



BAB IX URAIAN TUGAS KHUSUS

IX.1 Perpindahan Panas

Kalor mengalir dari benda yang bersuhu tinggi ke benda yang bersuhu rendah. Proses perpindahan kalor ini akan berhenti ketika kedua benda mencapai suhu yang sama. Situasi di mana dua benda memiliki suhu yang setara disebut kesetimbangan termal. Selama masih ada perbedaan suhu, kalor akan terus bergerak hingga kesetimbangan termal tercapai.

1) Konduksi

Konduksi adalah proses perpindahan kalor dari satu tempat ke tempat lain melalui suatu benda tanpa ada perpindahan bagian-bagian benda, atom, atau molekul yang menyusunnya. Ketika suatu ujung benda dipanaskan, elektron-elektron pada bagian tersebut bergerak lebih cepat (memiliki energi kinetik lebih tinggi). Akibatnya, elektron tersebut berpindah ke area dengan energi kinetik lebih rendah (bagian yang lebih dingin). Proses ini menyebabkan tumbukan antara elektron berenergi tinggi dan elektron berenergi rendah, sehingga elektron berenergi rendah menjadi lebih tinggi energinya, yang ditandai dengan kenaikan suhu. Hal ini berlanjut hingga elektron berenergi tinggi menyebar lebih jauh dari sumber panas, menggambarkan perpindahan kalor melalui konduksi.

Perpindahan kalor melalui konduksi terjadi terutama pada zat padat. Contohnya, ketika salah satu ujung besi dipanaskan, ujung lainnya juga menjadi panas karena kalor berpindah dari ujung panas ke ujung dingin, tanpa adanya perpindahan bagian besi. Hal serupa terjadi ketika dasar panci dipanaskan, bagian atasnya juga ikut panas karena perpindahan kalor melalui konduksi. Tidak ada bagian panci yang berpindah. Contoh lain, ketika kita mengaduk teh panas dengan sendok dingin, pegangan sendok lama-kelamaan akan menjadi panas, karena kalor mengalir dari bagian sendok yang bersentuhan dengan teh ke ujung yang dipegang.



2) Konveksi

Cara kedua perpindahan kalor adalah melalui konveksi. Dalam metode ini, kalor berpindah karena adanya perpindahan molekul atau atom penyusun zat. Ketika salah satu bagian benda menerima panas, atom-atomnya bergerak lebih cepat dan terdorong ke area di mana atom-atom masih bergerak lebih lambat. Atom-atom yang bergerak cepat ini membawa energi kalor, sehingga terjadi perpindahan kalor dari area bersuhu tinggi ke area bersuhu rendah. Konveksi hanya dapat terjadi pada zat yang atom atau molekulnya dapat bergerak bebas, seperti fluida yang terdiri dari cairan dan gas. Oleh karena itu, konveksi terjadi dalam zat cair atau gas.

Misalnya, ketika air di dalam panci dipanaskan, bagian air yang pertama kali menerima panas adalah bagian yang bersentuhan dengan dasar panci. Namun, seiring waktu, seluruh air menjadi panas karena molekul-molekul air bergerak dari bawah ke atas. Aliran ini mendesak air dingin di bagian atas untuk turun dan menerima panas. Ketika dipanaskan, fluida akan memuai, dan karena massanya tetap, massa jenis fluida menjadi lebih kecil. Hal ini menyebabkan fluida yang lebih panas bergerak ke atas, sementara fluida dengan massa jenis lebih besar berada di bawah. Sebagai contoh, jika air dan minyak dicampur, minyak akan berada di lapisan atas karena massa jenisnya lebih kecil daripada air.

3) Radiasi

Bentuk ketiga perpindahan kalor adalah radiasi. Radiasi merupakan perpindahan kalor tanpa memerlukan medium. Contohnya, meskipun sebagian besar ruang antara matahari dan bumi adalah hampa, panas matahari tetap bisa mencapai bumi. Ini membuktikan bahwa kalor dapat berpindah tanpa perantara. Panas tersebut dibawa oleh gelombang elektromagnetik. Setiap benda memancarkan gelombang elektromagnetik, dan semakin tinggi suhu benda, semakin besar energi gelombang yang dipancarkan. Salah satu jenis gelombang yang dipancarkan adalah gelombang inframerah yang membawa sifat panas. Semakin tinggi suhu



benda, semakin banyak energi inframerah yang dipancarkan, sehingga benda tersebut terasa lebih panas pada jarak tertentu.

(Abdullah, 2016).

IX.2 Heat Exchanger dan Prinsip Kerjanya

Heat Exchanger terdiri dari dua kata, yaitu *Heat* (panas) dan *Exchanger* (alat pertukaran). Jadi, *Heat Exchanger* adalah alat yang digunakan untuk melakukan perpindahan atau pertukaran panas. Proses perpindahan panas dalam *Heat Exchanger* dapat berupa pemanasan (*Heating*) atau pendinginan (*Cooling*). Penting untuk dicatat bahwa perpindahan panas ini selalu melibatkan dua media fluida, baik cair maupun gas, yang bertukar panas. Sebagai contoh, dalam pemanasan air, media pemanas yang digunakan bisa berupa uap, sedangkan air adalah media yang ingin dipanaskan. Contoh lain adalah pendinginan minuman dengan air dingin, di mana minuman merupakan media yang ingin didinginkan, dan air dingin bertindak sebagai media pendingin.

Dalam dunia industri, penukar kalor berfungsi untuk menukar energi antara dua fluida (baik fluida yang sama maupun berbeda) yang memiliki suhu berbeda. Pertukaran energi ini dapat terjadi melalui permukaan perpindahan kalor yang memisahkan kedua fluida atau melalui kontak langsung. Proses pertukaran energi tersebut dapat menyebabkan perubahan suhu fluida atau digunakan untuk perubahan fase. Laju perpindahan energi dalam penukar kalor dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti kecepatan aliran fluida, sifat fisik fluida (seperti viskositas, konduktivitas termal, kapasitas kalor spesifik, dan lainnya), perbedaan suhu antara kedua fluida, serta sifat permukaan bidang perpindahan kalor yang memisahkan keduanya. Heat Exchanger adalah alat yang digunakan untuk memindahkan panas karena adanya perbedaan suhu antara dua fluida yang mengalir namun tidak bercampur.

Pada dasarnya 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 kontak langsung berarti tidak ada penghalang berupa dinding yang memisahkan kedua fluida. Proses transfer panas ini terjadi melalui interfase atau titik penghubung antara kedua fluida. Contoh dari perpindahan panas kontak langsung adalah aliran uap yang bersentuhan dengan dua zat cair yang tidak dapat bercampur (*immiscible*), gas, dan partikel padat dalam 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.

(Tambunan, 2016).

IX.3 Komponen *Heat Exchanger*

1) ***Shell***

Biasanya berbentuk silinder yang berisi *tube bundle* sekaligus sebagai wadah mengalirnya zat.

2) ***Tube***

Tube merupakan pemisah dan sebagai pengantar panas yang berbeda suhunya diantara dua zat yang berada di dalam suatu alat. Pemilihan *tube* ini harus sesuai dengan suhu, tekanan, dan sifat korosi fluida yang mengalir. *Tube* ada dua macam, yaitu *Tube* polos (*bare tube*) dan *Tube* bersirip (*finned tube*).

3) ***Baffle* atau Sekat**

Sekat digunakan untuk membelokkan atau membagi aliran dari fluida dalam alat penukar panas. Untuk menentukan sekat diperlukan pertimbangan teknis dan operasional. Macam-macam *baffle* yaitu :

a) ***Horizontal Cut Baffle***

Baik untuk semua fase gas maupun fase *liquid* dalam *shell*. Baik pada *dissolves* gas dalam *liquid* yang dapat dilepaskan dalam *heat exchanger* maka perlu diberi ‘*notches*’ dalam *baffle*.



b) Vertical Cut Baffle

Baik untuk *liquid* yang membawa *suspended matter* atau *heavy fouling* fluida.

c) Disc and Doughnut Baffle

Fluida harus bersih, apabila tidak bersih akan terbentuk *sediment* dibelokkan *doughnut*.

d) Baffle dengan Annular Orifice

Baffle ini jarang digunakan karena terdiri dari *full circular plate* dengan lubang-lubang untuk semua *tube*.

e) Longitudinal Baffle

Digunakan pada *shell side* untuk membagi aliran *shell side* menjadi dua atau beberapa bagian untuk memberikan kecepatan yang lebih tinggi untuk perpindahan panas yang lebih baik.

4) Passes

Istilah *passes* merujuk pada jumlah kali fluida mengalir melalui penukar panas dari satu ujung ke ujung lain sebelum keluar dari alat tersebut. Terdapat dua jenis *passes* yang umum :

a) Single Pass (Satu Kali Aliran)

Dalam konfigurasi ini, fluida hanya melewati permukaan perpindahan panas satu kali, baik untuk fluida panas maupun dingin, dari satu ujung ke ujung lain.

b) Multiple Passes (Banyak Kali Aliran)

Pada konfigurasi ini, fluida dialirkan lebih dari satu kali melalui penukar panas, baik dengan mengubah arah alirannya menggunakan *baffle* atau pelat pembatas di dalam penukar panas. Dengan beberapa *passes*, efisiensi perpindahan panas dapat ditingkatkan karena fluida memiliki lebih banyak kesempatan untuk bertukar energi.

Jumlah *passes* ini dapat mempengaruhi kinerja dan efisiensi *Heat Exchanger*, serta dipilih berdasarkan kebutuhan perpindahan panas yang diinginkan.



5) BWG

Birmingham Wire Gauge, yaitu suatu standar pengukuran yang digunakan untuk menentukan ketebalan dinding pipa atau tabung yang digunakan dalam penukar panas. Sistem BWG mengklasifikasikan ketebalan pipa berdasarkan angka, di mana angka yang lebih besar menunjukkan dinding pipa yang lebih tipis. Sebagai contoh BWG 10 memiliki ketebalan dinding yang lebih tebal dibandingkan BWG 20. Biasanya, tabung dalam *heat exchanger* menggunakan pipa dengan ukuran BWG yang bervariasi, tergantung pada aplikasi, tekanan, dan karakteristik perpindahan panas yang dibutuhkan. Pemilihan BWG yang tepat penting untuk memastikan efisiensi perpindahan panas dan kekuatan mekanis dalam penukar panas.

