



BAB IX TUGAS KHUSUS

IX.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara yang kaya akan sumber daya alam yang berlimpah dan dibutuhkan di berbagai sektor industri, salah satunya migas. Sebagai negara yang memiliki sumber daya alam dan sumber daya manusia yang melimpah, dibutuhkan pengetahuan dan pengelolaan yang baik demi terwujudnya kemandirian dan kesejahteraan ekonomi. Sejalan dengan usaha untuk mengembangkan sektor industri yang kokoh maka perlu diciptakan suatu keseimbangan antara dunia Pendidikan dari industri untuk menghasilkan seorang diploma yang memiliki pemahaman dan keterampilan yang berkaitan dengan pengembangan teknologi dan bidang- bidang penerapannya. Dengan kemampuan akademis yang handal dan keterampilan di bidang industri yang cukup, tenaga-tenaga kerja itu nantinya bisa mengembangkan kreativitas dan penalaran untuk memberikan sumbangan pemikiran dalam pembangunan industri di Indonesia. Oleh karena itu, mahasiswa UPN “Veteran” Jawa Timur dituntut untuk mengantisipasi dan mempersiapkan diri dalam menghadapi isu tersebut baik dalam segi teori maupun dalam segi praktek dengan melalui kegiatan Praktek Kerja Lapangan. Dalam kegiatan tersebut mahasiswa dapat belajar sekaligus memecahkan permasalahan yang terjadi pada perusahaan, sehingga terbentuk mental yang kuat dalam menghadapi masalah yang serupa.

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*. Pada Kilang PPSDM MIGAS Cepu, terdapat 5 alat *Heat Exchanger* yaitu HE 01, HE 02, HE 03, HE 04, dan HE 05.

Pemanfaatan dan pengoperasian *Heat Exchanger* secara optimum akan



meningkatkan efisiensi energi pada suatu unit proses yang pada akhirnya berpengaruh terhadap *operating cost* unit proses maupun kilang tersebut. Selain itu operasi *Heat Exchanger* juga ditunjukkan untuk pertimbangan aspek keselamatan dan keamanan serta lingkungan.

Alat penukar kalor sangat berpengaruh terhadap keberhasilan dari keseluruhan rangkaian proses pada suatu industri. Apabila terjadi kegagalan operasi pada peralatan ini baik mekanik 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.

Pada pelaksanaan praktek kerja ini, diberikan tugas khusus dengan judul “*Redesign Heat Exchanger-03* Pada Unit Kilang PPSDM Migas”. Pemilihan tugas khusus ini dimaksudkan agar peserta praktek kerja dapat mendalami proses yang terjadi pada alat penukar kalor (*Heat Exchanger*) yang digunakan dalam proses pengolahan minyak dan gas bumi, serta dapat menghitung design kinerja *Heat Exchanger-03* yang paling optimal berdasarkan faktor pengotor dan tekanan operasi.

IX.2 Ruang Lingkup Tugas Khusus

Kerja praktek di Pusat Pengembangan Sumber Daya Manusia Minyak dan Gas Bumi dilakukan dengan ruang lingkup masalah sebagai berikut :

1. Pengenalan terhadap perusahaan meliputi sejarah dan manajemen perusahaan
2. Pemahaman proses dan peralatan produksi
3. Mengetahui dan mempelajari produk yang dihasilkan
4. Pengenalan terhadap unit utilitas
5. Pengenalan terhadap unit pengolahan limbah industri
6. Evaluasi kinerja dan *redesign Heat Exchanger-03* yang paling optimal berdasarkan faktor pengotor dan tekanan operasi



IX.3 Batasan Tugas Khusus

Batasan tugas khusus dalam kerja praktik ini yaitu menghitung kinerja dan *redesign Heat Exchanger-03* menggunakan data-data yang diperoleh di lapangan, *control room* dan laboratorium produksi pada unit kilang di PPSDM Migas, serta beberapa data yang didapat dari literatur Analisis dilakukan sesuai dengan prosedur yang ada di kilang PPSDM Migas Cepu.

IX.4 Rumusan Masalah Tugas Khusus

Adapun rumusan masalah tugas khusus dari pelaksanaan kerja praktik ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimanakah kinerja *Heat Exchanger-03* yang paling optimal berdasarkan faktor pengotor dan tekanan operasi dalam unit kilang PPSDM Minyak dan Gas bumi?
2. Apakah *Heat Exchanger-03* masih layak digunakan pada unit kilang PPSDM Minyak dan Gas bumi berdasarkan perhitungan faktor pengotor dan tekanan operasi yang telah didapatkan?
3. Bagaimanakah cara menghitung kinerja *Heat Exchanger-03* yang paling optimal berdasarkan faktor pengotor dan tekanan operasi dalam unit kilang PPSDM Minyak dan Gas bumi?

IX.5 Tujuan Tugas Khusus

1. Untuk mengetahui kinerja *Heat exchanger-03* yang terdapat di unit kilang PPSDM Migas Cepu melalui perhitungan *heat balance* pada *bagian shell and tube*, efisiensi *Heat Exchanger*, menghitung jumlah panas yang dipindahkan, nilai *fouling factor*, nilai *design coefficient overall* (U_d), dan *pressure drop*.
2. Untuk mengetahui pengaruh dari gangguan pembentukan *fouling factor* terhadap kinerja dari *heat exchanger*.
3. Untuk mendapatkan desain *Heat Exchanger-03* yang lebih efisien dengan menggunakan nilai *design coefficient overall* (U_d).



IX.6 Manfaat Tugas Khusus

1. Agar dapat meningkatkan kinerja *Heat Exchanger-03*.
2. Agar dapat mengetahui tingkat keamanan operasi pada *Heat Exchanger-03*.
3. Agar mendapatkan desain *Heat Exchanger-03* yang lebih sesuai dengan kondisi operasi yang dijalankan.

IX.7 Dasar Teori

IX.7.1 Minyak Bumi

Minyak bumi (*petroleum*) dijuluki sebagai emas hitam. Minyak bumi adalah cairan kental, berwarna hitam atau kehijauan, mudah terbakar dan berada di lapisan atas dari beberapa tempat di kerak bumi. Minyak bumi merupakan salah satu bentuk hidrokarbon, yaitu senyawa kimia yang mengandung hidrogen dan karbon. Minyak bumi yang belum diolah disebut minyak mentah (*crude oil*) dan belum dapat digunakan. Minyak mentah diolah dengan cara dipisah-pisahkan berdasarkan titik didihnya. Hasil pengolahan minyak mentah berupa bensin, solar, avtur, minyak tanah, aspal, plastik, oli dan LPG.

Minyak (*petroleum*) berasal dari kata *Petro* yang berarti *rock* (batu) dan *Leum* yang berarti *oil* (minyak). Minyak bumi bila diproses hasilnya dapat diolah menjadi produk-produk yang dapat dipergunakan secara luas, sebagian besar sebagai sumber energi seperti bahan bakar kendaraan, bahan bakar pembangkit listrik, bahan bakar rumah tangga dan produk-produk lainnya. Secara fisik minyak bumi (*Crude Oil*) merupakan cairan kental yang berwarna coklat gelap. Dalam minyak bumi terkandung gas, cairan dan elemen-elemen padat yang terlarut di dalamnya dan juga partikel-partikel padatan yang terbawa selama pengangkutannya ke permukaan bumi.

Minyak mentah (*petroleum*) adalah campuran yang kompleks, terutama terdiri dari hidrokarbon bersama-sama dengan sejumlah kecil komponen yang mengandung sulfur, oksigen dan nitrogen dan sangat sedikit komponen yang mengandung logam, proses pengolahan minyak bumi melibatkan 2 proses utama, yaitu :



a. Proses pemisahan (*separation processes*)

Unit operasi yang digunakan dalam penyulingan minyak biasanya sederhana tetapi yang kompleks adalah interkoneksi dan interaksinya. Proses pemisahan tersebut adalah

1) Distilasi

Bensin, kerasin dan minyak gas biasanya disuling pada tekanan atmosfer, fraksi-fraksi minyak pelumas akan mencapai suhu yang lebih tinggi dimana zat-zat hidrokarbon mula terurai (biasanya kira-kira antara suhu 375 -400°C) karena itu lebih baik jika minyak pelumas disuling dengan tekanan yang diturunkan. Pengurangan tekanan diperoleh dengan menggunakan sebuah pompa vakum (*vacuum pump*).

2) Absorpsi

Umumnya digunakan untuk memisahkan zat yang bertitik didih tinggi dengan gas. Minyak gas digunakan untuk menyerap gasolin alami dari gas-gas basah. Gas-gas dikeluarkan dari tangki penyimpanan gas sebagai hasil dari pemanasan matahari yang kemudian diserap ulang oleh tanaman. Steam stripping pada umumnya digunakan untuk mengabsorpsi hidrokarbon fraksi ringan dan memperbaiki kapasitas absorpsi minyak gas. Proses ini dilakukan terutama dalam hal-hal sebagai berikut :

- Untuk mendapatkan fraksi-fraksi gasolin alami yang dapat dicampurkan pada bensin
- Untuk pemisahan gas-gas rekahan dalam suatu fraksi yang sangat ringan (misalnya fraksi yang terdiri dari zat hidrogen, metana, etana) dan fraksi yang lebih berat yaitu yang mempunyai komponen-komponen yang lebih tinggi
- Untuk menghasilkan bensin-bensin yang dapat dipakai dari berbagai gas ampas dari suatu instalasi penghalus

3) Adsorpsi

Proses adsorpsi digunakan untuk memperoleh material berat dan gas. Pemakan terpenting proses adsorpsi pada perindustrian minyak adalah



- Untuk mendapatkan bagian-bagian berisi bensin (*natural gasoline*) dan gas-gas bumi, dalam hal ini digunakan arang aktif
- Untuk menghilangkan bagian-bagian yang memberikan warna dan hal-hal lain yang tidak dikehendaki dari minyak, digunakan tanah liat untuk menghilangkan warna dan *bauxiet* (bijih oksida-aluminium)

4) Filtrasi

Digunakan untuk memindahkan endapan lilin dari lilin yang mengandung destilat. Filtrasi dengan tanah hat digunakan untuk decolorisasi fraksi.

5) Kristalisasi

Sebelum di filtrasi lilin harus dikristalisasi untuk menyesuaikan ukuran kristal dengan cooling dan stirring. Lilin yang tidak diinginkan dipindahkan dan menjadi lilin mikrokristalin yang diperdagangkan.

6) Ekstraksi

Pengerjaan ini didasarkan pada pembagian dari suatu bahan tertentu dalam dua bagian yang memiliki sifat larut yang berbeda.

b. Proses Konversi (*conversion processes*)

Hampir 70% dari minyak mentah di proses secara konversi di USA, mekanisme yang terjadi berupa pembentukan "ion karbonium" dan "radikal bebas". Dibawah ini ada beberapa contoh reaksi konversi dasar yang penting

1) *Cracking* atau *Pyrolysis*

Cracking atau *pyrolysis* merupakan proses pemecahan molekul-molekul hidrokarbon besar menjadi molekul-molekul yang lebih kecil dengan adanya pemanasan atau katalis. Proses *cracking* dilakukan untuk menghasilkan fraksi-fraksi bensin yang berat yaitu yang mempunyai bilangan oktan yang buruk karena umumnya bilangan oktan itu meningkat jika titik didihnya turun.

