu Masuk (t ₁) °C	Suhu Keluar (t ₂) °C	Densitas (ρ) (Kg/m ³)
03 Nov 2021	267.798	394,0487	69	83	831,5

B. Perhitungan

Tabel IV.3 Perhitungan *Heat Exchanger* 003

<i>Shell Side (Solar)</i>	<i>Tube Side (Crude Oil)</i>
T ₁ = 225°C = 437°F T ₂ = 185°C = 365°F V _{solar} = 151945 l/hari = 223,578 ft ³ /jam ρ _{solar} = 831 kg/m ³ = 51,87767 lb/ft ³	t ₁ = 69°C = 156,2°F t ₂ = 83°C = 181,4°F V _{crude} = 267798 l/hari = 394,0487 ft ³ /jam ρ _{crude} = 831,5 kg/m ³ = 51,9089 lb/ft ³
<i>Mass Flow</i>	
W _s = V _{solar} x ρ _{solar} = 223,578 ft ³ /jam x 51,87767 lb/ft ³ = 11598,7 lb/jam	W _t = V _{crude} x ρ _{crude} = 394,0487 ft ³ /jam x 51,9089 lb/ft ³ = 20454,63 lb/jam
Perhitungan SG	
SG _{solar} = ρ _{solar} / ρ _{air} = 831 kg/m ³ / 999,999 kg/m ³ = 0,831	SG _{crude} = ρ _{solar} / ρ _{air} = 831,5 kg/m ³ / 999,999 kg/m ³ = 0,8315
Perhitungan Temperatur Rata-Rata	



LAPORAN PRAKTEK KERJA LAPANG
 PUSAT PENGEMBANGAN SUMBER DAYA MANUSIA MIGAS
 PERIODE NOVEMBER 2021

$T_{av} = (T_1 + T_2)/2$ $= (437^\circ\text{F} + 365^\circ\text{F})/2$ $= 401^\circ\text{F}$ $^{\circ}\text{API} = \frac{141,5}{SG \text{ solar}} - 131,5$ $= \frac{141,5}{0,831} - 131,5$ $= 38,7766$ <p>Berdasarkan fig. 4 kern</p> $C_p = 0,45 \text{ btu/lb } ^\circ\text{F}$	$T_{av} = (t_1 + t_2)/2$ $= (156,2^\circ\text{F} + 181,4^\circ\text{F})/2$ $= 168,8^\circ\text{F}$ $^{\circ}\text{API} = \frac{141,5}{SG \text{ solar}} - 131,5$ $= \frac{141,5}{0,8315} - 131,5$ $= 38,67421$ <p>Berdasarkan fig. 4 kern</p> $C_p = 0,51 \text{ btu/lb } ^\circ\text{F}$
Heat Balance	
$Q_s = W_s \times C_p \times (T_1 - T_2)$ $= 11598,7 \text{ lb/jam} \times 0,45 \text{ btu/lb } ^\circ\text{F}$ $\times (437 - 365) ^\circ\text{F}$ $= 375798 \text{ btu/jam}$	$Q_t = W_t \times C_p \times (t_2 - t_1)$ $= 20454,63 \text{ lb/jam} \times 0,51 \text{ btu/lb}$ $^\circ\text{F} \times (181,4 - 156,2) ^\circ\text{F}$ $= 262882,9 \text{ btu/jam}$
$Q_{\text{losses}} = Q_s - Q_t$ $= 375798 \text{ btu/jam} - 262882,9 \text{ btu/jam}$ $= 112915,1 \text{ btu/jam}$ $\text{Losses} = Q / Q_s \times 100\%$ $= 112915,1 \text{ btu/jam} / 375798 \text{ btu/jam} \times 100\%$ $= 30,05 \%$	
LMTD	
$LMTD = \frac{(T_1 - t_2) - (T_2 - t_1)}{\ln \frac{(T_1 - t_2)}{(T_2 - t_1)}}$ $= \frac{(437^\circ\text{F} - 181,4^\circ\text{F}) - (365^\circ\text{F} - 156,2^\circ\text{F})}{\ln \frac{(437^\circ\text{F} - 181,4^\circ\text{F})}{(365^\circ\text{F} - 156,2^\circ\text{F})}}$ $= 231,4118^\circ\text{F}$ $R = \frac{(T_1 - T_2)}{(t_2 - t_1)} = \frac{(437^\circ\text{F} - 365^\circ\text{F})}{(181,4^\circ\text{F} - 156,2^\circ\text{F})} = 2,85714$ $S = \frac{(t_1 - t_2)}{(T_1 - t_1)} = 0,089744$ <p>Berdasarkan fig. 18 Kern diperoleh nilai $f_t = 0,99$ maka :</p> $\Delta LMTD = f_t \times LMTD$ $\Delta LMTD = 0,99 \times 231,4118^\circ\text{F}$	