6) Pitch

Pitch merujuk pada jarak antar pusat tabung atau pipa dalam susunan tabung di dalam penukar panas, yang biasanya ditemukan dalam tipe *shell and tube heat exchanger*. *Pitch* adalah parameter penting yang memengaruhi kinerja penukar panas karena berhubungan dengan aliran fluida di sekitar tabung serta efisiensi perpindahan panas.

Ada beberapa jenis *pitch* yang digunakan dalam penukar panas :

a) *Triangular Pitch* (Segitiga)

Tabung disusun dalam formasi segitiga, yang memungkinkan lebih banyak tabung dalam ruang tertentu, meningkatkan area perpindahan panas. Namun, aliran fluida lebih terhambat, sehingga tekanan fluida cenderung lebih tinggi.

b) *Square Pitch* (Persegi)

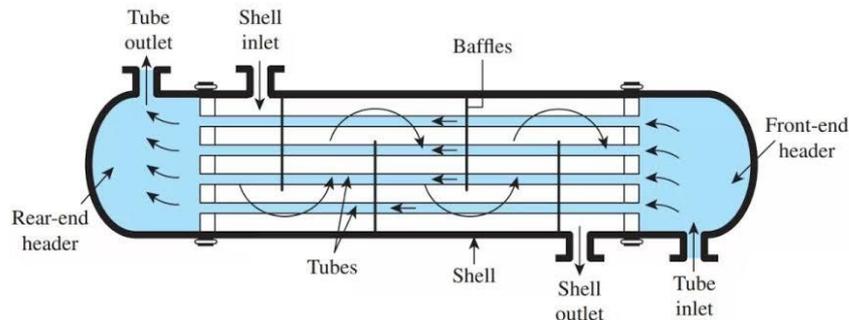
Tabung disusun dalam pola persegi, yang memberikan lebih banyak ruang antar tabung dan memungkinkan aliran fluida lebih lancar. Jenis ini cocok untuk aplikasi yang membutuhkan tekanan rendah dan aliran lebih bebas.

Pemilihan *pitch* bergantung pada faktor seperti tekanan, laju aliran fluida, dan kebutuhan perpindahan panas dalam aplikasi tertentu.

(Langit, 2015).

IX.4 Macam-Macam *Heat Exchanger*

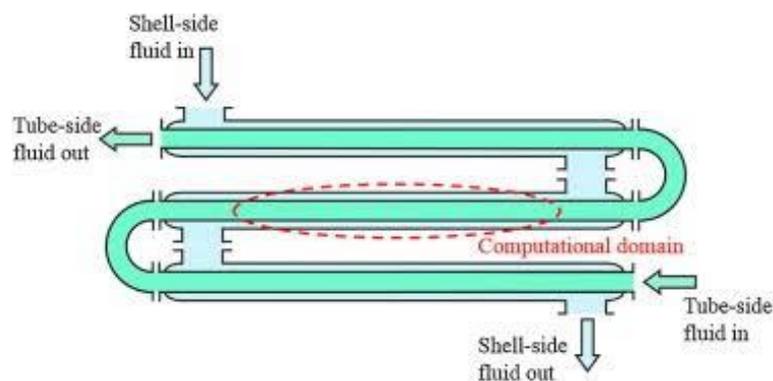
1) *Shell and Tube Heat Exchanger*



Gambar IX.1 *Shell and Tube Heat Exchanger*

Tipe ini adalah yang paling umum digunakan dalam industri perminyakan. Alat ini terdiri dari sebuah tabung besar (*shell*) yang di dalamnya terdapat kumpulan pipa berdiameter relatif kecil. Satu jenis fluida mengalir di dalam pipa-pipa tersebut, sementara fluida lainnya mengalir di bagian luar pipa namun tetap berada di dalam *shell*. Penukar panas *shell and tube* terdiri dari beberapa pipa, dengan satu set pipa membawa cairan yang perlu dipanaskan atau didinginkan. Cairan kedua mengalir di sekitar pipa-pipa yang dipanaskan atau didinginkan untuk memberikan atau menyerap panas. Kumpulan pipa ini disebut *bundle*, dan bisa terdiri dari berbagai jenis, seperti pipa polos atau pipa bersirip longitudinal. Penukar panas *shell and tube* umumnya digunakan untuk aplikasi dengan tekanan tinggi (lebih dari 30 bar) dan suhu di atas 260°C, karena desainnya yang kuat dan tahan terhadap kondisi ekstrem.

2) *Double Pipe Heat Exchanger*

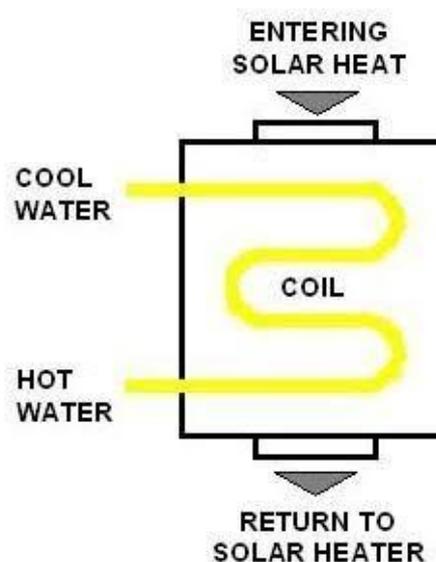


Gambar IX.2 *Double Pipe Heat Exchanger*

Penukar panas pipa rangkap terdiri dari dua pipa logam standar yang ujung-ujungnya dilas bersama atau dihubungkan dengan kotak sekat. Salah satu fluida mengalir di dalam pipa bagian dalam, sedangkan fluida lainnya mengalir di ruang *annulus* antara pipa dalam dan pipa luar. Jenis penukar panas ini cocok untuk aliran fluida yang rendah dan tekanan operasi yang tinggi. Setiap pipa atau beberapa pipa memiliki *shell* masing-masing. Untuk menghindari panjang alat yang berlebihan, penukar panas ini sering dibentuk menjadi bentuk U. Pada aplikasi tertentu, bagian luar pipa dilengkapi sirip untuk meningkatkan efisiensi perpindahan panas, dengan bentuk sirip yang bisa memanjang, melingkar, dan sebagainya.

Dalam alat ini, perpindahan panas terjadi secara tidak langsung (*indirect contact type*), karena terdapat dinding pemisah yang mencegah kedua fluida bercampur. Fluida dengan suhu lebih rendah (fluida pendingin) mengalir melalui pipa kecil, sedangkan fluida dengan suhu lebih tinggi mengalir melalui pipa yang lebih besar (pipa *annulus*). Penukar panas ini mungkin terdiri dari beberapa lintasan yang disusun secara vertikal. Perpindahan panas pada fluida terjadi melalui proses konveksi, sementara konduksi terjadi pada dinding pipa.

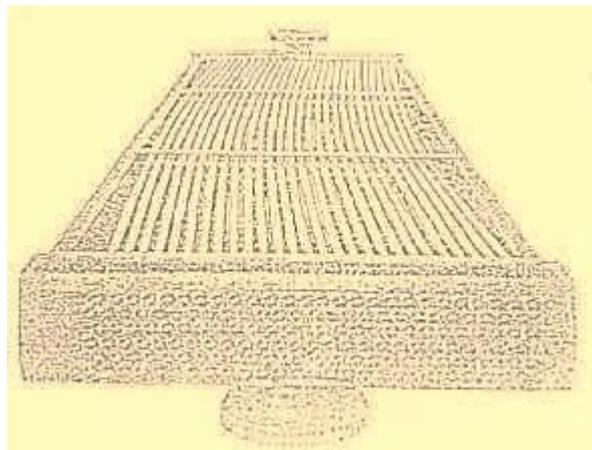
3) *Heat Exchanger* Koil Pipa



Gambar IX.3 *Heat Exchanger* Koil Pipa

Heat Exchanger ini menggunakan pipa berbentuk koil yang ditempatkan di dalam sebuah kotak berisi air dingin yang mengalir atau disemprotkan untuk mendinginkan fluida panas yang mengalir di dalam pipa. Tipe ini juga dikenal sebagai *box cooler* dan biasanya digunakan untuk perpindahan panas dalam skala relatif kecil, di mana fluida dalam *shell* akan diproses lebih lanjut. *Heat exchanger* ini terdiri dari banyak tabung yang mengelilingi tabung inti, dengan setiap *heat exchanger* memiliki lapisan-lapisan tabung yang tersusun secara aksial dan radial. Fluida bertekanan tinggi dialirkan melalui pipa berdiameter kecil, sedangkan fluida bertekanan rendah mengalir di bagian luar pipa tersebut. Geometri dari *heat exchanger* koil tabung ini sangat beragam, tergantung pada kondisi aliran dan penurunan tekanan yang diinginkan. Beberapa parameter yang mempengaruhi meliputi kecepatan aliran pada *shell* dan *tube*, diameter pipa, jarak antar pipa (*tube pitch*), serta diameter *spacer* antar lapisan.

4) Jenis Pipa Terbuka (*Open Tube Section*)

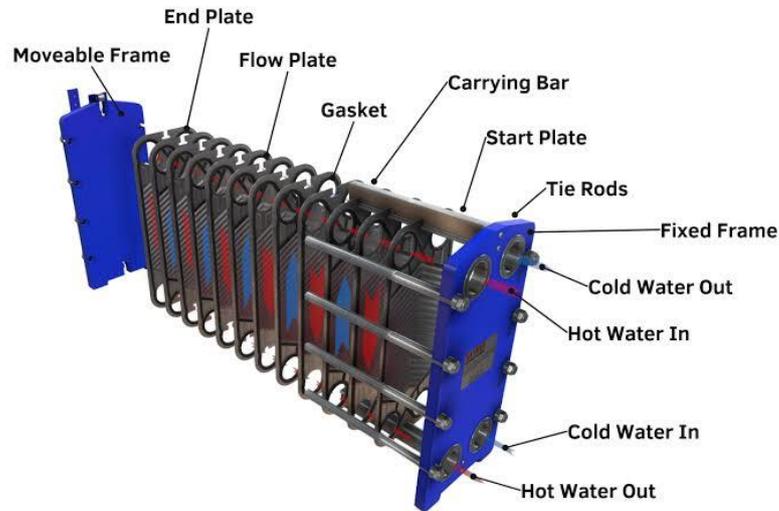


Gambar IX.4 *Open Tube Section*

Pada *heat exchanger* ini, pipa-pipa dibiarkan terbuka di udara. Proses pendinginan dilakukan dengan mengalirkan air atau udara pada permukaan pipa. Berkas pipa tersebut biasanya memiliki panjang yang cukup signifikan. Untuk pendinginan menggunakan udara, bagian luar pipa sering dilengkapi sirip-sirip untuk memperbesar area perpindahan panas. Seperti halnya pada jenis pipa koil, perpindahan panas yang terjadi relatif

lambat dan kapasitasnya lebih kecil dibandingkan dengan jenis *shell and tube*.