2) Polimerisasi

Terbentuknya polimer antara ikatan molekul yang sama yaitu ikatan bersama dari *light gasoline*. Proses polimerisasi merubah produk samping gas hidrokarbon yang dihasilkan pada *cracking* menjadi hidrokarbon *liquid*



yang bisa digunakan sebagai bahan bakar motor dan penerbangan yang memiliki bilangan oktan yang tinggi serta bahan baku petrokimia.

3) Alkilasi

Proses alkilasi merupakan proses penggabungan olefin dari aromatik atau hidrokarbon parafin. Proses alkilasi adalah eksotermik dan pada dasarnya sama dengan polimerisasi, hanya berbeda pada bagian-bagian dari *charging stock need be unsaturated*. Sebagai hasilnya adalah produk alkilat yang tidak mengandung olefin dan memiliki bilangan oktan yang tinggi. Metode ini didasarkan pada reaktivitas dari karbon tersier dari isobutana dengan olefin, seperti propilen, butilen dan amilen.

4) Hidrogenasi

Proses ini adalah penambahan hidrogen pada olefin, katalis hidrogen adalah logam yang dipilih tergantung pada senyawa yang akan direduksi dan pada kondisi hidrogenasi, misalnya Pt, Pd, Ni, dan Cu.

5) *Hydrocracking*

Proses *hydrocracking* merupakan penambahan hidrogen pada proses *cracking*.

6) Isomerisasi

Proses isomerisasi merubah struktur dari atom dalam molekul tanpa adanya perubahan nomor atom. Proses ini menjadi penting karena dapat menghasilkan isobutana yang dibutuhkan untuk membuat alkilat sebagai dasar *gasoline* penerbangan.

7) *Reforming* atau Aromatisasi

Reforming merupakan proses konversi dari naphtha untuk memperoleh produk yang memiliki bilangan oktan yang tinggi, dalam proses ini biasanya menggunakan katalis rhenium, platinum, dan chromium (Zuhra, 2003).



IX.7.2 Perpindahan Panas

Perpindahan panas merupakan salah satu bidang ilmu yang mempelajari perpindahan energi yang terjadi karena adanya perbedaan temperatur antara material atau komponen. Dalam termodinamika energi yang berpindah satu tempat ketempat yang lain itu dinamakan dengan kalor. Kalor atau panas dapat didefinisikan sebagai suatu energi yang berpindah dari satu daerah ke daerah lain akibat adanya perbedaan temperatur pada daerah tersebut. Kalor akan berpindah dari temperatur tinggi ke temperatur yang lebih rendah. Ketika kalor atau panas berpindah maka akan terjadi proses pertukaran panas dan kemudian akan berhenti disaat telah terjadi kesetimbangan suhu. Berdasarkan medium perantaranya perpindahan panas dibagi menjadi beberapa bagian, yaitu :

a. Perpindahan Panas Konduksi

Perpindahan panas konduksi adalah perpindahan panas tanpa disertai dengan media pemanasnya. Perpindahan panas ini dapat terjadi pada suatu material yang mempunyai gradient sehingga kalor akan mengalir tanpa disertai suatu gerakan zat. Panas akan mengalir dari daerah yang bertemperatur tinggi ke daerah yang bertemperatur rendah dalam suatu medium (padat, cair, gas).

b. Perpindahan Panas Konveksi

Proses perpindahan panas konveksi adalah pengangkutan kalor oleh gerak dari zat yang dipanaskan, proses ini terjadi pada permukaan material. Proses perpindahan panas secara konveksi juga dapat didefinisikan dengan proses transport energi dengan kerja gabungan dan konduksi kalor, penyimpanan energi dan gerakan mencampur. Hal yang utama dalam perpindahan panas konveksi adalah keadaan permukaan dan keadaan sekelilingnya serta kedudukan permukaan. Pada umumnya keadaan keseimbangan termodinamika di dalam bahan akibat proses konduksi, suhu permukaan bahan akan berbeda dan suhu sekelilingnya.

c. Perpindahan Panas Radiasi

Proses perpindahan panas radiasi adalah proses perpindahan panas yang diubah menjadi gelombang elektromagnetik yang merambat tanpa melalui media penghantar. Ketika gelombang tersebut telah sampai mengenai pada



permukaan benda, maka gelombang mengalami transisi (diteruskan), refleksi (dipantulkan) dan absorpsi (diserap) kemudian menjadi kalor. Hal ini tergantung terhadap jenis bendanya (Maulana, 2019).

IX.7.3 Heat Exchanger

Heat exchanger adalah salah satu perangkat yang paling banyak digunakan di industri untuk mengatur perpindahan panas secara efisien di industri aplikasi proses. Terdapat beberapa fakta bahwa setiap proses yang melibatkan pemanasan, pendinginan, mendidih, kondensasi atau penguapan akan membutuhkan *heat exchanger* untuk fungsi-fungsi ini. *Heat exchanger* biasanya digunakan untuk memproses pendinginan cair atau gas, proses kondensasi uap, proses penguapan cairan, dan banyak lagi aplikasi industri lainnya. Jumlah panas yang ditransfer menggunakan lebih sedikit luas permukaan dan penurunan tekanan adalah untuk ukuran kinerja dan efisiensi penukar panas.

Pada *heat exchanger* terjadi aliran perpindahan panas diantara dua fluida atau lebih pada temperatur yang berbeda, dimana fluida tersebut mengalir dalam sistem. Fluida dengan temperatur yang lebih tinggi akan mengalirkan panas ke fluida yang temperatur lebih rendah. Pada proses pengilangan minyak, alat yang kerap kali digunakan adalah *heat exchanger*. *Heat exchanger* dimanfaatkan secara optimal untuk meningkatkan efisiensi energi pada suatu unit proses yang akan berpengaruh pada *operating cost* unit proses maupun kilang. *Heat exchanger* dapat mempengaruhi keseluruhan rangkaian proses pada suatu industri. Dalam hal ini *heat exchanger* digunakan sebagai pemanas pendahuluan sebelum *crude oil* masuk ke dalam *furnace* dengan menggunakan residu sebagai media pemanasnya. Hal ini diperhitungkan untuk menghemat biaya dalam penyediaan bahan bakar *furnace*.

IX.7.4 Prinsip Kerja Heat Exchanger

Prinsip kerja dari alat penukar kalor yaitu memindahkan panas dari dua fluida pada temperatur berbeda dimana 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.

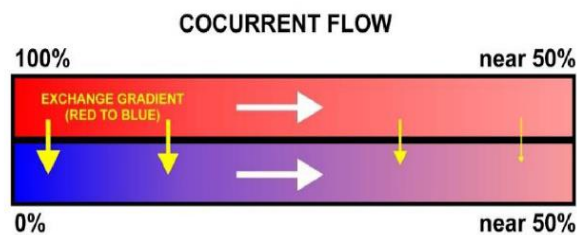
2. Secara kontak tak langsung

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

IX.7.5 Tipe Aliran dalam *Heat exchanger*

1. Aliran Paralel atau searah (*Co-Current*)

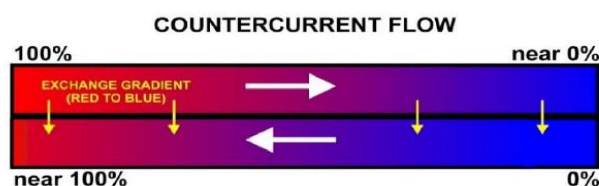
Fluida panas dalam *tube* mengalir searah dengan fluida yang dipanaskan diluar *tube* (*shell*). Perpindahan pada jenis ini relatif kecil karena fluida yang telah berubah suhunya akan mengalir pada posisi tempat dan arah yang sama.



Gambar IX.1 Arah Aliran *Co-Current*

2. Aliran berlawanan Arah (*Counter Current*)

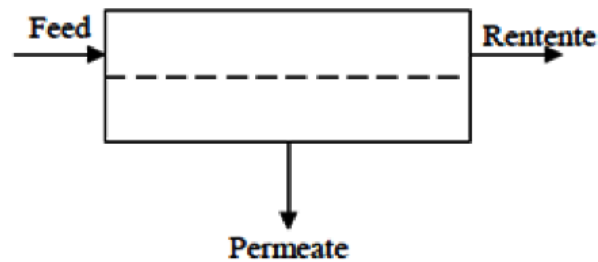
Arah aliran jenis ini, fluida panas dalam *tube* mengalir berlawanan arah dengan fluida yang dipanaskan diluar *tube*. Perpindahan panas jenis ini sangat baik sebab kedua fluida saling menukar panas sepanjang aliran dalam peralatan tersebut. Jenis aliran ini banyak digunakan pada alat penukar panas.



Gambar IX.2 Arah Aliran *Counter Current*

3. Arah Aliran Melintang (*Cross Flow*)

Arah aliran ini, fluida dalam tube didinginkan dengan arah melintang oleh fluida yang didinginkan. Untuk jenis aliran ini biasanya menggunakan *Finned Tube* dan banyak dipakai *fin fan* dengan pendingin udara. Perpindahan panas yang terjadi lebih kecil bila dibandingkan dengan arah aliran berlawanan.



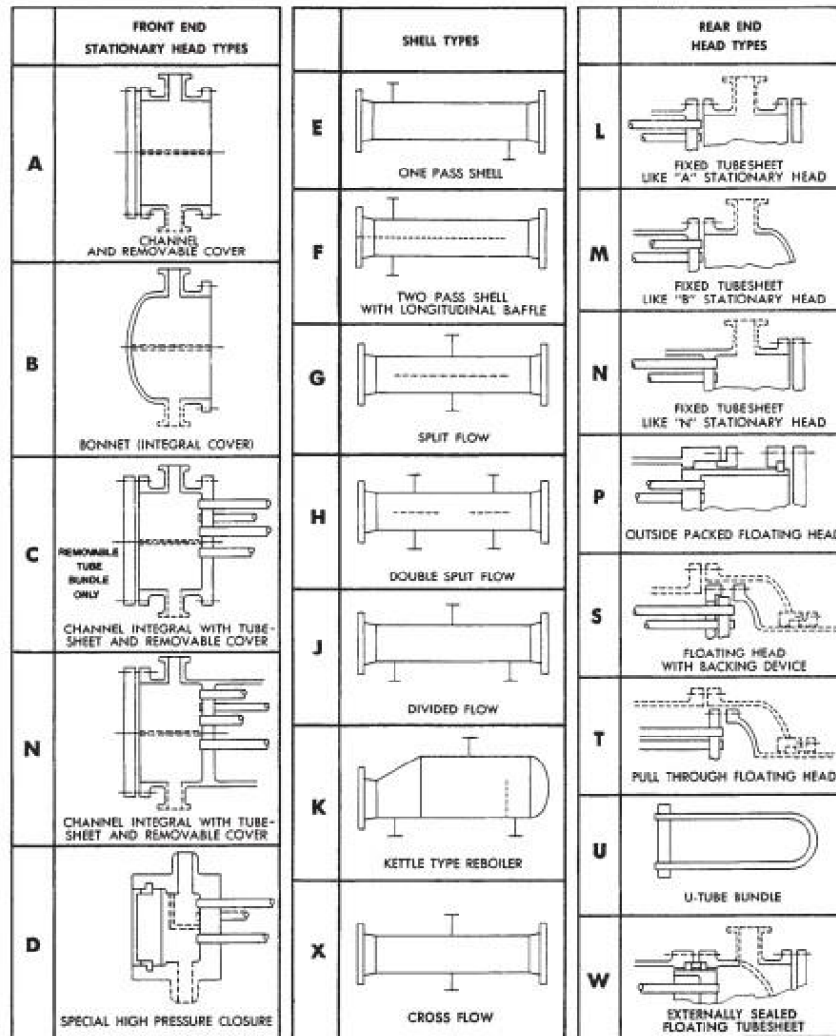
Gambar IX.3 Arah Aliran *Cross Flow*

(Amin, 2013)

IX.7.6 Jenis Heat exchanger

Perlu diketahui bahwa untuk alat-alat ini terdapat suatu terminologi yang telah distandardkan untuk menamai alat dan bagian-bagian alat tersebut yang dikeluarkan oleh asosiasi pembuat *Heat Exchanger* yang dikenal dengan *Tubular Exchanger Manufacturers Association (TEMA)*. Standardisasi tersebut bertujuan untuk melindungi para pemakai dari bahaya kerusakan atau kegagalan alat, karena alat ini beroperasi pada temperature dan tekanan yang tinggi. Dalam *standard* mekanik TEMA, terdapat dua macam kelas *heat exchanger*, yaitu :

1. **Kelas R**, yaitu untuk peralatan yang bekerja dengan kondisi berat, misalnya untuk industri minyak dan kimia berat.
2. **Kelas C**, yaitu yang dibuat untuk general purpose, dengan didasarkan pada segi ekonomis dan ukuran kecil, digunakan untuk proses-proses umum industri.
3. **Kelas B**, yaitu untuk menentukan desain fabrikasi untuk proses kimia.