LAPORAN PRAKTEK KERJA LAPANG
 PUSAT PENGEMBANGAN SUMBER DAYA MANUSIA MIGAS
 PERIODE NOVEMBER 2021

$\Delta LMTD = 299,0977^{\circ}F$	
Faktor Controlling Fluida (ke solar)	
$\Delta T_{th} = T_1 - T_2 = 437^{\circ}F - 365^{\circ}F = 72^{\circ}F$ $\Delta T_c = T_2 - t_1 = 365^{\circ}F - 156,2^{\circ}F = 296^{\circ}F$ $\Delta t_h = T_1 - t_2 = 437^{\circ}F - 181,4^{\circ}F = 255,6^{\circ}F$ Berdasarkan fig.17 Kern dengan $^{\circ}API = 38,7766$, diperoleh $k_c = 0,15$	
Menentukan Friksi Kalor (Fc)	
$\frac{\Delta T_c}{\Delta t_h} = \frac{296^{\circ}F}{255,6^{\circ}F} = 1,158059$ Berdasarkan fig.17 Kern dengan $^{\circ}API = 38,7766$, diperoleh $f_c = 0,47$	
Menghitung Suhu Kalor	
$T_c = T_2 + f_c \times (T_1 - T_2)$ $T_c = 365^{\circ}F + 0,47 \times 72^{\circ}F$ $T_c = 398,84^{\circ}F$	$t_c = t_1 + f_c \times (t_2 - t_1)$ $t_c = 156,2^{\circ}F + 0,47 \times (181,4^{\circ}F - 156,2^{\circ}F)$ $t_c = 168,044^{\circ}F$
Menghitung Luas Penampang Shell (as), Diameter Elivalen (De), dan Luas Penampang Aliran Dinding Tube (at)	
$as = \frac{ID_s \times C \times B}{Pt}$ $= \frac{30,748 \text{ in} \times 0,25 \text{ in} \times 23,623}{144 \text{ ft}^2}$ $= 1,008833 \text{ ft}^2$ Berdasarkan fig. 28 Kern dengan data OD = 1 in Pt triangular = 1,25 in Diperoleh De = 0,72 in $De = \frac{0,72}{12} \text{ ft}$ $De = 0,06 \text{ ft}$	Berdasarkan table 10 Kern dengan OD = 1 in BWG = 14 Diperoleh flow area pertube, table 10 Kern $at' = 0,546$ Sehingga $at = \frac{Nt \times at'}{144 \frac{\text{in}^2}{\text{ft}^2} \times n}$ $= \frac{400 \times 0,546}{144 \frac{\text{in}^2}{\text{ft}^2} \times 1}$ $= 1,516667 \text{ ft}^2$ Berdasarkan table 10 Kern, dengan data :