5) *Plate and Frame Heat Exchanger*



Gambar IX.5 *Plate and Frame Heat Exchanger*

Plate Heat Exchanger adalah jenis alat penukar panas yang terdiri dari serangkaian pelat bergelombang atau dengan profil lain yang tersusun secara vertikal, dipisahkan oleh sekat-sekat lunak. Pelat-pelat ini disatukan menggunakan perangkat penekan, dan jarak antara pelat ditentukan oleh sekat tersebut. Setiap pelat berbentuk persegi panjang memiliki lubang di setiap sudutnya. Dua dari lubang ini digunakan untuk mengalirkan satu jenis media masuk dan keluar di satu sisi, sementara media lainnya, karena dipisahkan oleh sekat, mengalir melalui ruang di sisi lain. Pelat-pelat ini dirancang sesuai kebutuhan dan biasanya terbuat dari baja tahan karat (*stainless steel* tipe 304, 316, 317) atau logam lainnya. Produk akan dipanaskan saat mengalir melalui salah satu pelat, sementara medium pemanas mengalir melalui pelat lainnya. Proses pemanasan terjadi karena medium pemanas mengalir di antara pelat-pelat tersebut, yang bergantian mengalirkan produk dan medium pemanas. Pelat yang dialiri produk tidak akan dialiri oleh komponen lain.

(Pangiastika, 2015).

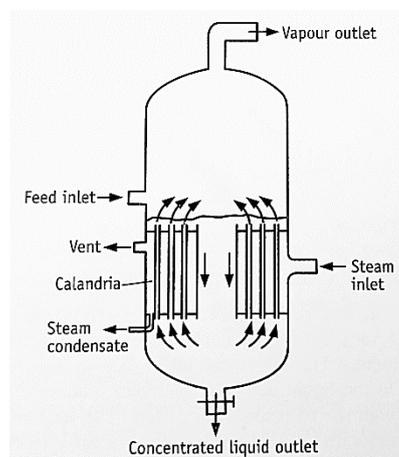
IX.5 Klasifikasi *Heat Exchanger*

IX.5.1 Klasifikasi Berdasarkan Kegunaan

Adapun jenis-jenis *heat exchanger* berdasarkan kegunaannya yaitu sebagai berikut :

1) **Evaporator**

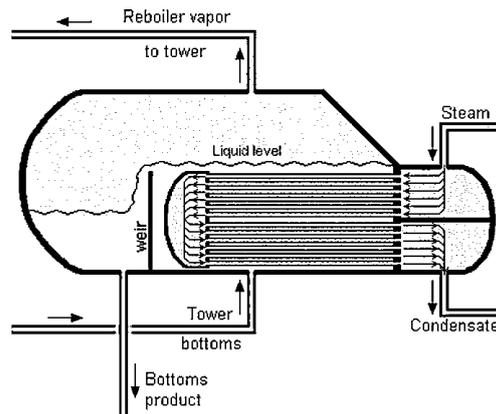
Alat penukar kalor jenis ini digunakan untuk penguapan cairan menjadi uap. Alat ini digunakan untuk memekatkan suatu cairan. Air yang terkandung dalam cairan akan teruapkan seiring berjalannya waktu pada kondisi tertentu, sehingga konsentrasi cairan akan menjadi lebih besar. Evaporator memanfaatkan panas laten dan media yang digunakan dalam alat ini adalah air.



Gambar IX.6 Evaporator

2) **Reboiler**

Reboiler termasuk alat penukar kalor yang digunakan untuk mendidihkan kembali serta menguapkan sebagian cairan yang diproses. Pada alat ini menggunakan media pemanas berupa uap ataupun zat yang sedang diproses itu sendiri.



Gambar IX.7 Reboiler

3) Vaporizer

Vaporizer adalah alat yang digunakan untuk menguapkan cairan. Uap yang dihasilkan dari *vaporizer* tidak digunakan sebagai sumber kalor seperti steam melainkan digunakan untuk proses kimia.

4) Heater

Heater merupakan alat penukar kalor yang digunakan untuk memanaskan fluida proses. Media pemanas yang digunakan pada *heater* yaitu berupa steam atau uap panas.



Gambar IX.8 Heater

5) Cooler

Cooler merupakan suatu alat yang digunakan untuk mencegah terjadinya *over heating* (panas berlebihan) dengan cara mendinginkan suatu fraksi panas dengan menggunakan media cairan dingin. Hal ini menyebabkan terjadinya perpindahan panas dari fluida yang panas ke media pendingin



tanpa adanya perubahan suhu. Media yang digunakan oleh *cooler* yaitu berupa air. Dalam prosesnya air pendingin tidak mengalami kontak langsung dengan fraksi panas, sehingga perpindahan kalor terjadi secara tidak langsung.

(Dewadi, 2022).

IX.5.2 Klasifikasi Berdasarkan Konstruksi

Penukar kalor sering kali dicirikan oleh fitur konstruksinya. Empat jenis konstruksi utama dari *heat exchanger* adalah tipe tubular, *plate-type*, *extended surface*, dan *regenerative exchangers*.

1) Tubular *heat exchanger*

Penukar kalor jenis ini umumnya dibuat dari tabung melingkar. Tubular heat exchanger dirancang untuk tekanan tinggi relatif terhadap lingkungan dan perbedaan tekanan tinggi antara fluida. Penukar tubular digunakan terutama untuk aplikasi perpindahan panas perubahan caira ke cair dan cair ke fase pengembunan atau penguapan. Heat exchanger jenis ini digunakan untuk aplikasi perpindahan panas gas ke cair dan gas ke gas terutama ketika suhu dan tekanan operasi sangat tinggi atau pengotoran merupakan masalah yang serius. Penukar kalor ini dapat diklasifikasikan sebagai *shell-and-tube*, *double-pipe*, dan *spiral tube exchangers*.

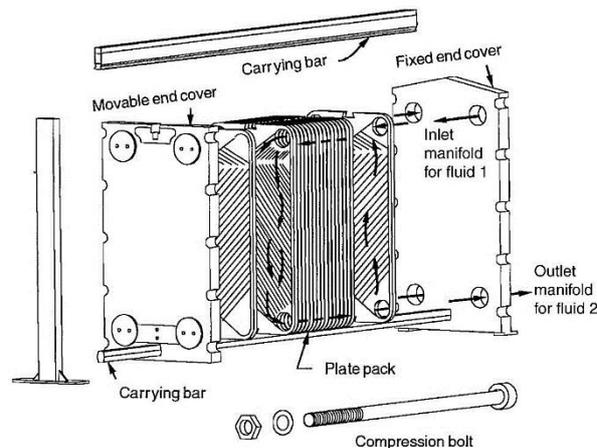
2) Plate-type heat exchanger

Penukar kalor tipe pelat biasanya dibuat dari pelat tipis. Pelatnya halus atau memiliki beberapa bentuk kerutan, dan datar atau berliku-liku dalam penukar kalor. Umumnya, penukar kalor ini tidak dapat menampung tekanan yang sangat tinggi, suhu, atau perbedaan tekanan dan suhu. Penukar kalor pelat dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

a. Gasketed plate heat exchanger

Penukar kalor jenis ini dilapisi gasket terdiri dari sejumlah pelat logam persegi panjang tipis yang disegel di sekeliling tepinya oleh gasket dan disatukan. Rangka biasanya memiliki penutup ujung tetap (*headpiece*) yang dilengkapi dengan port penghubung dan penutup ujung yang dapat

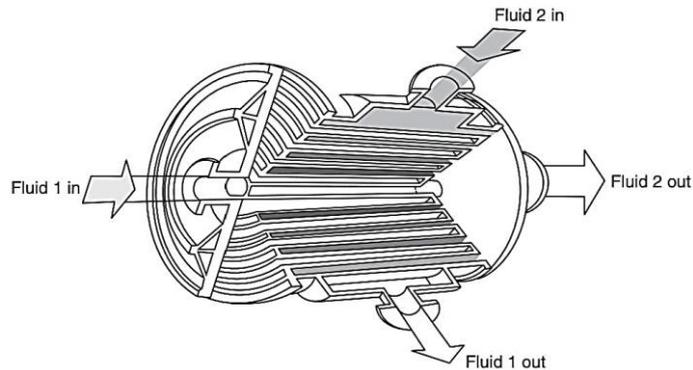
digerakkan. Di dalam rangka, pelat digantung dari batang pembawa atas dan dipandu oleh batang pembawa bawah untuk memastikan keselarasan yang tepat. Untuk tujuan ini, setiap pelat berlekuk di bagian tengah tepi atas dan bawahnya. Paket pelat dengan penutup ujung tetap dan dapat digerakkan dijepit bersama oleh baut panjang, sehingga menekan gasket dan membentuk segel.



Gambar IX.9 Gasketed plate heat exchanger

b. *Spiral Plate Heat Exchangers*

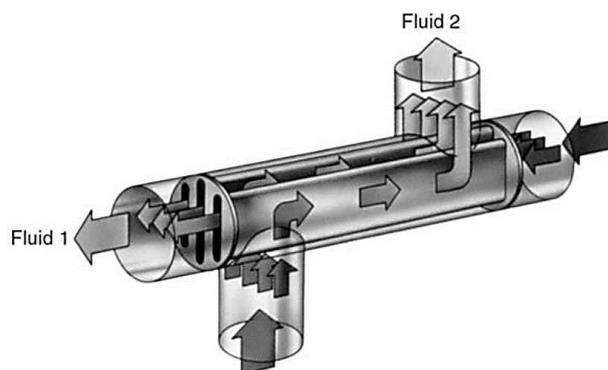
Penukar kalor pelat spiral terdiri dari dua strip logam lembaran yang relatif panjang, biasanya dilengkapi dengan kancing las untuk jarak pelat, dililitkan secara heliks di sekitar mandrel terpisah untuk membentuk sepasang saluran spiral untuk dua fluida. Dengan demikian, setiap fluida memiliki saluran tunggal yang panjang yang tersusun dalam *package*. Pada *heat exchanger* jenis ini juga terdapat penutup di setiap ujungnya. Pada jenis ini Koefisien perpindahan panas tidak setinggi pada penukar pelat jika pelat tidak bergelombang. Namun, koefisien perpindahan panas lebih tinggi dibandingkan dengan *shell-and-tube*. *Heat exchanger* jenis ini juga membutuhkan biaya pemanasannya sekitar 20% lebih rendah dibandingkan dengan unit *shell and tube* pemanasan yang sama.