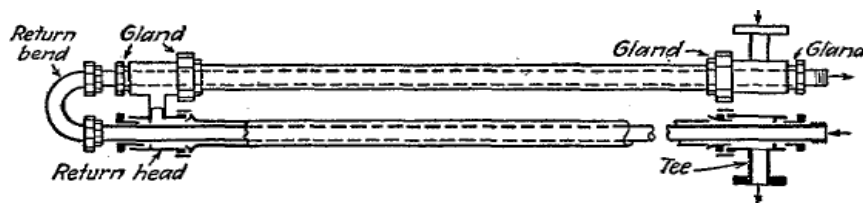


Gambar IX.4 Desain TEMA untuk *Shell and Tube Heat Exchanger*

Dari seluruh tipe *shell* diatas, tipe E merupakan tipe yang paling banyak digunakan karena konstruksinya yang sederhana dan relatif lebih murah. Tipe F memiliki luas permukaan yang lebih besar karena *shell* tipe ini memiliki 2 aliran. Kondisi aliran terbelah seperti pada tipe G, H dan J digunakan pada kondisi khusus, seperti pada kondensor dan boiler thermosiphon. *Shell* tipe K biasa digunakan untuk pemanas kolam air dan *shell* tipe X digunakan untuk menurunkan tekanan uap. *Heat Exchanger* sendiri memiliki jenis yang bermacam-macam. Beberapa contoh *Heat Exchanger* adalah :

1. *Double Pipe Heat exchanger*

Bagian dari peralatan ini adalah penukar pipa ganda yang ditunjukkan pada gambar 2.1. Bagian utama adalah dua set pipa konsentris, dua *tees* penghubung, dan kepala kembali dan tikungan kembali. Pipa bagian dalam didukung di dalam pipa luar dengan kelenjar pengemas, dan fluida memasuki pipa bagian dalam melalui sambungan berulir yang terletak di luar bagian penukar. *Tees* memiliki nozel atau sambungan sekrup yang terpasang padanya dengan benar. Memungkinkan untuk masuk dan keluarnya cairan yang melintasi dari satu kaki ke kaki lainnya melalui kepala kembali. Dua panjang pipa bagian dalam dihubungkan oleh tikungan balik yang biasanya terbuka dan tidak memberikan permukaan perpindahan panas yang efektif. Alat penukar panas jenis ini dapat digunakan pada laju alir fluida yang kecil dan tekanan operasi yang tinggi.



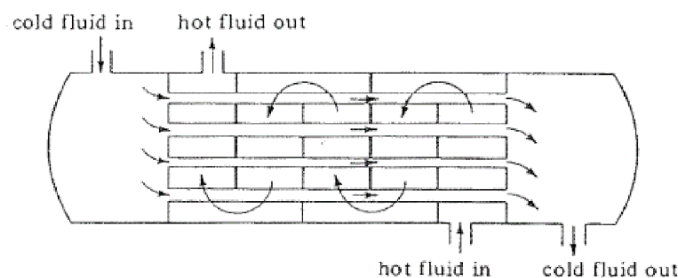
Gambar IX.5 *Double Pipe Heat Exchanger*

Secara sederhana *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 *concurrent*. *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. *Shell And Tube Heat exchanger*

Shell and tube heat exchanger terdiri dari rangkaian tabung. Satu set tabung ini berisi cairan yang harus dipanaskan atau didinginkan. Cairan kedua mengalir di atas tabung yang sedang dipanaskan atau didinginkan sehingga dapat memberikan panas atau menyerap panas yang dibutuhkan. *Shell and tube heat exchanger* biasanya digunakan untuk aplikasi tekanan tinggi (dengan tekanan lebih dari 30 bar dan 3 suhu lebih besar dari 260°C). Ini karena *shell*

and tube heat exchanger kuat karena bentuknya. *Heat exchanger* jenis ini digunakan untuk laju alir yang lebih tinggi, sehingga sering digunakan di industri. Tube dipasang secara paralel dan memiliki jumlah yang banyak di dalam satu shell. Prinsip kerja dari *heat exchanger* ini adalah fluida dingin masuk ke dalam tube sedangkan fluida panas masuk dari ujung yang berbeda sehingga aliran yang ada adalah aliran *counter current* di bagian *shell*.

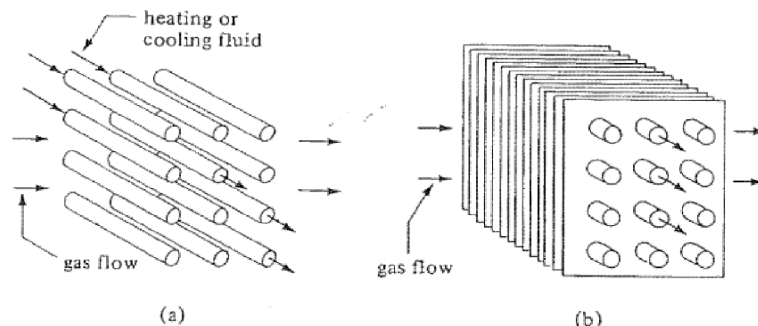


Gambar IX.6 *Shell And Tube Heat Exchanger*

(Kern, 1965)

3. *Cross Flow Heat Exchanger*.

Jenis ini biasa digunakan untuk memanaskan atau mendinginkan udara. Cairan dialirkan ke dalam *tube* dan gas dialirkan di bagian luar *tube* baik menggunakan gaya ataupun konveksi alami. Cairan dalam *tube* tidak disarankan untuk dicampur dengan aliran lain. Sedangkan untuk gas pemanas atau pendingin, aliran udara boleh bercampur agar temperatur di seluruh *tube* dapat tersebar secara merata. Untuk fluida yang tidak bercampur dalam *tube*, akan terjadi gradient temperatur yang paralel dan normal pada arah alirannya.

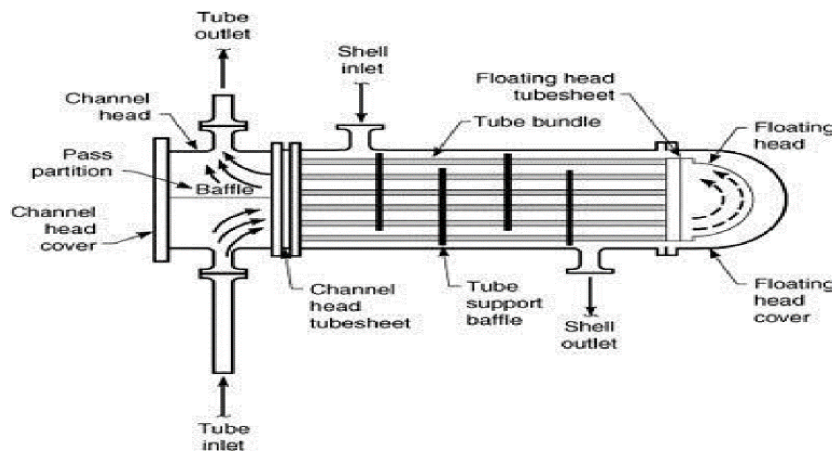


Gambar IX.7 *Cross Flow Heat Exchanger*

IX.7.7 *Shell and Tube Heat exchanger*

Jenis ini merupakan tipe alat penukar panas yang paling sering digunakan di industri terutama industri Petrokimia karena harganya yang relatif murah dan perawatannya yang mudah. Tipe alat penukar panas pada 11E-25 juga merupakan tipe *shell and tube*, dimana perpindahan panas terjadi secara konduksi dan radiasi. Dilihat dari penggunaannya alat ini dibagi dalam dua kategori yaitu :

1. Penukar panas proses (proses *Heat Exchanger*)
2. Penukar panas pembangkit tenaga (*Power Plant Heat Exchanger*)



Gambar IX.8 Bagian *Shell and Tube Heat Exchanger*

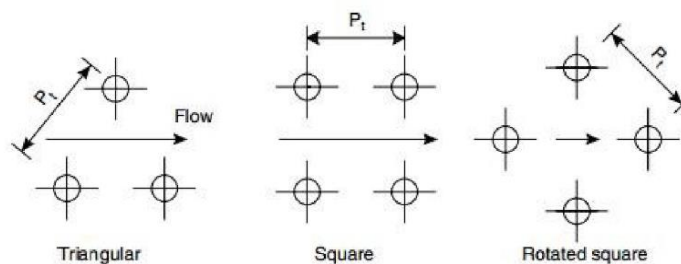
Keuntungan *Shell and Tube Heat Exchanger* merupakan *Heat Exchanger* yang paling banyak digunakan pada proses-proses industri karena mampu memberikan rasio area perpindahan panas dengan volume dan massa fluida yang cukup kecil. Selain itu juga dapat mengakomodasi ekspansi termal, mudah untuk dibersihkan, dan konstruksinya juga cukup murah di antara yang lain. Untuk menjamin bahwa fluida pada *shell side* mengalir melintasi tabung dan dengan demikian menyebabkan perpindahan kalor yang lebih tinggi, maka di dalam *shell* tersebut dipasangkan sekat/penghalang/*baffle* (Za Tendra, 2011).

IX.7.8 Komponen *Shell and Tube Heat Exchanger*

Komponen-komponen utama *shell and tube Heat Exchanger* ini terdiri dari:

1) *Tube*

Tube pada sebuah *Heat Exchanger* biasanya berupa pipa-pipa kecil dalam jumlah tertentu dan dalam diameter tertentu pula. Diameter dalam *tube* merupakan diameter dalam aktual dalam ukuran inchi, dengan toleransi yang sangat tepat. *Tube* dapat dibuat dari berbagai jenis logam seperti besi, tembaga, muniz metal, perunggu, 70-30 tembaga-nikel, aluminium perunggu, aluminium dan stainless steel. Untuk ukuran ketebalan pipa *tube* yang berbeda-beda dinyatakan dalam bilangan yang disebut “*Birmingham Wire Gage*” (BWG). Ukuran pipa tersebut secara umum biasanya digunakan dengan mengikuti ukuran-ukuran yang telah baku. Semakin besar bilangan BWG maka semakin tipis *tubenya*. *Tube* dalam *shell* memiliki beberapa jenis susunan. Susunan yang lazim digunakan adalah segitiga (*triangular*), persegi (*square*), dan diamond (*rotated square*).