LAPORAN PRAKTEK KERJA LAPANG
 PUSAT PENGEMBANGAN SUMBER DAYA MANUSIA MIGAS
 PERIODE NOVEMBER 2021

	BWG = 14 IDt = 0,834 in IDt = 0,0695ft
Menghitung Laju Alir Massa	
$Gs = \frac{Ws}{as}$ $Gs = \frac{11598,7 \text{ lb/jam}}{1,008833 \text{ ft}^2}$ $Gs = 11497,14 \frac{\text{lbft}^2}{\text{jam}}$	$Gt = \frac{Wt}{at}$ $Gt = \frac{20454,63 \text{ lb/jam}}{1,516667 \text{ ft}^2}$ $Gt = 13486,57 \frac{\text{lbft}^2}{\text{jam}}$
Bilangan Reynold	
Berdasarkan fig. 14 dengan Tc = 398,84°F dan °API = 38,7766, maka $\mu = 0,28 \text{ cP}$ $= 0,28 \text{ cP} \times 2,42$ $= 0,6776 \text{ lb/ft jam}$ $Res = \frac{De \times Gs}{\mu}$ $= \frac{0,06 \text{ ft} \times 11497,14 \frac{\text{lbft}^2}{\text{jam}}}{0,6776 \frac{\text{lb}}{\text{ft jam}}}$ $= 1018,047$	Berdasarkan fig. 14 dengan Tc = 168,04°F dan °API = 38,6742, maka $\mu = 1,8 \text{ cP}$ $= 1,8 \text{ cP} \times 2,42$ $= 4,356 \text{ lb/ft jam}$ $Ret = \frac{IDt \times Gt}{\mu}$ $= \frac{0,0695 \text{ ft} \times 13486,57 \frac{\text{lbft}^2}{\text{jam}}}{4,356 \frac{\text{lb}}{\text{ft jam}}}$ $= 215,11782$
Koefisien Perpindahan Panas	
Berdasarkan fig. 1 Kern diperoleh k = 0,0722 lb/jam °F ft Berdasarkan fig.28 maka diperoleh jH =17,5 $\frac{ho}{\theta s} = \frac{jH \times k}{De} \times \left[\frac{Cp \times \mu}{k} \right]^{1/3}$ $= \frac{17,5 \times 0,0722}{0,06 \text{ ft}} \times \left[\frac{0,65 \times 0,6776}{0,0722} \right]^{1/3}$ $= 34,03875 \frac{\text{btu}}{\text{jam} \cdot \text{°F} \cdot \text{ft}^2}$	Berdasarkan fig. 1 Kern diperoleh k = 0,078 lb/jam °F ft $\frac{L}{IDt} = \frac{10 \text{ ft}}{0,0695 \text{ ft}} = 143,8849$ Berdasarkan fig.24 maka diperoleh jH =2,3 $\frac{hio}{\theta t} = \frac{jH \times k}{De} \times \left[\frac{Cp \times \mu}{k} \right]^{1/3}$



LAPORAN PRAKTEK KERJA LAPANG
 PUSAT PENGEMBANGAN SUMBER DAYA MANUSIA MIGAS
 PERIODE NOVEMBER 2021

	$= \frac{2,3 \times 0,078}{0,06 \text{ ft}} \times \left[\frac{0,51 \times 4,356}{0,078} \right]^{1/3}$ $= 9,1312 \frac{\text{btu}}{\text{jam } ^\circ\text{F ft}^2}$
Suhu Dinding Luar Tube (Tw)	
$T_w = t_c + \frac{\frac{h_o}{\theta_s}}{\frac{h_o}{\theta_s} + \frac{h_{io}}{\theta_t}} (T_c - t_c)$ $= 168,04 \text{ } ^\circ\text{F} + \frac{34,03875 \frac{\text{btu}}{\text{jam } ^\circ\text{F ft}^2}}{34,03875 \frac{\text{btu}}{\text{jam } ^\circ\text{F ft}^2} + 9,1312 \frac{\text{btu}}{\text{jam } ^\circ\text{F ft}^2}} (394,84 \text{ } ^\circ\text{F} - 168,8 \text{ } ^\circ\text{F})$ $= 350,0228 \text{ } ^\circ\text{F}$	
Koefisien Transfer Panas	
$\mu_w = 0,359 \text{ cP}$ $\mu_w = 0,359 \text{ cP} \times 2,42$ $= 0,86878 \text{ lb/ft jam}$ $\theta_s = \left[\frac{\mu}{\mu_w} \right]^{0,14}$ $= \left[\frac{0,6776}{0,86878} \right]^{0,14}$ $= 0,9658$ $h_o = \left[\frac{h_o}{\theta_s} \right] \times \theta_s$ $= 34,03875 \frac{\text{btu}}{\text{jam } ^\circ\text{F ft}^2} \times 0,9658$ $= 32,87475 \frac{\text{btu}}{\text{jam } ^\circ\text{F ft}^2}$	$\mu_w = 0,359 \text{ cP}$ $\mu_w = 0,359 \text{ cP} \times 2,42$ $= 0,86878 \text{ lb/ft jam}$ $\theta_t = \left[\frac{\mu}{\mu_w} \right]^{0,14}$ $= \left[\frac{4,356}{0,86878} \right]^{0,14}$ $= 1,2532$ $h_{io} = \left[\frac{h_{io}}{\theta_t} \right] \times \theta_t$ $= 9,1312 \frac{\text{btu}}{\text{jam } ^\circ\text{F ft}^2} \times 1,2532$ $= 11,44328 \frac{\text{btu}}{\text{jam } ^\circ\text{F ft}^2}$
Clean Overall Coefficient (Uc)	
$U_c = \frac{h_{io} \times h_o}{h_{io} + h_o}$ $= \frac{11,44328 \times 32,87475 \frac{\text{btu}}{\text{jam } ^\circ\text{F ft}^2}}{11,44328 + 32,87475 \frac{\text{btu}}{\text{jam } ^\circ\text{F ft}^2}}$	