Gambar IX.10 *Spiral plate heat exchanger*

c. *Lamella Heat Exchangers*

Penukar kalor lamella terdiri dari tubular shell luar yang mengelilingi kumpulan elemen pemindah kalor di bagian dalam. Elemen-elemen ini, yang disebut lamella, adalah tabung pipih (pasangan pelat berlesung pipit tipis, dilas di tepinya, sehingga menghasilkan saluran persegi panjang dengan rasio aspek tinggi).



Gambar IX.11 *Lamella Heat Exchangers*

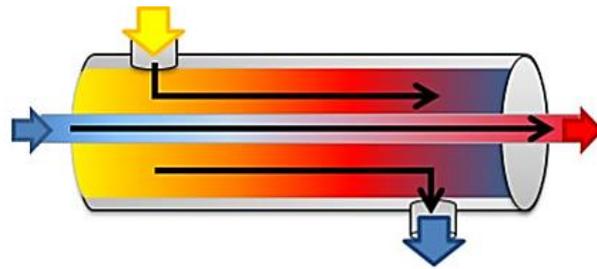
(Shah & Sekulić, 2003).

IX.5.3 Klasifikasi Berdasarkan Arah Aliran

Klasifikasi *heat exchanger* berdasarkan jenis aliran fluida terbagi menjadi 4 macam yaitu sebagai berikut:

1) *Co-current flow*

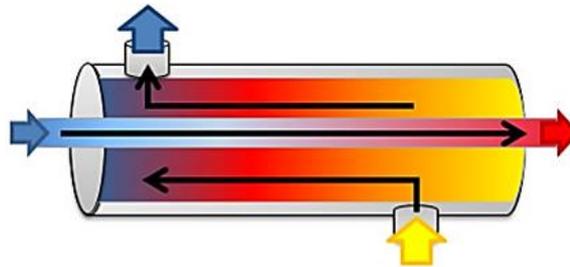
Co-current flow disebut juga dengan *parallel flow* yang merupakan aliran searah, dimana kedua fluida memiliki arah aliran yang sama ketika masuk pada ujung penukar panas yang menuju ujung penukar panas yang lain.



Gambar IX.12 *Co-current flow*

2) *Counter current flow*

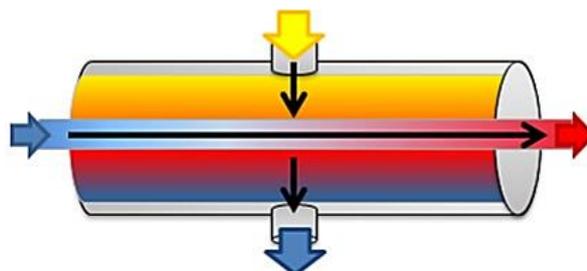
Counter current flow merupakan aliran berlawanan arah, yang dimana fluida yang satu masuk pada satu ujung penukar kalor, sedangkan fluida yang lain masuk pada ujung penukar panas yang lain. Pada *heat exchanger* jenis ini, masing- masing fluida mengalir menurut arah yang berlawanan. Untuk tipe *counter current flow* ini memberikan panas yang lebih baik apabila dibandingkan dengan aliran searah.



Gambar IX.13 *Counter current flow*

3) *Crossflow*

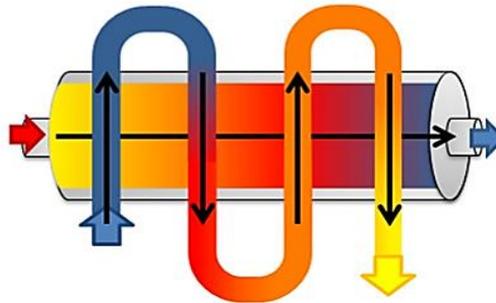
Cross-flow atau sering disebut dengan aliran silang adalah apabila fluida- fluida yang mengalir sepanjang permukaan bergerak dalam arah saling tegak lurus.



Gambar IX 14 *Crossflow*

4) *Cross counter flow (hybrid)*

Cross counter flow merupakan aliran silang berlawanan, dimana pada aliran ini fluida yang mengalir sepanjang permukaan bergerak menyilang berlawanan dengan fluida yang masuk.



Gambar IX.15 *Cross counter flow*

(Santiko, 2024).

IX.6 Perawatan atau Pemeliharaan *Heat Exchanger*

Perawatan ataupun pemeliharaan *heat exchanger* terbagi menjadi dua metode, yaitu *mechanical cleaning* dan *chemical cleaning*.

A. *Mechanical Cleaning*

Pembersihan *mechanical cleaning* merupakan pembersihan *heat exchanger* yang dilakukan dengan menggunakan alat mekanik. Berikut ini merupakan beberapa metode pembersihan mekanik :

1) *Drilling*

Metode ini dilakukan menggunakan alat berputar seperti bor yang dilengkapi sikat yang terbuat dari nilon, besi, atau jenis logam lain yang disesuaikan dengan material bahan *tube* serta jenis deposit yang melekat pada *tube*. Proses pembersihan *drilling* bertujuan untuk mengikis deposit dalam *tube* melalui gesekan antara sikat dengan *tube* yang dibantu oleh drill.

2) *Hydro Jetting*

Metode pembersihan ini dilakukan menggunakan air yang diinjeksikan dengan tekanan tinggi ke dalam *tube*. Proses ini bertujuan untuk membersihkan *tube* dari jenis deposit yang lunak.



3) *Thermal Shock*

Metode ini dilakukan dengan cara menaikkan suhu tube secara cepat dan spontan. Adanya kenaikan suhu secara cepat dan spontan dapat menyebabkan *crucking* atau kerontokan lapisan *fouling* sehingga lebih mudah lepas. Lapisan *fouling* yang rontok akan terikut aliran air ke luar tube.

4) *Explosive Cleaning*

Pembersihan secara *explosive cleaning* dilakukan menggunakan ledakan secara terkontrol. Proses ini menyebabkan deposit yang menempel di *tube* terlepas karena adanya energi dari *shockwave* di udara yang bersumber dari hasil ledakan.

B. *Chemical Cleaning*

Pembersihan *chemical cleaning* merupakan metode pembersihan yang dilakukan dengan mengaliri bahan kimia ke dalam *tube*. Bahan kimia berperan inhibitor yang dapat menghilangkan berbagai jenis deposit yang menempel pada *tube*. *Chemical cleaning* memiliki beberapa jenis metode, diantaranya sebagai berikut:

1) Inhibitor

Inhibitor berfungsi untuk membersihkan *tube* dari deposit produk korosi, kerak kalsium/magnesium, dan lain-lain. Bahan yang termasuk inhibitor diantaranya asam klorida, asam sulfat, asam sitrat, asam florida, dan EDTA.

2) *Chlorinated Aromatic Solvent*

Bahan *chlorinated* berfungsi membersihkan *tube* dari deposit organik berat, seperti polimer dan tar. Bahan ini biasanya digunakan saat pencucian *tube* dengan air.

3) Larutan Alkali

Bahan ini dapat digunakan untuk pembersihan *heat exchanger* dari deposit karbon. Salah satu contoh larutan alkali yang dapat digunakan untuk membersihkan *heat exchanger* yaitu larutan kalium pemanganat.

(Thulukkanam, 2013).



IX.7 Faktor yang Mempengaruhi Efisiensi Kinerja *Heat Exchanger*

Terdapat beberapa faktor yang dapat mempengaruhi efisiensi kinerja *heat exchanger*, diantaranya yaitu sebagai berikut:

a. *Pressure drop*

Pressure drop merupakan salah satu faktor yang dapat berpengaruh terhadap efisiensi kerja dari *heat exchanger*. Pada *heat exchanger* jenis *shell and tube* *pressure drop* berpengaruh pada proses pemompaan, dimana ketika tekanan yang terjadi menurun akan menghasilkan daya pemompaan yang lebih rendah. Dengan demikian akan menjadikan berkurangnya biaya operasi dan meningkatkan efisiensi. Penurunan tekanan dapat ditingkatkan dengan memilih jenis sekat, diameter *shell and tube*, dan tinggi yang tepat, yang ditentukan oleh fluida yang digunakan.

b. *Logarithmic Mean Temperature Design (LMTD)*

LMTD digunakan untuk menentukan gaya penggerak atau *driving force* perpindahan panas suhu dalam sistem aliran. LMTD khususnya digunakan pada *heat exchanger* jenis *shell and tube*. LMTD berbanding terbalik dengan efisiensi *heat exchanger*, dimana semakin besar nilai LMTD maka semakin tidak efisien suatu *heat exchanger*. Hal ini dikarenakan LMTD yang besar menandakan semakin banyak panas yang di transfer, sehingga menyebabkan semakin banyak biaya yang dikeluarkan. LMTD dapat dikurangi dengan beberapa cara, yaitu seperti meningkatkan penggunaan *baffle* serta memperhatikan tinggi dan diameter *shell and tube* yang digunakan.

c. *Fouling Factor/ Dirt Factor (Rd)*

Ketahanan penukar kalor terhadap kontaminasi diukur dengan faktor kontaminasi/faktor pengotoran (R_d). Kemampuan penukar panas untuk menahan pengotor dapat dianggap tinggi jika R_d yang dihitung lebih besar dari R_d minimum (0,005 jam.ft³/btu). Nilai R_d yang dibawah batas minimum, resistensi tambahan terhadap transfer energi dapat terjadi. Nilai R_d dapat ditingkatkan dengan membersihkan *heat exchanger* secara rutin dari kontaminan dan aktivator.

(Mulyani *et al.*, 2024).



IX.8 Pemecahan Masalah yang Diambil

Permasalahan yang diambil pada Praktik Kerja Lapang ini adalah menghitung evaluasi dan efisiensi *heat exchanger-02*. Pengambilan data serta pelaksanaan kegiatan praktik kerja lapangan ini berlangsung dari tanggal 1 September hingga 30 September 2024. Pelaksanaan praktik kerja lapangan berlangsung di Unit Kilang Pusat PPSDM Migas Cepu yang berlokasi di Jl. Sorogo No.1. Kampungbaru, Karangboyo, Kec. Cepu, Kabupaten Blora, Jawa Tengah 58315.