Gambar IX.9 Pola Susunan *Tube* dalam *Shell*

Masing-masing jenis ini memiliki kelebihan dan kekurangan. Kelebihan dan kekurangan ini dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel IX.1 Perbandingan Pola Segitiga, Persegi, dan Diamond pada Susunan *Tube*

Jenis	Kelebihan	Kekurangan
Segitiga	<ul style="list-style-type: none"> a. Laju perpindahan panas cukup besar. a. Jumlah <i>tube</i> dapat dibuat menjadi lebih banyak. 	<ul style="list-style-type: none"> a. <i>Pressure drop</i> cukup besar



		a. Pembersihan sulit, menggunakan bahan kimia
Persegi	a. <i>Pressure drop</i> rendah a. Dapat dibersihkan secara mekanik a. cocok untuk menangani fluida fouling	Koefisien film relative rendah
Diamond	a. Koefisien film lebih tinggi dibandingkan pola persegi, namun dibawah pola segitiga. a. Mudah dibersihkan secara mekanik b. Baik untuk fluida fouling	a. <i>Pressure drop</i> tidak serendah <i>square pitch</i> a. Koefisien film relatif rendah

2) Tube Pitch

Lubang-lubang pipa pada penampang *shell* dan *tube* tidak disusun secara begitu saja namun mengikuti aturan tertentu. Lubang *tube* (*tube hole*) tidak boleh saling berdekatan. Jarak antara dua buah *tube* yang saling berdekatan disebut dengan *clearance*. Jumlah pipa dan ukuran *tube* harus disesuaikan dengan ukuran *shell*-nya, ketentuan ini mengikuti aturan baku yang ada. Untuk lubang-lubang pipa dapat berbentuk persegi atau segitiga. Bentuk susunan lubang-lubang pipa secara persegi dan segitiga ini disebut sebagai *tube pitch*.

Jenis-jenis *tube pitch* yang utama adalah :

a. *Square pitch*

Digunakan untuk *Heat Exchanger* dengan *pressure drop* yang rendah dan pembersihan secara mekanik dilakukan pada bagian luar *tube*. Pusat-pusat *tube* saling membentuk sudut 90°.

b. *Triangular pitch*

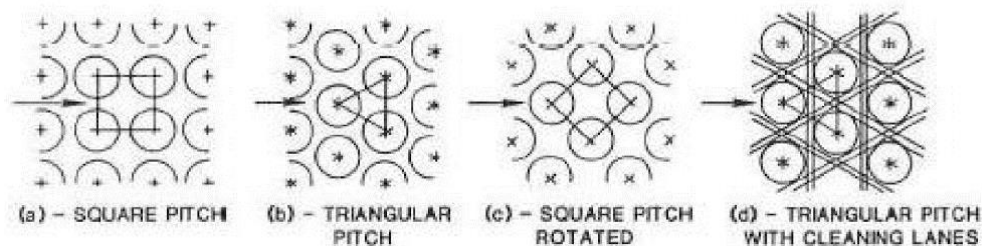
Triangular pitch digunakan untuk fluida yang tingkat kekotorannya tinggi ataupun rendah. Pusat-pusat *tube* saling membentuk sudut 60° searah dengan aliran fluida nya.

c. *Square pitch rotated*

Digunakan untuk *Heat Exchanger* dengan *pressure drop* dan nilai perpindahan panas yang lebih tinggi dibandingkan dengan *square pitch*. Pusat-pusat *tube* saling membentuk sudut 45° .

d. *Triangular pitch with cleaning lanes*

Tipe ini jarang digunakan, tetapi dapat digunakan untuk *Heat Exchanger* dengan *pressure drop* sedang hingga tinggi. Memiliki nilai perpindahan panas yang lebih baik dari *square pitch*.



Gambar IX.10 Jenis *Pitch Tube Sheet*

Berfungsi sebagai tempat untuk merangkai ujung-ujung *tube* sehingga menjadi satu yang disebut *tubebundle*. *Tube sheet* terbuat dari material dengan ketebalan dan jenis tertentu tergantung dari jenis fluida yang mengalir pada peralatan tersebut. *Heat Exchanger* dengan *tube* lurus pada umumnya menggunakan dua buah *tube sheet*. Sedangkan pada *tube* tipe U menggunakan satu buah *tube sheet* yang berfungsi untuk menyatukan *tube-tube* menjadi *tube bundle* dan sebagai pemisah antara *tube side* dengan *shell*. *Tube sheet* harus tahan korosi terhadap fluida.

3) *Tie Rods*

Batangan besi yang dipasang sejajar dengan *tube* dan ditempatkan di bagian paling luar dari *baffle* yang berfungsi sebagai penyangga agar jarak antara *baffle* yang satu dengan lainnya tetap.

4) *Shell*

Konstruksi dari *shell* ini bergantung pada kondisi *tube* yang akan ditempatkan di dalam *shell* dan temperatur fluida yang akan mengalir dalam *shell* tersebut. Untuk temperatur yang sangat tinggi, kadang diberi sambungan



ekspansi. Biasanya *shell* dalam sebuah *Heat Exchanger* berbentuk bulat memanjang (*silinder*) yang berisi *tube bundle* sekaligus sebagai wadah mengalirkan zat atau fluida. Untuk kemungkinan korosi, tebal *shell* sering diberi kelebihan 1/8 inch. Pembagian tipe *shell* dibagi berdasarkan *front-end stationary head type*, *shell type*, dan *rear head type*.

5) *Baffle*

Baffle merupakan bagian yang penting dari alat penukar panas. Kondisi kecepatan aliran baik dalam *shell* maupun *tube* dapat diatur oleh *baffle*. Fungsi *baffle* ini adalah untuk membuat aliran turbulen sehingga perpindahan panas menjadi lebih baik, dimana harga koefisien perpindahan panas yang didapat besar serta menambah waktu tinggal (*residence time*). Tetapi pemasangan *baffle* akan memperbesar *pressure drop* operasi dan menambah beban kerja pompa, sehingga laju alir fluida yang tukar panasnya harus diatur. Luas *baffle* $\pm 75\%$ dari penampang *shell*. Jarak antar *baffle* tidak lebih dekat dari 1/5 diameter *shell* karena apabila terlalu dekat akan didapat kehilangan tekanan yang besar.

6) *Longitudinal Baffle*

Longitudinal baffle merupakan lempengan sekat yang dipasang sejajar poros *shell* yang berfungsi memperbanyak jumlah aliran fluida dalam *shell*.

7) *Channel*

Channel berfungsi untuk membalikkan arah aliran fluida dalam *tube* pada *fixed tube exchanger*.

8) *Nozzle*

Nozzle merupakan saluran masuk dan keluar fluida dalam *shell* ke dalam *tube*.



IX.7.9 Pemilihan Fluida yang dilewatkan *Tube and Shell*

Dalam pemilihan fluida yang akan dilewatkan dalam tube maupun *shell* terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi, faktor-faktor tersebut antara lain:

1. Sifat aliran fluida

Apabila laju arus fluida dalam tube kecil maka pola alirannya laminar sehingga tidak sesuai dengan yang diinginkan. Pola aliran dalam tube harus turbulen karena koefisien perpindahan panasnya akan besar. Aliran dalam tube mempunyai kecepatan yang besar sehingga dapat mencegah terjadinya endapan.

2. Kekotoran fluida

Fluida kotor dilewatkan melalui tube karena tube-tube dengan mudah dapat dibersihkan. Dilewatkan melalui *shell*, bila tube tidak dapat dibersihkan atau sejumlah besar dari *cokes* atau reruntuhan ada yang terkumpul di *shell* dan dapat dihilangkan melalui tempat pembuangan pada *shell*.

3. Kekorosian fluida

Masalah korosi sangat dipengaruhi oleh penggunaan dari paduan logam. Paduan logam tersebut mahal oleh karena itu fluida yang korosif dialirkan melalui tube untuk menghemat biaya yang terjadi karena kerusakan *shell*.

4. Tekanan

Fluida bertekanan tinggi dilewatkan pada tube karena bila dilewatkan *shell* membutuhkan diameter dan ketebalan yang lebih sehingga membutuhkan biaya yang lebih mahal.

5. Suhu

Fluida dengan suhu tinggi dilewatkan pada tube karena panasnya ditransfer seluruhnya ke arah permukaan luar tube atau ke arah *shell* sehingga akan diserap sepenuhnya oleh fluida yang mengalir di *shell*. Apabila fluida dengan temperatur lebih tinggi dilewatkan pada *shell* maka transfer panas tidak hanyadilakukan ke arah *tube*, tetapi ada kemungkinan transfer panas juga terjadi ke arah luar *shell* (ke lingkungan).



6. Kuantitas

Fluida yang memiliki volume yang besar dilewatkan melalui tube untuk memaksimalkan proses perpindahan panas yang terjadi.

7. Viskositas

Fluida yang viskositas atau memiliki laju rendah, dilewatkan melalui *shell* karena dapat menggunakan *baffle*.

8. *Pressure drop*

Peletakan fluida dalam tube akan lebih mudah dalam mengalkulasikan *pressure drop*.

9. *Sediment / Suspended Solid / Fouling*

Fluida yang mengandung *Sediment / Suspended Solid* atau yang menyebabkan *fouling* sebaiknya dialirkan di *tube* sehingga tube-tube dengan mudah dibersihkan. Jika fluida yang mengandung *sediment* dialirkan di *shell*, maka *sediment / fouling* tersebut akan terakumulasi pada *stagnan zone* di sekitar *baffle*, sehingga *clearing* pada sisi *shell* menjadi tidak mungkin dilakukan tanpa mencabut *tube bundle*.

Dalam penggunaan alat-alat perpindahan panas tersebut, ada dua hal, yang perlu diperhatikan dan ditetapkan batasnya yaitu :

- a. Hal yang berkaitan dengan kemampuan alat untuk mengalihkan panas dari fluida dingin lewat dinding tube.
- b. Hal yang berkaitan dengan penurunan tekanan yang terjadi pada masing-masing fluida ketika mengalir melalui alat tersebut. Suatu alat perpindahan panas dinilai mampu berfungsi dengan baik dalam penggunaannya apabila memenuhi ketentuan yaitu mampu memindahkan panas sesuai dengan kebutuhan proses operasi dalam keadaan kotor (*fouling factor* atau *Rd*). *Rd* adalah gabungan maksimum terhadap perpindahan panas yang diperlukan oleh kotoran yang menempel pada bagian permukaan dinding *shell* dan *tube* apabila tidak dibersihkan akan mengurangi perpindahan panas yang terjadi.

Kedua ketentuan tersebut harus diperhatikan baik dalam melaksanakan evaluasi maupun analisis *Performance* suatu alat perpindahan panas (Kern, 1965).