LAPORAN PRAKTEK KERJA LAPANG
 PUSAT PENGEMBANGAN SUMBER DAYA MANUSIA MIGAS
 PERIODE NOVEMBER 2021

$$= 8,488532 \frac{btu}{jam \text{ } ^\circ F ft^2}$$

Desain Overall Coefficient (Ud)

Dari data diketahui :

$$OD \text{ Tube} = 1 \text{ in}$$

$$BWG = 14 \text{ maka didapat } a' = 0,2618$$

$$A = Nt \times L \times a'$$

$$= 400 \times 10 \times 0,2618$$

$$= 1047,2 ft^2$$

$$Ud = \frac{Q \text{ tube}}{A \times \Delta LMTD}$$

$$= \frac{26454,63 \frac{btu}{jam}}{1047,2 ft^2 \times 231,4118 \text{ } ^\circ F}$$

$$= 1,08479 \frac{btu}{jam \text{ } ^\circ F ft^2}$$

Dirt Factor (Rd)

$$Rd = \frac{Uc - Ud}{Uc \times Ud}$$

$$= \frac{8,48853 - 1,08479 \frac{btu}{jam \text{ } ^\circ F ft^2}}{8,48853 \times 1,08479 \frac{btu}{jam \text{ } ^\circ F ft^2}}$$

$$= 0,8040$$

Efektifitas Heat Exchanger

$$\eta = \frac{Qt}{Qs} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{262882,9}{375798} \times 100\%$$

$$\eta = 69,95 \%$$

Pressure Drop (ΔP)

$$Res = 1018,047$$

Dari fig. 29 diperoleh :

$$Ret = 215,1782$$

Dari fig. 29 diperoleh :



LAPORAN PRAKTEK KERJA LAPANG
 PUSAT PENGEMBANGAN SUMBER DAYA MANUSIA MIGAS
 PERIODE NOVEMBER 2021

$f = 0,0031 \frac{ft^2}{in^2}$ $°API = 38,7766$ $T_c = 398,84 °F$ $SG \text{ solar } 60/60 = 0,8310$ $\theta_s = 0,9658$ $G_s = 11497,14 \frac{lb \text{ } ft^2}{jam}$ $D_e = 0,06 \text{ ft}$ $\text{Jumlah Crosses } (N + 1) = 12 \times \frac{L}{B}$ $= 12 \times \frac{10 \text{ ft}}{23,623 \text{ in}} \times \frac{12 \text{ ft}}{1 \text{ ft}}$ $= 60,95754 \text{ ft}$ $ID \text{ Shell} = 30,748 \times \frac{1 \text{ ft}}{12 \text{ in}}$ $= 2,56233$ $\Delta P_s = \frac{f \times G_s^2 \times ID_s \times (N + 1)}{5,225 \times 10^{10} \times D_e \times SG_{60}^{60} \times \theta_s}$ $= \frac{0,0031 \times 11497,14^2 \times 2,56233 \times 60,95754}{5,225 \times 10^{10} \times 0,06 \times 0,8310 \times 0,9658}$ $= 0,025462$	$f = 0,0022 \frac{ft^2}{in^2}$ $°API = 38,67421$ $L = 10 \text{ ft}$ $N = 1 \text{ Buah}$ $T_c = 168,044 °F$ $SG \text{ crude oil } 60/60 = 0,8315$ $\theta_t = 1,2532$ $G_t = 13486,57 \frac{lb \text{ } ft^2}{jam}$ $ID_t = 0,0695 \text{ ft}$ $\Delta P_t = \frac{f \times G_t^2 \times L \times n}{5,225 \times 10^{10} \times ID_t \times SG_{60}^{60} \times \theta_t}$ $= \frac{0,0022 \times 13486,57^2 \times 10 \times 1}{5,225 \times 10^{10} \times 0,0695 \times 0,8315 \times 1,2532}$ $= 0,001058$ $v = \frac{G_t}{\rho}$ $= \frac{13486,57}{51,9088} = 0,07217 \frac{ft}{s}$ $\Delta P_r = \frac{4n \times v^2}{SG \text{ crude oil} \times 2g}$ $= \frac{4 \times 1 \times 0,07217^2}{0,8315 \times 2 \times 32,2}$ $= 0,000389 \text{ Psi}$ $\Delta P_{total} = \Delta P_t + \Delta P_r$ $= 0,001058 + 0,000389$ $= 0,001448 \text{ Psi}$
--	---