IX.8.1 Pengambilan Data

1. Data Lapangan

Data diperoleh dengan melakukan pengukuran, pengamatan, dan pencatatan langsung pada *heat exchanger-02* di lapangan selama 5 hari di hari kerja yaitu pada tanggal 12, 13, 17, 18, dan 19 September 2024. Data tersebut meliputi :

- a) Pengukuran kapasitas fluida :
 - 1) Kapasitas *crude oil* (L/hari)
 - 2) Kapasitas solar (L/hari)
- b) Pengukuran suhu masuk dan suhu keluar *heat exchanger* :
 - 1) Suhu *crude oil* masuk ($^{\circ}\text{C}$)
 - 2) Suhu *crude oil* keluar ($^{\circ}\text{C}$)
 - 3) Suhu solar masuk ($^{\circ}\text{C}$)
 - 4) Suhu solar keluar ($^{\circ}\text{C}$)
- c) Pengukuran sifat fisis minyak :
 - 1) *Specific gravity crude oil* (SG 60/60 $^{\circ}\text{F}$)
 - 2) *Specific gravity solar* (SG 60/60 $^{\circ}\text{F}$)
- d) Spesifikasi alat *heat exchanger-02*

2. Data Literatur

Data lain bersumber dari buku *Process Heat Transfer* oleh Donald Q. Kern dalam pengolahan data dan laporan-laporan terdahulu sebagai referensi langkah evaluasi *heat exchanger*. Data yang diperlukan diantaranya yaitu :



a) Data sifat fisis dan kimia :

- 1) °API *gravity crude oil*
- 2) °API *gravity solar*
- 3) Densitas *crude oil*
- 4) Densitas solar
- 5) Viskositas *crude oil*
- 6) Viskositas solar
- 7) Panas spesifik *crude oil*
- 8) Panas spesifik solar
- 9) Konduktivitas *crude oil*
- 10) Konduktivitas solar

b) Data sifat dimensi alat :

- 1) Diameter ekivalen *shell* (ft)
- 2) Diameter ekivalen *tube* (ft)
- 3) *Flow rate per tube* (inchi²)
- 4) *Surface per line foot* (ft)
- 5) Jenis *pitch* (*triangular pitch*)
- 6) Jumlah *tube* (*trianagular pitch*)
- 7) Diameter dalam dan luar pada *shell and tube* (inchi)

IX.8.2 Spesifikasi dan Desain *Heat Exchanger-02*

Data Spesifikasi *Heat Exchanger-02* dengan tipe 1,1 *shell and tube* ditunjukkan pada tabel berikut :

Tabel IX.1 Spesifikasi *Shell and Tube Heat Exchanger-02*

No	Keterangan	Notasi	Dimensi	Satuan
<i>Shell</i>				
1	Diameter luar	Ods	31,614	Inci
2	Diameter dalam	Ids	30,748	Inchi
3	Jumlah <i>baffle</i>	N	4	Buah
4	Jarak antar <i>baffle</i>	B	23,623	Inchi



PRAKTIK KERJA LAPANGAN
PUSAT PENGEMBANGAN SUMBER DAYA MANUSIA
MINYAK DAN GAS BUMI CEPU



5	Jumlah <i>passes</i>	N	1	Buah
6	Jenis fluida	Solar		
Tube				
1	Diameter luar	ODt	1	Inchi
2	Panjang <i>tube</i>	L	10	<i>feet</i>
3	Jumlah <i>tube</i>	Nt	382	Buah
4	BWG	-	14	-
5	<i>Pitch</i>	PT	1,25	Inchi
6	Jarak antar <i>tube</i>	C	0,25	Inchi
7	Jumlah <i>passes</i>	N	1	Buah
8	Jenis fluida	<i>Crude oil</i>		

IX.8.3 Data Lapangan Kondisi *Heat Exchanger-02*

Data lapangan kondisi *Heat Exchanger-02* dengan tipe 1,1 *shell and tube* ditunjukkan pada tabel berikut :

Tabel IX.2 Data Lapangan Kondisi *Heat Exchanger-02*

Tanggal	Kapasitas (L/hari)	Suhu Masuk (°C)	Suhu Keluar (°C)	Densitas (gr/ml)	Densitas (lb/ft ³)
Shell (Solar)					
12/09/2024	182545	104	65,5	0,8399	52,4332
13/09/2024	180154	101	65,1	0,8409	52,4957
17/09/2024	120118	92	64,5	0,8367	52,2335
18/09/2024	169608	84,5	63,4	0,8415	52,5331
19/09/2024	170237	83,4	65,4	0,8428	52,4645
Rata-rata	164532,4	92,98	64,79	0,8404	52,6143
Tube (Crude Oil)					
12/09/2024	253712	37	50,9	0,8318	51,9276
13/09/2024	276845	34,8	50,3	0,8311	51,8839
17/09/2024	231621	32,8	49,8	0,8439	52,6830



18/09/2024	282255	34	51	0,8429	52,6205
19/09/2024	285741	35,3	51,7	0,8382	52,3271
Rata-rata	266035	34,78	50,74	0,8376	52,2897

IX.8.4 Perhitungan Evaluasi Efisiensi *Heat Exchanger-02*

Perhitungan *Heat Exchanger-02* dengan tipe 1,1 *shell and tube* ditunjukkan pada tabel berikut :

Tabel IX.3 Perhitungan Evaluasi *Heat Exchanger-02*

<i>Shell (Solar)</i>	<i>Tube (Crude Oil)</i>
$T_1 = 199,36 \text{ }^\circ\text{F}$ $T_2 = 148,616 \text{ }^\circ\text{F}$ $V_s = 5810,4069 \frac{\text{ft}^3}{\text{hari}}$	$t_1 = 94,604 \text{ }^\circ\text{F}$ $t_2 = 123,3344 \text{ }^\circ\text{F}$ $V_t = 9394,9374 \frac{\text{ft}^3}{\text{hari}}$
Menghitung kecepatan aliran (W_s) $W_s = V_s \times \rho_s$ $W_s = \left(5810,4069 \frac{\text{ft}^3}{\text{hari}} \right) \left(\frac{\text{hari}}{24 \text{ jam}} \right) \times$ $\left(52,6143 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^3} \right)$ $W_s = 12737,9372 \frac{\text{lb}}{\text{jam}}$	Menghitung kecepatan aliran (W_t) $W_t = V_t \times \rho_t$ $W_t = \left(9394,9374 \frac{\text{ft}^3}{\text{hari}} \right) \left(\frac{\text{hari}}{24 \text{ jam}} \right) \times$ $\left(52,2897 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^3} \right)$ $W_t = 20469,1024 \frac{\text{lb}}{\text{jam}}$
Menghitung Suhu Rata-Rata (T_{av}) $T_{av} = \frac{T_1 + T_2}{2}$ $T_{av} = \frac{199,36 \text{ }^\circ\text{F} + 148,616 \text{ }^\circ\text{F}}{2}$ $T_{av} = 173,988 \text{ }^\circ\text{F}$	Menghitung Suhu Rata-Rata (t_{av}) $t_{av} = \frac{t_1 + t_2}{2}$ $t_{av} = \frac{94,604^\circ\text{F} + 123,3344 \text{ }^\circ\text{F}}{2}$ $t_{av} = 108,9692 \text{ }^\circ\text{F}$
Menghitung SG solar (SG_s) $SG_s = \frac{\rho \text{ solar}}{\rho \text{ air}}$	Menghitung SG crude oil (SG_t) $SG_t = \frac{\rho \text{ crude oil}}{\rho \text{ air}}$



$SG_s = \frac{0,8428 \frac{\text{gr}}{\text{ml}}}{0,997 \frac{\text{gr}}{\text{ml}}}$ $SG_s = 0,8453$	$SG_t = \frac{0,8376 \frac{\text{gr}}{\text{ml}}}{0,997 \frac{\text{gr}}{\text{ml}}}$ $SG_t = 0,8401$
Menghitung Cp $^{\circ}\text{API} = \frac{141,5}{SG_s} - 131,5$ $^{\circ}\text{API} = \frac{141,5}{0,8453} - 131,5$ $^{\circ}\text{API} = 35,8962$ <p>Berdasarkan <i>fig.4</i> Kern, diperoleh</p> $C_p = 0,52 \frac{\text{Btu}}{\text{lb.}^{\circ}\text{F}}$	Menghitung Cp $^{\circ}\text{API} = \frac{141,5}{SG_t} - 131,5$ $^{\circ}\text{API} = \frac{141,5}{0,8401} - 131,5$ $^{\circ}\text{API} = 36,9323$ <p>Berdasarkan <i>fig.4</i> Kern, diperoleh</p> $C_p = 0,485 \frac{\text{Btu}}{\text{lb.}^{\circ}\text{F}}$
Menghitung panas yang dibutuhkan shell (Qs) $Q_s = W_s \times C_p \times (T_1 - T_2)$ $Q_s = 12737,9372 \frac{\text{lb}}{\text{hari}} \times 0,52 \frac{\text{Btu}}{\text{lb.}^{\circ}\text{F}} \times (199,36^{\circ}\text{F} - 148,616^{\circ}\text{F})$ $Q_s = 336114,4203 \frac{\text{Btu}}{\text{jam}}$	Menghitung panas yang dibutuhkan tube (Qt) $Q_t = W_t \times C_p \times (t_2 - t_1)$ $Q_t = 20469,1024 \frac{\text{lb}}{\text{hari}} \times 0,485 \frac{\text{Btu}}{\text{lb.}^{\circ}\text{F}} \times (123,3344^{\circ}\text{F} - 94,604^{\circ}\text{F})$ $Q_t = 285221,4673 \frac{\text{Btu}}{\text{jam}}$
Menghitung neraca panas $Q = Q_s - Q_t$ $Q = 336114,4203 \frac{\text{Btu}}{\text{jam}} - 285221,4673 \frac{\text{Btu}}{\text{jam}}$ $Q = 50892,953 \frac{\text{Btu}}{\text{jam}}$ $Q_{\text{losses}} = \frac{Q}{Q_s} \times 100\%$	



$$Q_{\text{losses}} = \frac{50892,953 \frac{\text{Btu}}{\text{jam}}}{336114,4203 \frac{\text{Btu}}{\text{jam}}} \times 100\%$$