IX.7.10 Analisa Performance *Heat exchanger*

Untuk menganalisa *performance* suatu *Heat exchanger*, 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 :

$$Q = W \times C_p \times \Delta T \dots \dots \dots (1)$$

2. *Log Mean Temperature Difference (LMTD)*

$$LMTD = \frac{\Delta t_{th} - \Delta t_{tc}}{\ln \frac{\Delta t_{th}}{\Delta t_{tc}}} \dots \dots \dots (2)$$

3. *Uc (Clean Overall Coeficient)*

Clean Overall Coeficient merupakan *coeficient* 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.

$$U_c = \frac{h_{io} \cdot h_o}{h_{io} + h_o} \dots \dots \dots (3)$$

4. U_D (*Design/Dirty Overall Coeficient*)

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

$$U_d = \frac{Q}{N_t \times a'' \times L \times LMTD} \dots \dots \dots (4)$$

5. *Heat Balance*

$$Q = W \cdot C_p \cdot (T_1 - T_2) = w \cdot c_p \cdot (t_1 - t_2) \dots \dots \dots (5)$$

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)

R_d atau *Fouling factor* merupakan *resistance* dan *heat exchanger* yang dimaksudkan untuk mereduksi korosifitas akibat dari interaksi antara fluida dengandinding 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 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.

$$R_d = \frac{U_c - U_d}{U_c \cdot U_d} \dots \dots \dots (6)$$

(Sudrajat, 2017)

Bila R_d (*deposited*) > R_d (*allowed*) maka *Heat exchanger* tersebut perlu dibersihkan. R_d yang diizinkan sebesar 0,004 hr.ft².°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 :

$$\Delta P_s = \frac{f \times (G_s)^2 \times D_s \times (N+1)}{5,22 \times 10^{10} \times D_e \times S_g \times \phi_s} \dots \dots \dots (7)$$

Pressure drop pada tube dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\Delta P_t = \frac{f \times (G_t)^2 \times L \times n}{5,22 \times 10^{10} \times D \times S_g \times \phi_t} \dots \dots \dots (8)$$



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

1. Terdapat *heating surface* yang sama pada setiap pass
2. *Overall Coefficient Heat Transfer* (U_c) adalah konstan
3. Laju alir massa fluida *di shell* dan di tube adalah konstan
4. *Specific Heat* dari masing-masing fluida adalah konstan
5. Tidak ada perubahan fase penguapan pada setiap bagian dari *heat exchanger*
6. *Heat Loss* diabaikan

IX.7.11 Kelebihan dan Kelemahan *Heat exchanger Double Pipe* dan *Shell and Tube*

1. *Double Pipe*

Kelebihan :

- a. Mampu beroperasi pada tekanan yang tinggi, dan karena tidak ada sambungan, resiko tercampurnya kedua fluida sangat kecil
- b. Memiliki tingkat fleksibilitas dan yang tinggi karena unitnya dapat dilakukan penambahan atau pengurangan sesuai kebutuhan

Kekurangan :

- a. Kapasitas perpindahan panasnya sangat kecil.

2. *Shell and Tube*

Kelebihan :

- a. Memberikan luas permukaan atau penampang perpindahan panas yang besardengan volume yang kecil
- b. Mampu dioperasikan pada tekanan tinggi
- c. Dapat dirancang dengan menggunakan berbagai jenis bahan atau material
- d. Mudah dalam melakukan *maintenance* atau perawatan
- e. Memiliki prosedur *thermal* dan *mechanical design* yang baik.

Kekurangan :

- a. Pemasangan sekat akan memperbesar *pressure drop* operasi dan menyebabkan beban kerja pompa bertambah berat, sehingga laju alir fluida harus diatur sedemikian rupa.



IX.7.12 Faktor yang Menyebabkan Pembentukan Endapan (*Fouling*)

Endapan (*fouling*) dalam *Heat Exchanger* sangat tidak diinginkan karena dapat menambah tahanan transfer panas. Penambahan ini akan mengurangi nilai dari koefisien transfer panas dan mengakibatkan panas yang ditransfer juga akan mengalami pengurangan karena luas permukaan yang juga akan berkurang. Beberapa faktor yang dapat menyebabkan terbentuknya *fouling* :

1. Suhu operasi di atas 250°F
2. Proses pemanasan lebih besar daripada proses pendinginan
3. Terjadi penguapan
4. Kecepatan aliran yang relatif kecil
5. Adanya reaksi organis antara *feed* dan oksigen saat di *storage tank*.

IX.7.13 Pembersihan dan Pemeliharaan (*maintenance*) *Heat Exchanger*

Biasanya *Heat Exchanger* dihitung faktor kekotorannya setelah beberapa periode. Jika sudah mendekati periode tersebut *Heat Exchanger* tersebut tidak dapat bekerja secara maksimal karena adanya kotoran-kotoran yang melekat pada dinding *shell* maupun *tube*. Hal ini dapat diatasi dengan cara memberhentikan *Heat Exchanger* sementara kemudian dilakukan pembersihan pada *Heat Exchanger* tersebut. Dalam proses pemurnian minyak bumi, sering ditemui *cake* dan kotoran lainnya yang korosif dan dapat merusak alat. Untuk meminimalkan kadar korosi serat deposit garam dalam alat tersebut maka biasanya digunakan suatu katalisator negatif dalam sistem pengoperasiannya.

Pada prinsipnya *maintenance* dapat dibagi menjadi dua yaitu *planned maintenance* dan *unplanned maintenance*. Adapun jenis *maintenance* dapat dibedakan sebagai berikut :

a. *Preventive Maintenance*

Tindakan agar peralatan tidak mengalami kerusakan atau gangguan. Oleh karena itu, tindakan ini bertujuan menekan suatu tingkat keadaan yang menunjukkan gejala kerusakan sebelum peralatan tersebut mengalami kerusakan fatal sehingga umur pemakaiannya panjang.



b. *Corrective Maintenance*

Tindakan *corrective* atau perbaikan tidak saja hanya memperbaiki kerusakan akan tetapi terutama mempelajari sebab-sebabnya dan bagaimana cara mengatasinya agar tidak terulang lagi, frekuensi *corrective* sangat dipengaruhi sejauh mana *preventive* dilakukan.

c. *Break Down*

Merupakan salah satu bentuk tindakan perbaikan terhadap peralatan dengan cara membongkar pasang yang dikenal *overhead*. *Overhead* dibagi dua *minor* dan *major*, penentuan *overhead minor* atau *major* berdasarkan:

- 1) Tingkat kesulitan kerusakan.
- 2) Waktu yang dipergunakan untuk perbaikan
- 3) Kebutuhan tenaga (ahli atau tukang)
- 4) Besarnya biaya

d. *Shut Down*

Peralatan yang mendadak mati atau ada yang mengartikan dimatikan, dalam hal ini untuk keperluan tindakan *maintenance*, perbedaan pengertian ini berdasarkan pengalaman di lapangan namun pada dasarnya *shut down* adalah mati atau terhentinya karena kerusakan atau dalam rangka perbaikan.

e. *Overhaul*

Pemeriksaan dan perbaikan secara menyeluruh terhadap sesuatu fasilitas atau peralatan sehingga mencapai standard yang dapat diterima.

- 1) *Minor Overhaul* adalah perbaikan dalam kriteria ringan.
- 2) *Major Overhaul* adalah perbaikan dalam kriteria berat.

Kriteria ringan dan berat berdasarkan tingkat kesulitan, waktu yang dipergunakan, keahlian tenaga kerja dan besarnya biaya yang dibutuhkan.

f. *Predictive Maintenance*

Merupakan perkiraan terhadap peralatan yang diperkirakan dalam waktu tertentu akan rusak, mungkin karena sudah menunjukkan gejala atau karena perkiraan atas umur peralatan tersebut. Jadi *predictive maintenance* adalah bentuk baru dari *planned maintenance* dimana penggantian komponen/suku cadang dilakukan lebih awal waktu terjadinya kerusakan.



g. *Unplanned Maintenance*

Pelaksanaan perbaikan terhadap suatu fasilitas karena kerusakan di luar *schedule* atau terjadi *emergency*. Biasanya dilakukan dengan *break down* atau *overhaul*, suatu kejadian yang tidak dikehendaki oleh siapapun. Kejadian ini sangat dihindari, maka tindakan *corrective* berdasarkan *planned maintenance* merupakan hal mutlak untuk menghindari *emergency*. Kerugian atas terjadinya *emergency* akan lebih besar demikian juga dengan *lost production* akan lebih besar.

IX.5 Perhitungan Tugas Khusus

IX.5.1 Spesifikasi Alat *Heat exchanger-03*

Tabel IX.2 Spesifikasi Alat *Heat Exchanger-03*

SHELL			
Uraian	Notasi	HE-02	Satuan
Diameter luar	Ods	31,614	inchi
Diameter dalam	ID	30,748	inchi
Jumlah <i>buffle</i>	N	4	buah
Jarak antar <i>buffle</i>	B	23,623	inchi
Jumlah passes	n	1	
Jenis fluida		solar	
TUBE			
Uraian	Notasi	HE-02	Satuan
Diameter luar	Odt	1	inchi
Panjang tube	L	10	feed
Jumlah tube	Nt	400	buah
BWG		14	
<i>Pitch</i>	Pt	1,25	
Jarak antar tube	C''	0,25	inchi
Jumlah <i>passes</i>	n	1	inchi
Jenis fluida		crude oil	



IX.5.2 Data Operasi

Tabel IX.3 Specific Gravity 60/60 °F solar pada tanggal 5-9 Desember 2022

Hari	Density 15 °C	SG 60/60°F
1	0.8435	0.8439
2	0.8463	0.8477
3	0.8497	0.8511
4	0.8467	0.8471
5	0.8425	0.8429
Rata-rata	0.8457	0.8465

Tabel IX.4 Specific Gravity 60/60 °F crude oil pada tanggal 5-9 Desember 2022

Hari	Density 15 °C	SG 60/60°F
1	0.8403	0.8407
2	0.8385	0.8389
3	0.8384	0.8388
4	0.8382	0.8386
5	0.8384	0.8388
Rata-rata	0.8388	0.8392

Tabel IX.5 Flow rate solar pada tanggal 5-9 Desember 2022

Hari	Liter/Hari	ft ³ /jam
1	42,943	63.1886
2	47,558	69.9794
3	42,366	62.3396
4	53,523	78.7566
5	63,440	93.3490
Rata-rata	49,966	73.5227



Tabel IX.6 *Flow rate crude oil* pada tanggal 5-9 Desember 2022

Hari	Liter/Hari	ft ³ /jam
1	92,033	135.4223
2	66,658	98.0842
3	98,363	144.7366
4	98,312	144.6616
5	123,721	182.0497
Rata-rata	95817	140.9909

Tabel IX.7 Temperatur solar HE-02 pada tanggal 5-9 Desember 2022

Hari	T1 (°C)	T2 (°C)
1	240	180
2	200	145
3	200	92
4	200	108
5	220	131
Rata-rata	212	131