C. Pembahasan

Heat Exchanger merupakan salah satu unit yang berada di Kilang PPSDM Cepu yang terdapat 5 buah yaitu HE 1,2,3,4 dan 5. *Heat Exchanger* ini berfungsi untuk memanaskan *crude oil* sebelum masuk ke *furnace*. Pada *Heat Exchanger* 03 menggunakan fluida panas berupa solar yang diproduksi dari bottom C4 dan fluida dingin berupa *crude oil*.

Pengambilan data di lapangan, dapat dilakukan perhitungan, maka dapat diperoleh data yang berkaitan dengan *Heat Exchanger* 03. *Mass Flowrate* dapat berdampak pada efektivitas *Heat Exchanger*. *Mass Flowrate* pada solar sebesar 11598,7 lb/jam dan *crude oil* sebesar 20454 lb/jam. Dapat dilihat bahwa debit *crude oil* yang melewati *Heat Exchanger* 03 semakin besar, maka panas yang akan diserap oleh *crude oil* semakin besar, sehingga perbandingan nilai q akan berdampak pada nilai efektivitas *Heat Exchanger* yang bernilai 69,95%.

Kinerja dari *Heat Exchanger* dapat dilihat dari kemampuan memindahkan panas yang sesuai dengan kebutuhan proses operasi. Besarnya nilai *fouling factor* (R_d) ini menunjukkan adanya kotoran yang terakumulasi di dalam *Heat Exchanger*. Kotoran ini berasal dari fluida yang mengalir di dalam *Heat Exchanger* baik dari pemanas solar maupun umpan *crude oil*. Nilai R_d pada *Heat Exchanger* 03 sebesar 0,8040 dimana hal ini tidak sesuai dengan yang diizinkan yaitu sebesar 0,003. Ketidaksesuaian ini dapat terjadi karena umur dan pemakaian peralatan untuk periode yang lama sehingga membuat adanya *impurities* yang dapat membuat kerak (*fouling*) pada dinding pipa. Hal ini menunjukkan bahwa temperatur, laju alir fluida dan *impurities* sangat berpengaruh pada nilai *fouling factor* (R_d). Semakin tinggi temperatur, maka semakin besar pula faktor pengotor dikarenakan suhu yang tinggi dapat menyebabkan kerak pada dinding pipa. Nilai koefisien perpindahan panas (U_d) sebesar 1,08479 btu/jam °F ft². Nilai U_d tersebut dipengaruhi oleh adanya R_d , karena semakin banyak kotoran yang menempel pada *tube* maka nilai koefisien perpindahan panas (U_d) akan mengalami penurunan.

Pressure Drop dari hasil perhitungan didapatkan sebesar 0,025462 psi pada shell dan 0,001058 psi pada tube. Hasil perhitungan tersebut masih dibawah standar yang telah ditetapkan yaitu sebesar 10 psi. Hal ini menunjukkan bahwa alat *Heat*



LAPORAN PRAKTEK KERJA LAPANG
PUSAT PENGEMBANGAN SUMBER DAYA MANUSIA MIGAS
PERIODE NOVEMBER 2021

Exchanger 03 masih dapat digunakan hanya saja kurang efektif dalam perpindahan panas. Penurunan tekanan yang besar akan menyebabkan penurunan *driving force* masing-masing fluida, sehingga dapat menurunkan performa dari alat *Heat Exchanger*. Jika *pressure drop* lebih besar maka dapat menyebabkan jumlah fluida yang mengalir pada inlet di shell dan di tube akan jauh berbeda dengan outlet yang ada pada shell dan tube. Adapun hilang panas pada *Heat Exchanger* 03 sebesar 30,05%.