$$Q_{\text{losses}} = 15,1416 \%$$

Menghitung LMTD

Shell (Solar)	Tube (Crude oil)	ΔT
$T_1 = 199,36 \text{ }^\circ\text{F}$	$t_2 = 123,3344 \text{ }^\circ\text{F}$	$\Delta t_2 = 76,0256 \text{ }^\circ\text{F}$
$T_2 = 148,616 \text{ }^\circ\text{F}$	$t_1 = 94,604 \text{ }^\circ\text{F}$	$\Delta t_1 = 54,012 \text{ }^\circ\text{F}$

$$\text{LMTD} = \frac{\Delta t_2 - \Delta t_1}{\ln \frac{\Delta t_2}{\Delta t_1}}$$

$$\text{LMTD} = \frac{76,0256 \text{ }^\circ\text{F} - 54,012 \text{ }^\circ\text{F}}{\ln \frac{76,0256 \text{ }^\circ\text{F}}{54,012 \text{ }^\circ\text{F}}} = 64,3929 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$R = \frac{T_1 - T_2}{t_2 - t_1}$$

$$R = \frac{199,36 \text{ }^\circ\text{F} - 148,616 \text{ }^\circ\text{F}}{123,3344 \text{ }^\circ\text{F} - 94,604 \text{ }^\circ\text{F}} = 1,7662$$

$$S = \frac{t_2 - t_1}{T_1 - t_1}$$

$$S = \frac{123,3344 \text{ }^\circ\text{F} - 94,604 \text{ }^\circ\text{F}}{199,36 \text{ }^\circ\text{F} - 94,604 \text{ }^\circ\text{F}} = 0,2743$$

Berdasarkan *fig.18 Kern*, diperoleh nilai $F_T = 0,96$, sehingga:

$$\Delta \text{LMTD} = F_T \times \text{LMTD}$$

$$\Delta \text{LMTD} = 0,96 \times 64,3929 \text{ }^\circ\text{F} = 61,8172 \text{ }^\circ\text{F}$$

Menghitung kontroling fluida ke solar (K_c)

$$\Delta t_h = T_1 - t_2 = 199,36 \text{ }^\circ\text{F} - 123,3344 \text{ }^\circ\text{F} = 76,0256 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$\Delta t_c = T_2 - t_1 = 148,616 \text{ }^\circ\text{F} - 94,604 \text{ }^\circ\text{F} = 54,012 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$\Delta T_h = T_1 - T_2 = 199,36 \text{ }^\circ\text{F} - 148,616 \text{ }^\circ\text{F} = 50,744 \text{ }^\circ\text{F}$$

Berdasarkan *fig.17 Kern* dengan $^\circ\text{API} = 35,8962$, diperoleh $K_c = 0,16$



Menghitung friksi panas (Fc) $\frac{\Delta t_c}{\Delta t_h} = \frac{54,012 \text{ }^\circ\text{F}}{76,0256 \text{ }^\circ\text{F}} = 0,7104$ <p>Berdasarkan <i>fig.17</i> Kern, didapatkan nilai $F_c = 0,45$</p>	
Menghitung suhu panas shell (T_c) $T_c = T_2 + F_c (T_1 - T_2)$ $T_c = 148,616^\circ\text{F} + 0,45$ $\times (199,36^\circ\text{F} - 148,616^\circ\text{F})$ $T_c = 171,4508 \text{ }^\circ\text{F}$	Menghitung suhu panas tube (t_c) $t_c = t_1 + F_c (t_2 - t_1)$ $t_c = 94,604 \text{ }^\circ\text{F} + 0,45$ $\times (123,3344 \text{ }^\circ\text{F} - 94,604 \text{ }^\circ\text{F})$ $t_c = 107,5327 \text{ }^\circ\text{F}$
Menghitung luas penampang shell (a_s) dan diameter ekuivalen (De) $a_s = \frac{ID_s \times C \times B}{Pt}$ $a_s = \frac{30,748 \text{ in} \times 0,25 \text{ in} \times 23,623 \text{ in}}{1,25 \text{ in}}$ $\times \frac{\text{ft}^2}{144}$ $a_s = 1,0088 \text{ ft}^2$ <p>Berdasarkan <i>fig.28</i> Kern dengan data OD = 1 in Pt triangular = 1,25 in Diperoleh De = 0,72 in = 0,06 ft</p>	Menghitung luas penampang tube (a_t) dan diameter dalam (ID_t) <p>Berdasarkan table 10 Kern dengan data OD = 1 in BWG = 14 in Diperoleh ID_t dan <i>flow area</i> per tube: ID_t = 0,834 in = 0,0695 ft a't = 0,546 in² Sehingga, $a_t = \frac{Nt \times a't}{144 \times n}$$a_t = \frac{382 \times 0,546}{144 \times 1}$$a_t = 1,4484 \text{ ft}^2$</p>
Menghitung kecepatan massa (Gs) $G_s = \frac{W_s}{a_s}$ $G_s = \frac{12737,9372 \text{ lb/jam}}{1,0088 \text{ ft}^2}$	Menghitung kecepatan massa (Gt) $G_t = \frac{W_t}{a_t}$ $G_t = \frac{20469,1024 \text{ lb/jam}}{1,4484 \text{ ft}^2}$



$G_s = 12626,8212 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^2 \text{jam}}$	$G_t = 14132,2165 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^2 \text{jam}}$
<p>Menghitung bilangan Reynold</p> <p>$T_c = 171,4508 \text{ }^\circ\text{F}$</p> <p>$^\circ\text{API} = 35,8962$</p> <p>Berdasarkan <i>fig.14</i> Kern dengan data</p> <p>$35^\circ\text{API} \rightarrow x = 10$</p> <p style="padding-left: 40px;">$y = 20$</p> <p>$\mu_s = 1,7 \text{ cP}$</p> <p>$42^\circ\text{API} \rightarrow x = 11,6$</p> <p style="padding-left: 40px;">$y = 16$</p> <p>$\mu_s = 0,8 \text{ cP}$</p> <p>Interpolasi mencari μ_s ketika $T_c = 171,4508 \text{ }^\circ\text{F}$ pada $^\circ\text{API} = 35,8962$</p> $\frac{42 - 35,8962}{42 - 35} = \frac{0,8 - x}{0,8 - 1,7}$ <p>$x = 1,5848$</p> <p>$\mu_s = 1,5848 \text{ cP}$</p> $\mu_s = 1,5848 \times 2,42 \frac{\text{lb}}{\text{ft. jam}}$ $\mu_s = 3,8352 \frac{\text{lb}}{\text{ft. jam}}$ $Re_s = \frac{De \times G_s}{\mu_s}$ $Re_s = \frac{0,06 \text{ ft} \times 12626,8212 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^2 \text{jam}}}{3,8352 \frac{\text{lb}}{\text{ft. jam}}}$ <p>$Re_s = 197,5410$</p>	<p>Menghitung bilangan Reynold</p> <p>$t_c = 107,5327 \text{ }^\circ\text{F}$</p> <p>$^\circ\text{API} = 36,9323$</p> <p>Berdasarkan <i>fig.14</i> Kern dengan data</p> <p>$35^\circ\text{API} \rightarrow x = 10$</p> <p style="padding-left: 40px;">$y = 20$</p> <p>$\mu_t = 3,3 \text{ cP}$</p> <p>$42^\circ\text{API} \rightarrow x = 11,6$</p> <p style="padding-left: 40px;">$y = 16$</p> <p>$\mu_t = 1,3 \text{ cP}$</p> <p>Interpolasi mencari μ_t ketika $t_c = 107,5327 \text{ }^\circ\text{F}$ pada $^\circ\text{API} = 36,9323$</p> $\frac{42 - 36,9323}{42 - 35} = \frac{1,3 - x}{1,3 - 3,3}$ <p>$x = 2,7479$</p> <p>$\mu_t = 2,7479 \text{ cP}$</p> $\mu_t = 2,7479 \times 2,42 \frac{\text{lb}}{\text{ft. jam}}$ $\mu_t = 6,6499 \frac{\text{lb}}{\text{ft. jam}}$ $Re_t = \frac{ID \times G_t}{\mu_t}$ $Re_t = \frac{0,0695 \text{ ft} \times 14132,2165 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^2 \text{jam}}}{6,6499 \frac{\text{lb}}{\text{ft. jam}}}$ <p>$Re_t = 147,6992$</p>



Menghitung koefisien perpindahan panas lapisan film pada bagian luar

shell $\left(\frac{h_o}{\Phi_s}\right)$

Berdasarkan *fig.4* Kern dengan data:

$$T_C = 171,4508 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$^\circ\text{API} = 35,8962$$

$$C_p = 0,52 \frac{\text{Btu}}{\text{jam}} \cdot \text{ft}^2$$

Berdasarkan *fig.1* Kern diperoleh

$$k = 0,077 \frac{\text{Btu}}{\text{jam}} \cdot \text{ft}^2$$

Berdasarkan *fig.28* Kern dengan data:

$$Re_s = 197,5410$$

Maka diperoleh:

$$j_H = 8$$

$$\frac{h_o}{\Phi_s} = j_H \times \frac{k}{De} \times \left(\frac{C_p \times \mu}{k}\right)^{\frac{1}{3}}$$

$$\frac{h_o}{\Phi_s} = 8 \times \frac{0,077 \frac{\text{Btu}}{\text{jam}} \cdot \text{ft}^2}{0,06 \text{ ft}}$$

$$\times \left(\frac{0,52 \frac{\text{Btu}}{\text{lb}} \cdot \text{ }^\circ\text{F} \times 3,8352 \frac{\text{lb}}{\text{ft} \cdot \text{jam}}}{0,077 \frac{\text{Btu}}{\text{jam} \cdot \text{ft}^2}}\right)^{\frac{1}{3}}$$

$$\frac{h_o}{\Phi_s} = 30,3759 \frac{\text{Btu}}{\text{jam} \cdot \text{ }^\circ\text{F} \cdot \text{ft}^2}$$