Tabel IX.8 Temperatur *crude oil* HE-02 pada tanggal 5-9 Desember 2022

Hari	t1 (°C)	t2 (°C)
1	80	112
2	70	94
3	52	89.5
4	45	98
5	60	98
Rata-rata	61	98



IX.5.3 Desain Heat Exchanger-03

Shell, Hot Fluida (Solar)	Tube, Cold Fluid (Crude oil)
<p>a. Densitas $\rho_{\text{solar}} = \text{sg solar} \times \rho_{\text{air}}$ $= 0,8465 \times 62,5 \text{ lb/ft}^3$ $= 52,9087 \text{ lb/ft}^3$</p>	<p>a. Densitas $\rho_{\text{crude oil}}$ $= \text{sg crude oil} \times \rho_{\text{air}}$ $= 0,8392 \times 62,5$ lb/ft^3 $= 52,4475 \text{ lb/ft}^3$</p>
<p>b. Mass Flow $W_s = \rho_{\text{solar}} \times V$ $= 52,9087 \times 73,5227$ $= 3889,9864 \text{ lb/jam}$</p>	<p>b. Mass Flow $W_s = \rho_{\text{crude oil}} \times V$ $= 52,4475 \times 140,9909$ $= 7394,6190 \text{ lb/jam}$</p>
<p>c. Specific heat $T_{AV} = \frac{T_1 + T_2}{2} = \frac{414^\circ\text{F} + 268^\circ\text{F}}{2}$ $= 341^\circ\text{F}$ $^{\circ}\text{API} = \frac{141,5}{\text{sg } 60/60^\circ\text{F}} - 131,5$ $= \frac{141,5}{0,8465} - 131,5$ $= 35,6512$ Sehingga didapatkan C_{solar} $C_{\text{solar}} = 0,57 \text{ Btu/lb}^\circ\text{F}$ (Fig. 4 Kern)</p>	<p>c. Specific heat $T_{AV} = \frac{t_1 + t_2}{2} = \frac{143^\circ\text{F} + 209^\circ\text{F}}{2}$ $= 176^\circ\text{F}$ $^{\circ}\text{API} = \frac{141,5}{\text{sg } 60/60^\circ\text{F}} - 131,5$ $= \frac{141,5}{0,8325} - 131,5$ $= 37,1210$ Sehingga didapatkan $C_{\text{crude oil}}$ $C_{\text{crude oil}} = 0,55 \text{ Btu/lb}^\circ\text{F}$ (Fig. 4 Kern)</p>
<p>d. Heat balance $\Delta T = T_1 - T_2 = 414^\circ\text{F} - 268^\circ\text{F}$ $= 146^\circ\text{F}$ $Q_s = W_s \times C_{\text{solar}} \times \Delta T$ $= 3889,9864 \times 0,57 \times 146$ $= 322483 \text{ Btu/jam}$</p>	<p>d. Heat balance $\Delta T = t_2 - t_1 = 209^\circ\text{F} + 143^\circ\text{F}$ $= 66^\circ\text{F}$ $Q_s = W_s \times C_{\text{crude oil}} \times \Delta T$ $= 7394,6190 \times 0,55 \times 66$ $= 270133 \text{ Btu/jam}$</p>
<p>e. % Losses $Q = Q_{\text{solar}} - Q_{\text{crude oil}} = 322483 - 270133 = 52350,1609 \text{ Btu/jam}$ $\% \text{ Losses} = \frac{Q}{Q_{\text{solar}}} \times 100\% = \frac{52350,1609 \text{ Btu/jam}}{322483 \text{ Btu/jam}} \times 100\% = 16,23 \%$ $Q_{\text{losses}} = \%_{\text{losses}} \times Q = 16,23 \times 52350,1609 = 8498,2447 \text{ Btu/jam}$</p>	



$Q_{\text{transfer}} = Q - Q_{\text{losses}} = 52350,1609 - 8498,2447 = 43851,9162$ <p>Btu/jam</p>	
<p>f. ΔLMTD</p> $\Delta\text{LMTD} = \frac{(T_1 - t_2) - (T_2 - t_1)}{\ln \frac{(T_1 - t_2)}{(T_2 - t_1)}} = \frac{(414 - 209) - (268 - 143)}{\ln \frac{(288 - 131)}{(268 - 143)}}$ $\Delta\text{LMTD} = 161,9497 \text{ }^\circ\text{F}$ $R = \frac{(T_1 - T_2)}{(t_2 - t_1)} = \frac{(414 - 268)}{(209 - 143)} = 2,1897 \text{ }^\circ\text{F}$ $S = \frac{(t_2 - t_1)}{(T_1 - t_1)} = \frac{(209 - 143)}{(414 - 209)} = 0,46 \text{ }^\circ\text{F}$ <p>FT = 0,86 (Fig. 18 Kern)</p> $\begin{aligned} \Delta\text{LMTD correction} &= \text{FT} \times \Delta\text{LMTD} \\ &= 0,86 \times 161,9497 \text{ }^\circ\text{F} \\ &= 139,2767 \text{ }^\circ\text{F} \end{aligned}$	
<p>g. Temperatur caloric</p> $\frac{\Delta t_c}{\Delta t_h} = \frac{(T_2 - t_1)}{(T_1 - t_2)} = \frac{(268 - 143)}{(414 - 209)} = 0,6139$ <p>Didaptkan, Kc = 0,17 (Fig. 17, Kern) Fc = 0,46 (Fig. 17, Kern) $T_c = T_2 + F_c (T_1 - T_2)$ $= 268 + 0,46 (414 - 268)$ $= 335,0624 \text{ }^\circ\text{F}$</p>	<p>g. Temperatur caloric</p> $\frac{\Delta t_c}{\Delta t_h} = \frac{(T_2 - t_1)}{(T_1 - t_2)} = \frac{(268 - 143)}{(414 - 209)} = 0,6139$ <p>Didaptkan, Kc = 0,17 (Fig. 17, Kern) Fc = 0,46 (Fig. 17, Kern) $T_c = t_2 + F_c (t_2 - t_1)$ $= 209 + 0,46 (209 - 143)$ $= 173,0732 \text{ }^\circ\text{F}$</p>
<p>h. Flow area</p> <p>ID Shell = 30,748 in (Table 9, Kern)</p> <p>Pt = 1,25 triangular pitch C'' = 0,25 ft²</p> <p>Asumsi B = 23,6230 in</p> $a_s = \frac{1}{2} \times \frac{\text{ID} \times C'' \times B}{144 \times P_t}$ $= \frac{1}{2} \times \frac{30,748 \times 0,25 \times 23,6230}{144 \times 1,25}$	<p>h. Flow area</p> <p>Nt standar = 400 (Table 9, Kern)</p> <p>Pass (n) = 1 ODt = 1 in BWG = 14 Nilai At'' = 0,546 (Table 10, Kern)</p> $a_t = \frac{N_t \times A_t''}{144 \times n} = \frac{400 \times 0,546}{144 \times 1} = 1,5167 \text{ ft}^2$



$= 1,0088 \text{ ft}^2$	
<p>i. Mass velocity</p> $G_s = \frac{W}{as} = \frac{3889,9864 \frac{\text{lb}}{\text{jam}}}{1,0088 \text{ ft}^2}$ $= 3855,9257 \frac{\text{lb}}{\text{hr}} \text{ ft}$	<p>i. Mass velocity</p> $G_t = \frac{W}{at} = \frac{7394,6190 \frac{\text{lb}}{\text{jam}}}{1,5167 \text{ ft}^2}$ $= 4875,5730 \frac{\text{lb}}{\text{hr}} \text{ ft}$
<p>j. Bilangan Reynold $d_e = 0,72 \text{ in}$ (Fig. 28, Kern) $D_e = 0,06 \text{ ft}$ $T_c = 335,0624 \text{ }^\circ\text{F}$ $\text{API} = 35,6512$ $\mu = 0,9978 \text{ lb/ft jam}$ Sehingga, $Re = \frac{D_e \times G_s}{\mu}$</p> $= \frac{0,06 \text{ ft} \times 3855,9257}{0,9978 \text{ lb/ft jam}}$ $= 231,8602$	<p>j. Bilangan Reynold $d_e = 0,834 \text{ in}$ (Fig. 28, Kern) $D_e = 0,0695 \text{ ft}$ $T_c = 173,0732 \text{ }^\circ\text{F}$ $\text{API} = 37,1210$ $\mu = 3,3404 \text{ lb/ft jam}$ Sehingga, $Re = \frac{D_e \times G_t}{\mu}$</p> $= \frac{0,0695 \text{ ft} \times 4875,5730}{3,3404 \text{ lb/ft jam}}$ $= 101,4407$
<p>k. Factor heat transfer $JH = 6$ (Fig. 28, Kern)</p>	<p>k. Factor heat transfer $L = 10 \text{ ft}$ $D = 0,0695$ $L/D = 143,8849 \text{ J}$ $JH = 1,5$ (Fig. 24, Kern)</p>
<p>l. Bilangan Prandtl $c = 0,56$ (Fig. 4, Kern) $k = 0,074$ (Fig. 1, Kern)</p> $Pr = \left[\frac{c \times \mu}{K} \right]^{\frac{1}{3}}$ $= \left[\frac{0,56 \times 0,9978 \text{ lb/ft jam}}{0,074} \right]^{\frac{1}{3}}$ $= 1,9619$	<p>l. Bilangan Prandtl $c = 0,51$ (Fig. 4, Kern) $k = 0,079$ (Fig. 1, Kern)</p> $Pr = \left[\frac{c \times \mu}{K} \right]^{\frac{1}{3}}$ $= \left[\frac{0,51 \times 3,3404 \text{ lb/ft jam}}{0,079} \right]^{\frac{1}{3}}$ $= 2,7834$
<p>m. Koefisien perpindahan fluida</p> $\frac{h_o}{\phi_s} = JH \times \frac{k}{D_e} \times \left[\frac{c \times \mu}{k} \right]^{\frac{1}{3}}$ $= 6 \times \frac{0,074}{0,06} \times \left[\frac{0,56 \times 0,9978}{0,074} \right]^{\frac{1}{3}}$ $= 14,5178 \text{ Btu/ft}^2 \text{ hr}^\circ\text{F}$	<p>m. Koefisien perpindahan fluida</p> $\frac{h_i}{\phi_t} = JH \times \frac{k}{ID} \times \left[\frac{c \times \mu}{k} \right]^{\frac{1}{3}}$ $= 1,5 \times \frac{0,079}{0,0695} \times \left[\frac{0,51 \times 3,3404}{0,079} \right]^{\frac{1}{3}}$ $= 4,7458 \text{ Btu/ft}^2 \text{ hr}^\circ\text{F}$