Menghitung koefisien perpindahan panas lapisan film pada bagian luar

tube $\left(\frac{h_i}{\Phi_t}\right)$

Berdasarkan *fig.4* Kern dengan data:

$$t_C = 107,5327 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$^\circ\text{API} = 36,9323$$

$$C_p = 0,485 \frac{\text{Btu}}{\text{jam}} \cdot \text{ft}^2$$

Berdasarkan *fig.1* Kern diperoleh

$$k = 0,079 \frac{\text{Btu}}{\text{jam}} \cdot \text{ft}^2$$

$$\frac{L}{ID_t} = \frac{10 \text{ ft}}{0,0695 \text{ ft}} = 143,8849$$

Berdasarkan *fig.24* Kern dengan data:

$$\frac{L}{ID_t} = 143,8849$$

$$Re_t = 147,6992$$

Maka diperoleh:

$$j_H = 1,9$$

$$\frac{h_i}{\Phi_t} = j_H \times \frac{k}{ID_t} \times \left(\frac{C_p \times \mu}{k}\right)^{\frac{1}{3}}$$

$$\frac{h_i}{\Phi_t} = 1,9 \times \frac{0,079 \frac{\text{Btu}}{\text{jam}} \cdot \text{ft}^2}{0,0695 \text{ ft}}$$

$$\times \left(\frac{0,485 \frac{\text{Btu}}{\text{lb}} \cdot \text{ }^\circ\text{F} \times 6,6499 \frac{\text{lb}}{\text{ft} \cdot \text{jam}}}{0,079 \frac{\text{Btu}}{\text{jam} \cdot \text{ft}^2}}\right)^{\frac{1}{3}}$$

$$\frac{h_i}{\Phi_t} = 7,4366 \frac{\text{Btu}}{\text{jam} \cdot \text{ }^\circ\text{F} \cdot \text{ft}^2}$$



Menghitung suhu dinding luar tube (Tw)

$$T_w = t_c + \left(\frac{\frac{h_o}{\Phi_s}}{\frac{h_o}{\Phi_s} + \frac{h_{io}}{\Phi_t}} \right) \times (T_c - t_c)$$

Dimana,

$$\frac{h_{io}}{\Phi_t} = \frac{h_i}{\Phi_t} \times \frac{IDt}{OD}$$

$$\frac{h_{io}}{\Phi_t} = 7,4366 \frac{\text{Btu}}{\text{jam. } ^\circ\text{F. ft}^2} \times \frac{0,834 \text{ in}}{1 \text{ in}}$$

$$\frac{h_{io}}{\Phi_t} = 6,2021 \frac{\text{Btu}}{\text{jam. } ^\circ\text{F. ft}^2}$$

Sehingga,

$$T_w = 107,5327 \text{ } ^\circ\text{F} + \left(\frac{30,3759 \frac{\text{Btu}}{\text{jam. } ^\circ\text{F. ft}^2}}{30,3759 \frac{\text{Btu}}{\text{jam. } ^\circ\text{F. ft}^2} + 6,2021 \frac{\text{Btu}}{\text{jam. } ^\circ\text{F. ft}^2}} \right)$$

$$\times (171,4508 \text{ } ^\circ\text{F} - 107,5327 \text{ } ^\circ\text{F})$$

$$T_w = 160,8275 \text{ } ^\circ\text{F}$$

Menghitung koefisien transfer panas bagian shell (ho)

$$T_w = 160,8275 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$^{\circ}\text{API} = 35,8962$$

Berdasarkan *fig.14* Kern dengan data

$$35^{\circ}\text{API} \rightarrow x = 10$$

$$y = 20$$

$$\mu_w = 1,9 \text{ cP}$$

$$42^{\circ}\text{API} \rightarrow x = 11,6$$

$$y = 16$$

$$\mu_w = 0,9 \text{ cP}$$

Menghitung koefisien transfer panas bagian tube (hio)

$$T_w = 160,8275 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$^{\circ}\text{API} = 36,9323$$

Berdasarkan *fig.14* Kern dengan data

$$35^{\circ}\text{API} \rightarrow x = 10$$

$$y = 20$$

$$\mu_w = 1,9 \text{ cP}$$

$$42^{\circ}\text{API} \rightarrow x = 11,6$$

$$y = 16$$

$$\mu_w = 0,9 \text{ cP}$$



<p>Interpolasi mencari μ_w ketika $T_w = 160,8275$ °F pada °API = 35,8962</p> $\frac{42 - 35,8962}{42 - 35} = \frac{0,9 - x}{0,9 - 1,9}$ <p>$x = 1,7720$</p> <p>$\mu_w = 1,7720$ cP</p> $\mu_w = 1,7720 \times 2,42 \frac{\text{lb}}{\text{ft. jam}}$ $\mu_w = 4,2882 \frac{\text{lb}}{\text{ft. jam}}$ $\Phi_s = \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0,14}$ $\Phi_s = \left(\frac{3,8352 \frac{\text{lb}}{\text{ft. jam}}}{4,2882 \frac{\text{lb}}{\text{ft. jam}}} \right)^{0,14}$ <p>$\Phi_s = 0,9845$</p> $h_o = \left(\frac{h_o}{\Phi_s} \right) \times \Phi_s$ $h_o = 30,3759 \frac{\text{Btu}}{\text{jam. } ^\circ\text{F. ft}^2} \times 0,9845$ $h_o = 29,9051 \frac{\text{Btu}}{\text{jam. } ^\circ\text{F. ft}^2}$	<p>Interpolasi mencari μ_w ketika $T_w = 160,8275$ °F pada °API = 36,9323</p> $\frac{42 - 36,9323}{42 - 35} = \frac{0,9 - x}{0,9 - 1,9}$ <p>$x = 1,6240$</p> <p>$\mu_w = 1,6240$ cP</p> $\mu_w = 1,6240 \times 2,42 \frac{\text{lb}}{\text{ft. jam}}$ $\mu_w = 3,9301 \frac{\text{lb}}{\text{ft. jam}}$ $\Phi_t = \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0,14}$ $\Phi_t = \left(\frac{6,6499 \frac{\text{lb}}{\text{ft. jam}}}{3,9301 \frac{\text{lb}}{\text{ft. jam}}} \right)^{0,14}$ <p>$\Phi_t = 1,0764$</p> $h_{io} = \left(\frac{h_{io}}{\Phi_t} \right) \times \Phi_t$ $h_{io} = 6,2021 \frac{\text{Btu}}{\text{jam. } ^\circ\text{F. ft}^2} \times 1,0764$ $h_{io} = 6,6759 \frac{\text{Btu}}{\text{jam. } ^\circ\text{F. ft}^2}$
<p>Menghitung koefisien bersih (Uc)</p> $U_c = \frac{h_{io} \times h_o}{h_{io} + h_o}$ $U_c = \frac{6,6759 \frac{\text{Btu}}{\text{jam. } ^\circ\text{F. ft}^2} \times 29,9051 \frac{\text{Btu}}{\text{jam. } ^\circ\text{F. ft}^2}}{6,6759 \frac{\text{Btu}}{\text{jam. } ^\circ\text{F. ft}^2} + 29,9051 \frac{\text{Btu}}{\text{jam. } ^\circ\text{F. ft}^2}}$ $U_c = 5,4576 \frac{\text{Btu}}{\text{jam. } ^\circ\text{F. ft}^2}$	



Menghitung koefisien desain (Ud)

Dari data yang diketahui:

$$ODt = 1 \text{ in}$$

$$BWG = 14 \text{ in}$$

Berdasarkan tabel 10 diperoleh:

$$a'' = 0,2618 \text{ ft}$$

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

$$A = 382 \times 10 \text{ ft} \times 0,2618 \text{ ft}$$

$$A = 1000,076 \text{ ft}^2$$

$$Ud = \frac{Qt}{A \times \Delta T \text{ LMTD}}$$

$$Ud = \frac{285221,4673 \frac{\text{Btu}}{\text{jam}}}{1000,076 \text{ ft}^2 \times 61,8172 \text{ }^\circ\text{F}}$$

$$Ud = 4,6136 \frac{\text{Btu}}{\text{jam. }^\circ\text{F. ft}^2}$$

Menghitung nilai Rd

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

$$Rd = \frac{5,4576 \frac{\text{Btu}}{\text{jam. }^\circ\text{F. ft}^2} - 4,6136 \frac{\text{Btu}}{\text{jam. }^\circ\text{F. ft}^2}}{5,4576 \frac{\text{Btu}}{\text{jam. }^\circ\text{F. ft}^2} \times 4,6136 \frac{\text{Btu}}{\text{jam. }^\circ\text{F. ft}^2}}$$

$$Rd = 0,0335 \frac{\text{jam. }^\circ\text{F. ft}^2}{\text{Btu}}$$

Menghitung efisiensi

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

$$\eta = \frac{285221,4673 \frac{\text{Btu}}{\text{jam}}}{336114,4203 \frac{\text{Btu}}{\text{jam}}} \times 100\%$$

$$\eta = 84,8584 \%$$



Menghitung <i>pressure drop</i> bagian <i>shell</i>	Menghitung <i>pressure drop</i> bagian <i>tube</i>
<p>(ΔP_s)</p> <p>$Re_s = 197,5410$</p> <p>Berdasarkan <i>fig.29</i> Kern, diperoleh:</p> $f = 0,0049 \frac{ft^2}{in^2}$ <p>Jumlah crosses</p> $(N + 1) = 12 \times \frac{L}{B}$ $(N + 1) = 12 \times \frac{10 \text{ ft}}{23,623 \text{ in}}$ $(N + 1) = 5,0798$ <p>$ID_s = 30,748 \text{ in} = 2,5623 \text{ ft}$</p> $\Delta P_s = \frac{f \times G_s^2 \times ID_s \times (N + 1)}{5,22 \times 10^{10} \times De \times SG_s \times \Phi_s}$ $= \frac{0,0049 \times (12626,8212)^2 \times 2,5623 \times 5,0798}{5,22 \times 10^{10} \times 0,06 \times 0,8453 \times 0,9845}$ <p>$\Delta P_s = 0,0039 \text{ psi}$</p>	<p>(ΔP_t)</p> <p>$Re_t = 147,6992$</p> <p>Berdasarkan <i>fig.29</i> Kern, diperoleh:</p> $f = 0,0055 \frac{ft^2}{in^2}$ <p>$ID_t = 0,834 \text{ in} = 0,0695 \text{ ft}$</p> $\Delta P_t = \frac{f \times G_t^2 \times L \times n}{5,22 \times 10^{10} \times ID_t \times SG_t \times \Phi_t}$ $= \frac{0,0055 \times (14132,2165)^2 \times 10 \times 1}{5,22 \times 10^{10} \times 0,0695 \times 0,8401 \times 1,0764}$ <p>$\Delta P_t = 0,0033 \text{ psi}$</p> <p>$v = \frac{G_t}{\rho}$</p> $v = \frac{14132,2165 \frac{lb}{ft^2 \cdot jam}}{52,2897 \frac{lb}{ft^3}}$ $v = 270,2677 \frac{ft}{jam}$ $v = 0,0751 \frac{ft}{s}$ <p>Sehingga,</p> $\Delta P_r = \frac{4 \times n}{SG_t} \times \frac{v^2}{2g'} \left(\frac{62,5}{144} \right)$ $\Delta P_r = \frac{4 \times 1}{0,8401} \times \frac{\left(\frac{0,0751 ft}{s} \right)^2}{2 \left(32,174 \frac{ft}{s^2} \right)} \left(\frac{62,5 \frac{lb}{ft^3}}{144} \right)$ $\Delta P_r = 0,00042 \frac{\frac{ft^2}{s^2}}{\frac{ft}{s^2}} \times \left(\frac{62,5 \frac{lb}{ft^3}}{144} \right)$ <p>$\Delta P_r = 0,00018 \frac{lb}{in^2}$</p>



	$\Delta Pr = 0,00018 \text{ psi}$ Maka, $\Delta PT = \Delta Pt + \Delta Pr$ $\Delta PT = 0,0033 \text{ psi} + 0,00018 \text{ psi}$ $\Delta PT = 0,00348 \text{ psi}$
--	--

IX.8.5 Hasil Evaluasi *Heat Exchanger-02*

Data hasil evaluasi *Heat Exchanger-02* ditunjukkan pada tabel berikut :

Tabel IX.4 Data Hasil Evaluasi *Heat Exchanger-02*

Data Perhitungan	Satuan	Standar	Evaluasi	Keterangan
Uc	$\frac{Btu}{hr. ft^2. ^\circ F}$	Uc > Ud	5,4576	Sesuai
Ud	$\frac{Btu}{hr. ft^2. ^\circ F}$	Uc > Ud	4,6136	Sesuai
Rd	$\frac{hr. ft^2. ^\circ F}{Btu}$	Tidak melebihi 0,004	0,0335	Tidak sesuai
η	%	-	84,8584	-
ΔPs	Psi	Tidak melebihi 10	0,0039	Sesuai
ΔPT	psi	Tidak melebihi 10	0,00348	Sesuai

IX.8.6 Pembahasan

Pengamatan ini dilakukan pada *Heat Exchanger-02* tipe *shell and tube* yang ada di unit kilang PPSDM Migas Cepu selama 5 hari pada tanggal 12, 13, 17, 18, dan 19 September 2024. Pada *Heat Exchanger-02*, bagian *shell* dilalui fluida panas berupa solar sedangkan *tube* dilalui fluida dingin berupa *crude oil*. *Heat Exchanger-02* ini berfungsi sebagai pemanas awal *crude oil* sebelum dipanaskan kedalam



furnace. Selain itu, juga berfungsi untuk menurunkan temperatur dari produk solar sebelum masuk ke *cooler*.

Berdasarkan data spesifikasi *Heat Exchanger-02* dan data lapangan yang telah diperoleh, dilakukan analisis perhitungan evaluasi efisiensi *Heat Exchanger-02* yaitu sebagai berikut :

IX.8.6.1 Analisis Nilai *Overall Coefficient* dan *Fouling Factor* pada *Heat Exchanger-02*

Fouling factor (R_d) menunjukkan ketahanan suatu *Heat Exchanger* terhadap suatu pengotor. *Fouling factor* yang memenuhi standar yaitu ketika nilai *clean overall coefficient* (U_c) melebihi nilai *design overall coefficient* (U_d) dengan batas maksimal $0,004 \text{ jam} \cdot ^\circ\text{F} \cdot \text{ft}^2/\text{Btu}$ (Kern, 1965). Berdasarkan hasil perhitungan, didapatkan nilai *clean overall coefficient* (U_c) sebesar $5,4576 \text{ Btu/jam} \cdot ^\circ\text{F} \cdot \text{ft}^2$, nilai *design overall coefficient* (U_d) sebesar $4,6136 \text{ Btu/jam} \cdot ^\circ\text{F} \cdot \text{ft}^2$, dan nilai *dirt factor* sebesar $0,0335 \text{ jam} \cdot ^\circ\text{F} \cdot \text{ft}^2/\text{Btu}$. Hal tersebut menunjukkan bahwa nilai U_c lebih besar dari nilai U_d sehingga *Heat Exchanger-02* masih memenuhi standar. Sedangkan, nilai R_d perhitungan tidak memenuhi R_d yang diizinkan dikarenakan nilai R_d yang didapat melebihi $0,004 \text{ jam} \cdot ^\circ\text{F} \cdot \text{ft}^2/\text{Btu}$. Nilai R_d yang kurang dari standar dapat menyebabkan hambatan terhadap transfer panas (Mulyani *et al.*, 2024). Hal ini dikarenakan terdapat pengotor pada dinding *shell and tube* yang dapat mempengaruhi perpindahan panas kurang maksimal sehingga dapat meningkatkan penggunaan energi dan biaya operasional.

Adapun beberapa upaya yang dapat dilakukan untuk mengendalikan nilai R_d agar memenuhi standar diantaranya yaitu seperti membersihkan *Heat Exchanger* dari pengotor atau kerak secara rutin. Pembersihan pada *Heat Exchanger* dapat dilakukan dengan dua metode, yaitu metode *mechanical cleaning* yang dapat dilakukan dengan cara membongkar alat dan dibersihkan secara mekanis, serta dengan metode *chemical cleaning* dengan mengalirkan air yang bertekanan tinggi yang dicampur dengan zat kimia pada *Heat Exchanger* (Ansar *et al.*, 2021). Hal ini bertujuan agar *Heat Exchanger* menjadi lebih baik selama proses



berlangsung. Pembersihan kerak pada dinding *shell and tube Heat Exchanger* dapat menghasilkan perpindahan panas lebih maksimum.

IX.8.6.2 Analisis Nilai *Pressure Drop* pada *Heat Exchanger-02*

Pressure drop merupakan besarnya penurunan tekanan pada aliran suatu alat dalam operasi akibat adanya gesekan pada dinding atau saluran. Aliran fluida cair memiliki standar nilai *Pressure drop* yang diizinkan yaitu dibawah 10 psi, hal ini agar laju alir massa fluida dibagian *inlet* tidak jauh berbeda dengan bagian *outlet* sehingga kinerja *Heat Exchanger* tidak menurun (Kern, 1965). Berdasarkan hasil perhitungan didapatkan nilai *pressure drop* pada bagian *shell* sebesar 0,0039 psi sedangkan nilai *pressure drop* pada bagian *tube* didapatkan sebesar 0,00348 psi. Hal ini menunjukkan bahwa nilai *pressure drop* yang didapat telah memenuhi standar sehingga *Heat Exchanger-02* masih layak untuk beroperasi. Nilai *pressure drop* di kedua sisi *Heat Exchanger* tergolong rendah. Terjadinya *Pressure drop* disebabkan nilai *fouling factor* yang tersedia semakin melebihi batas desain. Penggunaan fluida proses berupa solar dan *crude oil* meningkatkan kemungkinan penurunan tekanan dalam *Heat Exchanger* dikarenakan fluida proses tersebut bersifat viskos atau kental serta memiliki laju alir yang relatif kecil (Prabaswara *et al.*, 2021).

IX.8.6.3 Analisis Nilai Efisiensi pada *Heat Exchanger-02*

Efisiensi menunjukkan kinerja alat *Heat Exchanger* dalam mentransfer panas. Berdasarkan hasil perhitungan nilai efisiensi *Heat Exchanger-02* didapatkan nilai sebesar 84,8584%. Hal tersebut menunjukkan nilai efisiensi yang cukup tinggi. Nilai efisiensi yang besar menunjukkan kemampuan perpindahan panas antar fluida yang semakin baik dan presentase *heat loss*nya kecil. Perpindahan panas antar fluida yang semakin baik, ditandai dengan besarnya panas yang dilepas solar mendekati dengan besarnya panas yang diterima *crude oil* (Amrullah & Walhawanadana, 2022). Berdasarkan hasil perhitungan panas yang dilepas oleh solar yaitu sebesar 336114,4203 Btu/jam. Sedangkan panas yang diterima oleh *crude oil* yaitu sebesar 285221,4673 Btu/jam. Besarnya efisiensi dapat dipengaruhi



**PRAKTIK KERJA LAPANGAN
PUSAT PENGEMBANGAN SUMBER DAYA MANUSIA
MINYAK DAN GAS BUMI CEPU**



oleh nilai *fouling factor*, dimana semakin besar nilai *fouling factor* maka efisiensi *Heat Exchanger* semakin menurun. Besarnya nilai *fouling factor* menandakan banyaknya pengotor dalam alat yang dapat menyebabkan penambahan resistensi terhadap perpindahan panas yang menyebabkan laju perpindahan panas pada *Heat Exchanger* berkurang, sehingga dapat mempengaruhi kinerja *Heat Exchanger* (Al Ghifary *et al.*, 2022).



BAB X

KESIMPULAN DAN SARAN

X.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisis, pengolahan data, serta hasil evaluasi yang dilakukan terhadap kinerja *Heat Exchanger-02* di unit kilang PPSDM Migas Cepu, diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. *Clean overall coefficient* bernilai $5,4576 \text{ Btu/jam.}^\circ\text{F.ft}^2$ yang lebih besar daripada *Design overall coefficient* dengan nilai $4,6136 \text{ Btu/jam.}^\circ\text{F.ft}^2$ sehingga memenuhi standar. Nilai *fouling factor* didapatkan sebesar $0,0335 \text{ jam.}^\circ\text{F.ft}^2/\text{Btu}$ yang masih diluar batas yang diizinkan yaitu $0,004 \text{ jam.}^\circ\text{F.ft}^2/\text{Btu}$.
2. Nilai *pressure drop* pada *shell* sebesar $0,0039 \text{ psi}$, sedangkan nilai *pressure drop* pada *tube* sebesar $0,00348 \text{ psi}$. Dengan demikian *pressure drop* masih memenuhi standar karena kurang dari 10 psi .
3. Nilai efisiensi *Heat Exchanger-02* cukup tinggi yaitu sebesar $84,8584\%$.

X.2 Saran

Sebaiknya dilakukan pembersihan *Heat Exchanger-02* secara berkala untuk menghindari pembentukan kerak yang dapat mengganggu perpindahan panas, sehingga kinerja alat *Heat Exchanger-02* dapat berjalan dengan baik dan maksimal.