	$\frac{h_{io}}{\phi_t} = \frac{h_i ID}{\phi_t OD} = 4,7458 \frac{0,0695}{1}$ $= 3,9580 \text{ Btu/ft}^2 \text{ hr}^\circ\text{F}$
<p>n. Tube wall temperature</p> $t_w = t_c + \frac{\frac{h_o}{\phi_s}}{\frac{h_o}{\phi_s} + \frac{h_{io}}{\phi_t}} (T_c - t_c)$ $= 173,0732 + \frac{14,5178}{14,5178 + 3,9580} (161,9892)$ $= 300,3599 \text{ }^\circ\text{F}$	
<p>o. Rasio viskositas dalam shell $\mu_w = 0,9978 \text{ lb/ft hr (Fig. 14, Kern)}$ $\phi_s = \left[\frac{\mu}{\mu_w} \right]^{0,14}$ $= \left[\frac{0,9978 \frac{\text{lb}}{\text{ft}} \cdot \text{hr}}{0,9978 \frac{\text{lb}}{\text{ft}} \text{ hr}} \right]^{0,14}$ $= 1,0000$</p>	<p>o. Rasio viskositas dalam shell $\mu_w = 3,3404 \text{ lb/ft hr (Fig. 14, Kern)}$ $\phi_t = \left[\frac{\mu}{\mu_w} \right]^{0,14}$ $= \left[\frac{3,3404 \frac{\text{lb}}{\text{ft}} \cdot \text{hr}}{3,3404 \frac{\text{lb}}{\text{ft}} \text{ hr}} \right]^{0,14}$ $= 1,0000$</p>
<p>p. h_o koreksi</p> $h_o = \frac{h_o}{\phi_s} \times \phi_s$ $= 14,5178 \frac{\text{Btu}}{\text{ft}^2 \text{ hr}} \times 1,0000$ $= 14,5178 \text{ Btu/hr ft}^2 \text{ }^\circ\text{F}$	<p>p. h_{io} koreksi</p> $h_{io} = \frac{h_{io}}{\phi_t} \times \phi_t$ $= 3,9580$ $\frac{\text{Btu}}{\text{ft}^2 \text{ hr}} \text{ }^\circ\text{F} \times 1,0000$ $= 3,9580 \text{ Btu/hr ft}^2 \text{ }^\circ\text{F}$
<p>q. Menghitung U_c</p> $U_c = \frac{h_o \cdot h_{io}}{h_o + h_{io}}$ $= \frac{14,5178 \times 3,9580}{14,5178 + 3,9580}$ $= 3,1101 \text{ Btu/hr ft}^2 \text{ }^\circ\text{F}$	
<p>r. Menghitung U_d</p> $A = N t \times L \times a''$ $= 400 \times 10 \times 0,2618$ $= 1047,2000$ $U_d = \frac{Q_s}{A \times \Delta T_{LMTD}}$	



$= \frac{322483}{1047,2000 \times 139,2767} = 2,2111$	
<p>s. Menghitung Rd</p> $Rd = \frac{Uc - Ud}{Uc \times Ud}$ $= \frac{3,1101 - 0,1307}{3,1101 \times 0,1307}$ $= 0,1307$	
<p>t. Presser Drop (Fig 29, Kern)</p> <p>$f = 0,0045$</p> <p>$Ds = 30,748 \text{ in}$</p> $N+1 = 12 \times \frac{L}{B}$ $= 12 \times \frac{10}{23,6230} = 5$ $\Delta Ps = \frac{f \cdot (Gs^2 \cdot ID_s \cdot (N + 1))}{5,22 \cdot 10^{10} \cdot ID_s \cdot sg \cdot \phi_s}$ $= \frac{0,0045 \times (3855,9257^2 \times 0,8333 \times 5)}{5,22 \cdot 10^{10} \times 2,5623 \times 0,8465 \times 1,0000}$ $= 0,0003 \text{ psia}$	<p>t. Presser drop (Fig 29, Kern)</p> <p>$f = 0,00032$</p> $\Delta Pt = \frac{f \cdot (Gt^2 \cdot L \cdot n)}{5,22 \cdot 10^{10} \cdot ID_s \cdot sg \cdot \phi_t}$ $= \frac{0,0032 \times (4875,5730^2 \times 12 \times 4)}{5,22 \cdot 10^{10} \times 0,0695 \times 0,8392 \times 1,0000}$ $= 0,0005 \text{ psia}$

IX.5.4 Redesign Heat exchanger-03

Shell, Hot Fluida (Solar)	Tube, Cold Fluid (Crude oil)
<p>a. Densitas</p> $\rho \text{ solar} = sg \text{ solar} \times \rho \text{ air}$ $= 0,8465 \times 62,5 \text{ lb/ft}^3$ $= 52,9087 \text{ lb/ft}^3$	<p>a. Densitas</p> $\rho \text{ crude oil} = sg \text{ crude oil} \times \rho \text{ air}$ $= 0,8392 \times 62,5$ lb/ft^3 $= 52,4475 \text{ lb/ft}^3$
<p>b. Mass Flow</p> $Ws = \rho \text{ solar} \times V$ $= 52,9087 \times 73,5227$ $= 3889,9864 \text{ lb/jam}$	<p>b. Mass Flow</p> $Ws = \rho \text{ crude oil} \times V$ $= 52,4475 \times 140,9909$ $= 7394,6190 \text{ lb/jam}$



<p>c. Specific heat</p> $T_{AV} = \frac{T_1 + T_2}{2} = \frac{414^\circ\text{F} + 268^\circ\text{F}}{2} = 341^\circ\text{F}$ $^\circ\text{API} = \frac{141,5}{\text{sg } 60/60^\circ\text{F}} - 131,5 = \frac{141,5}{0,8465} - 131,5 = 35,6512$ <p>Sehingga didapatkan C_{solar} $C_{\text{solar}} = 0,57 \text{ Btu/lb}^\circ\text{F}$</p> <p style="text-align: right;">(Fig. 4 Kern)</p>	<p>c. Specific heat</p> $T_{AV} = \frac{t_1 + t_2}{2} = \frac{143^\circ\text{F} + 209^\circ\text{F}}{2} = 176^\circ\text{F}$ $^\circ\text{API} = \frac{141,5}{\text{sg } 60/60^\circ\text{F}} - 131,5 = \frac{141,5}{0,8325} - 131,5 = 37,1210$ <p>Sehingga didapatkan $C_{\text{crude oil}}$ $C_{\text{crude oil}} = 0,55 \text{ Btu/lb}^\circ\text{F}$</p> <p style="text-align: right;">(Fig. 4 Kern)</p>
<p>d. Heat balance</p> $\Delta T = T_1 - T_2 = 414^\circ\text{F} - 268^\circ\text{F} = 146^\circ\text{F}$ $Q_s = W_s \times C_{\text{solar}} \times \Delta T = 3889,9864 \times 0,57 \times 146 = 322483 \text{ Btu/jam}$	<p>d. Heat balance</p> $\Delta T = t_2 - t_1 = 209^\circ\text{F} + 143^\circ\text{F} = 66^\circ\text{F}$ $Q_s = W_s \times C_{\text{crude oil}} \times \Delta T = 7394,6190 \times 0,55 \times 66 = 270133 \text{ Btu/jam}$
<p>e. % Losses</p> $Q = Q_{\text{solar}} - Q_{\text{crude oil}} = 322483 - 270133 = 52350,1609 \text{ Btu/jam}$ $\% \text{ Losses} = \frac{Q}{Q_{\text{solar}}} \times 100\% = \frac{52350,1609 \text{ Btu/jam}}{322483 \text{ Btu/jam}} \times 100\% = 16,23 \%$ $Q_{\text{losses}} = \% \text{ losses} \times Q = 16,23 \times 52350,1609 = 8498,2447 \text{ Btu/jam}$ $Q_{\text{transfer}} = Q - Q_{\text{losses}} = 52350,1609 - 8498,2447 = 43851,9162 \text{ Btu/jam}$	
<p>f. ΔLMTD</p> $\Delta\text{LMTD} = \frac{(T_1 - t_2) - (T_2 - t_1)}{\ln \frac{(T_1 - t_2)}{(T_2 - t_1)}} = \frac{(414 - 209) - (268 - 143)}{\ln \frac{(288 - 131)}{(268 - 143)}}$ $\Delta\text{LMTD} = 161,9497^\circ\text{F}$ $R = \frac{(T_1 - T_2)}{(t_2 - t_1)} = \frac{(414 - 268)}{(209 - 143)} = 2,1897^\circ\text{F}$ $S = \frac{(t_2 - t_1)}{(T_1 - t_1)} = \frac{(209 - 143)}{(414 - 209)} = 0,46^\circ\text{F}$ $FT = 0,86$ <p style="text-align: right;">(Fig. 18 Kern)</p>	



$\Delta\text{LMTD correction} = FT \times \Delta\text{LMTD}$ $= 0,86 \times 161,9497 \text{ }^\circ\text{F}$ $= 139,2767 \text{ }^\circ\text{F}$	
<p>g. Temperatur caloric</p> $\frac{\Delta t_c}{\Delta t_h} = \frac{(T_2 - t_1)}{(T_1 - t_2)} = \frac{(268 - 143)}{(414 - 209)}$ $= 0,6139$ <p>Didapatkan, $K_c = 0,17$ (Fig. 17, Kern) $F_c = 0,46$ (Fig. 17, Kern) $T_c = T_2 + F_c(T_1 - T_2)$ $= 268 + 0,46(414 - 268)$ $= 335,0624 \text{ }^\circ\text{F}$</p>	<p>g. Temperatur caloric</p> $\frac{\Delta t_c}{\Delta t_h} = \frac{(T_2 - t_1)}{(T_1 - t_2)} = \frac{(268 - 143)}{(414 - 209)}$ $= 0,6139$ <p>Didapatkan, $K_c = 0,17$ (Fig. 17, Kern) $F_c = 0,46$ (Fig. 17, Kern) $T_c = t_2 + F_c(t_2 - t_1)$ $= 209 + 0,46(1209 - 143)$ $= 173,0732 \text{ }^\circ\text{F}$</p>
<p>h. Trial Ud Dari tabel 8. Kern nilai UD untuk jenis umpan : solar (Heavy Organics) dan Crude Oil (Heavy Organics), didapatkan Ud = 10 – 40</p> <p>Asumsi Ud = 10 Btu/hr ft²°F</p> $A = \frac{Q_{\text{solar}}}{Ud \times \Delta t \text{ LMTD Corection}} = \frac{322483 \text{ Btu/jam}}{10 \times 139,2767 \text{ }^\circ\text{F}} = 231,5412 \text{ ft}^2$ <p>Dengan asumsi L = 12 ft ; ODt = 1 in ; Pt = 1,25 in square pitch ; BWG = 14 Maka, $a'' = 0,2618 \text{ ft}^2$ (Table 10, Kern)</p> $\text{Jumlah tube (Nt)} = \frac{A}{L \times a''} = \frac{231,5412}{12 \times 0,2618} = 74$ <p>Nt standar = 74 (Table 9, Kern) ID Shell = 17,25 in (Table 9, Kern) Pass (n) = 4 $A_{\text{real}} = Nt \times a'' \times L = 74 \times 0,2618 \times 12 = 295,3104 \text{ ft}^2$</p> $Ud_{\text{real}} = \frac{Q_{\text{solar}}}{A_{\text{real}} \times \Delta t \text{ LMTD Corection}}$ $= \frac{322483 \text{ Btu/jam}}{295,3104 \text{ ft}^2 \times 139,2767 \text{ }^\circ\text{F}}$ $= 7,8406$	
<p>i. Flow area ID Shell = 17,25 in (Table 9, Kern)</p>	<p>i. Flow area Nt standar = 94 (Table 9, Kern)</p>



<p>Pt = 1,25 triangular pitch C'' = 0,25 ft² Asumsi B = 17 in $a_s = \frac{1}{2} \times \frac{ID \times C'' \times B}{144 \times P_t}$ $= \frac{1}{2} \times \frac{17,25 \times 0,25 \times 17}{144 \times 1,25} = 0,2066$ ft²</p>	<p>Pass (n) = 4 ODt = 1 in BWG = 14 Nilai At'' = 0,546 (Table 10, Kern) $a_t = \frac{N_t \times A_t''}{144 \times n} = \frac{94 \times 0,546}{144 \times 4} = 0,0891 \text{ ft}^2$</p>
<p>j. Mass velocity $G_s = \frac{W}{a_s} = \frac{3889,9864 \frac{\text{lb}}{\text{jam}}}{0,2066 \text{ ft}^2}$ $= 18824,8871 \frac{\text{lb}}{\text{hr}} \text{ ft}$</p>	<p>j. Mass velocity $G_t = \frac{W}{a_t} = \frac{7394,6190 \frac{\text{lb}}{\text{jam}}}{0,0891 \text{ ft}^2}$ $= 82988,4763 \frac{\text{lb}}{\text{hr}} \text{ ft}$</p>
<p>k. Bilangan Reynold de = 0,72 in (Fig. 28, Kern) De = 0,06 ft Tc = 335,0624 °F API = 35,6512 μ = 0,9978 lb/ft jam Sehingga, $Re = \frac{De \times G_s}{\mu}$ $= \frac{0,06 \text{ ft} \times 18824,8871}{0,9978 \text{ lb/ft jam}} = 1131,9571$</p>	<p>k. Bilangan Reynold de = 0,834 in (Fig. 28, Kern) De = 0,0695 ft Tc = 173,0732 °F API = 37,1210 μ = 3,3404 lb/ft jam Sehingga, $Re = \frac{De \times G_t}{\mu}$ $= \frac{0,0695 \text{ ft} \times 82988,4763}{3,3404 \text{ lb/ft jam}} = 1726,6503$</p>
<p>l. Factor heat transfer JH = 19 (Fig. 28, Kern)</p>	<p>l. Factor heat transfer L = 12 ft D = 0,0695 L/D = 172,6619 J JH = 3,6 (Fig. 24, Kern)</p>
<p>m. Bilangan Prandtl c = 0,61 (Fig. 4, Kern) k = 0,074 (Fig. 1, Kern) $Pr = \left[\frac{c \times \mu}{K} \right]^{\frac{1}{3}}$ $= \left[\frac{0,61 \times 0,9978 \text{ lb/ft jam}}{0,074} \right]^{\frac{1}{3}} = 2,0186$</p>	<p>m. Bilangan Prandtl c = 0,52 (Fig. 4, Kern) k = 0,079 (Fig. 1, Kern) $Pr = \left[\frac{c \times \mu}{K} \right]^{\frac{1}{3}}$ $= \left[\frac{0,52 \times 3,3404 \text{ lb/ft jam}}{0,079} \right]^{\frac{1}{3}} = 2,8015$</p>



<p>n. Koefisien perpindahan fluida</p> $\frac{h_o}{\phi_s} = JHx \frac{k}{De} x \left[\frac{cp x \mu}{k} \right]^{\frac{1}{3}}$ $= 19 x \frac{0,074}{0,06} x \left[\frac{0,61 x 0,9978}{0,074} \right]^{\frac{1}{3}}$ $= 47,3026 \text{ Btu/ft}^2 \text{ hr}^\circ\text{F}$	<p>n. Koefisien perpindahan fluida</p> $\frac{h_i}{\phi_t} = JHx \frac{k}{ID} x \left[\frac{c x \mu}{k} \right]^{\frac{1}{3}}$ $= \left[\frac{0,52 x 3,3404}{0,079} \right]^{\frac{1}{3}}$ $= 11,4640 \text{ Btu/ft}^2 \text{ hr}^\circ\text{F}$ $\frac{h_{io}}{\phi_t} = \frac{h_i ID}{\phi_t OD} = 11,4640 \frac{0,0695}{1}$ $= 9,5610 \text{ Btu/ft}^2 \text{ hr}^\circ\text{F}$
<p>o. Tube wall temperature</p> $t_w = t_c + \frac{\frac{h_o}{\phi_s}}{\frac{h_o}{\phi_s} + \frac{h_{io}}{\phi_t}} (T_c - t_c)$ $= 173,0732 + \frac{47,3026}{47,3026 + 9,5610} (161,9892)$ $= 307,8257 \text{ }^\circ\text{F}$	
<p>p. Rasio viskositas dalam shell $\mu_w = 0,9978 \text{ lb/ft hr}$ (Fig. 14, Kern)</p> $\phi_s = \left[\frac{\mu}{\mu_w} \right]^{0,14}$ $= \left[\frac{0,9978 \frac{\text{lb}}{\text{ft}} \cdot \text{hr}}{0,9978 \frac{\text{lb}}{\text{ft}} \text{ hr}} \right]^{0,14}$ $= 1,0000$	<p>p. Rasio viskositas dalam shell $\mu_w = 3,3404 \text{ lb/ft hr}$ (Fig. 14, Kern)</p> $\phi_t = \left[\frac{\mu}{\mu_w} \right]^{0,14}$ $= \left[\frac{3,3404 \frac{\text{lb}}{\text{ft}} \cdot \text{hr}}{3,3404 \frac{\text{lb}}{\text{ft}} \text{ hr}} \right]^{0,14}$ $= 1,0000$
<p>q. h_o koreksi</p> $h_o = \frac{h_o}{\phi_s} x \phi_s$ $= 47,3026 x 1,0000$ $= 47,3026 \text{ Btu/hr ft}^2 \text{ }^\circ\text{F}$	<p>q. h_{io} koreksi</p> $h_{io} = \frac{h_{io}}{\phi_t} x \phi_t$ $= 9,5610 \frac{\text{Btu}}{\text{ft}^2 \text{ hr}} \text{ }^\circ\text{F} x 1,0000$ $= 9,5610 \text{ Btu/hr ft}^2 \text{ }^\circ\text{F}$
<p>r. Menghitung U_c</p> $U_c = \frac{h_o \cdot h_{io}}{h_o + h_{io}}$ $= \frac{47,3026 x 9,5610}{47,3026 + 9,5610}$ $= 7,9534 \text{ Btu/hr ft}^2 \text{ }^\circ\text{F}$	



<p>s. Menghitung Rd</p> $Rd = \frac{Uc - Ud}{Uc \times Ud}$ $= \frac{7,9534 - 7,8406}{7,9534 \times 7,8406}$ $= 0,002$	
<p>t. Presser Drop (Fig 29, Kern)</p> $f = 0,0027$ $Ds = 17,25 \text{ in}$ $N+1 = 12 \times \frac{L}{B}$ $= 12 \times \frac{12}{17}$ $= 8$ $\Delta Ps = \frac{f \cdot (Gs^2 \cdot IDs \cdot (N + 1))}{5,22 \cdot 10^{10} \cdot IDs \cdot sg \cdot \emptyset s}$ $= \frac{0,0027 \times (18824,8871^2 \times 0,8333 \times 8)}{5,22 \cdot 10^{10} \times 1,4375 \times 0,8465 \times 1,0000}$ $= 0,0043 \text{ psia}$	<p>t. Presser drop (Fig 29, Kern)</p> $f = 0,00032$ $\Delta Pt = \frac{f \cdot (Gt^2 \cdot L \cdot n)}{5,22 \cdot 10^{10} \cdot IDs \cdot sg \cdot \emptyset t}$ $= \frac{0,0032 \times (82988,4763^2 \times 12 \times 4)}{5,22 \cdot 10^{10} \times 0,0695 \times 0,8392 \times 1,0000}$ $= 0,3366 \text{ psia}$

IX.6 Pembahasan Tugas Khusus

Melalui perhitungan diatas, maka didapatkan rancangan baru *heat exchanger* sebagai berikut :

Tabel IX.9 Spesifikasi *Redesign* Alat *Heat exchanger-03*

SHELL			
Uraian	Notasi	HE-03	Satuan
Diameter dalam	Ids	17.25	inchi
Jarak antar baffle	B	17	inchi
TUBE			
Uraian	Notasi	HE-03	Satuan
Diameter luar	Odt	1	inchi
Panjang <i>tube</i>	L	12	feed
Jumlah <i>tube</i>	Nt	94	buah
BWG		14	



PRAKTIK KERJA LAPANG
PUSAT PENGEMBANGAN SUMBER DAYA
MANUSIA MINYAK DAN GAS BUMI



<i>Pitch</i>		1,25	
Jarak antar tube	Pt	0,25	inchi
Jumlah <i>pases</i>	n	8	inchi

Dalam menangani alat-alat perpindahan panas seperti *heat exchanger*, ada dua hal pokok yang perlu diperhatikan dan ditetapkan batasnya yaitu, hal yang berkaitan dengan kemampuan alat untuk mentransfer panas dari fluida bersuhu tinggi (*shell*) ke fluida bersuhu rendah (*tube*) melalui dinding *tube* dan hal yang berkaitan dengan penurunan tekanan yang terjadi pada masing-masing fluida ketika mengalir melalui alat tersebut. Suatu alat perpindahan panas seperti *heat exchanger* dinilai mampu berfungsi dengan baik untuk penggunaan tertentu apabila memenuhi dua ketentuan. Yang mana kedua ketentuan tersebut harus diperhatikan, baik dalam melaksanakan evaluasi atau analisa dari performa *heat exchanger* yang sudah ada maupun dalam merancang suatu alat perpindahan panas yang baru.

Parameter-parameter yang digunakan untuk mendesain suatu *heat exchanger* meliputi kemampuan memindahkan panas sesuai dengan kebutuhan proses operasi dalam keadaan kotor *dirt factor* (Rd). *Dirt factor coefficient* menunjukkan tahanan kotor yang digunakan untuk mengantisipasi penumpukan kerak padadinding dalam dan luar tube *heat exchanger* (yang apabila tidak dibersihkan setelah maksimum tercapai, panas yang dialihkan menjadi lebih kecil dari yang diperlukan proses/operasi). Hal yang paling penting dari *fouling factor* tergantung nilai Uc (*Clean Overall Heat Transfer Coefficient*) dan Ud (*Dirt Overall Heat Transfer Coefficient*), dimana nilai Uc harus lebih besar dari Ud yang merupakan ukuran *excess surface area* (Kern, 1965). Selain itu, berdasarkan tabel 12 Kern nilai *dirt factor* yang diijinkan sebesar $0,005 \text{ hr.ft}^2 \cdot ^\circ\text{F/Btu}$ dan penurunan tekanan (ΔP) yang terjadi pada aliran fluida tidak melebihi 5-10 psi. Pada *heat exchanger* yang ada didapatkan nilai Rd untuk HE-03 $0,1307 \text{ hr.ft}^2 \cdot ^\circ\text{F/Btu}$ dan ΔP pada *shell* sebesar 0,0003 psi serta ΔP pada *tube* sebesar 0,0005 psi. Nilai Rd untuk HE-03 melebihi batas yang diijinkan menjadikan HE-03 kurang efektif untuk dioperasikan, sehingga membutuhkan rancangan ulang untuk meningkatkan keefektifan alat tersebut.



PRAKTIK KERJA LAPANG
PUSAT PENGEMBANGAN SUMBER DAYA
MANUSIA MINYAK DAN GAS BUMI



Berdasarkan hasil perhitungan rancangan ulang HE-03 didapatkan nilai R_d untuk HE-03 adalah sebesar $0,002 \text{ hr.ft}^2.\text{°F/Btu}$ dan ΔP pada *shell* sebesar $0,0043 \text{ psi}$ serta ΔP pada *tube* sebesar $0,3366 \text{ psi}$. Sehingga hasil *redesign* HE-03 dinyatakan layak dioperasikan karena tidak, melebihi standar batas yang diijinkan.