BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II. 1 Uraian Proses

II.1.1 Prinsip Dasar Distilasi Atmosferik

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

(PPSDM, 2022)

II.1.2 Distilasi Fraksinasi

Kolom Fraksinasi adalah suatu peralatan yang berfungsi untuk memisahkan fraksi pada bagian bawah dengan fraksi campuran bagian atas kolom. Distilasi ini berfungsi untuk memisahkan campuran larutan/cairan yang terdiri dari dua komponen atau lebih dari suatu larutan berdasarkan perbedaan titik didihnya. Kolom fraksionasi digunakan untuk memberikan luas permukaan yang besar agar uap yang berjalan naik dan cairan yang turun dapat bersentuhan. Di kolom ini terjadi pemanasan secara bertahap dengan suhu yang berbeda beda pada setiap plate atau tahapnya. Pemanasan yang berbeda beda ini bertujuan untuk pemurnian distilat yang lebih dari tahap tahap di bawahnya.

(PPSDM, 2022)

II.1.3 Perbedaaan Distilasi Fraksinasi dengan Distilasi Sederhana

Tabel II.1 Perbedaan Distilasi Fraksinasi dengan Distilasi Sederhana

Distilasi Fraksinasi	Distilasi Sederhana
Distilasi fraksinasi digunakan untuk memisahkan cairan dengan titik didih yang lebih dekat	Distilasi sederhana digunakan untuk memisahkan cairan dengan titik didih yang jauh
Distilasi fraksinasi menggunakan peralatan kompleks dengan kolom fraksinasi	Distilasi sederhana menggunakan peralatan sederhana dengan labu berisi campuran, kondensor dan labu untuk mengumpulkan komponen murni digunakan
Proses ini harus diulang beberapa kali untuk mendapatkan komponen murni	Proses tidak perlu diulang atau proses sekali jalan
Tidak dapat digunakan untuk memisahkan pelarut dari zat terlarut	Dapat digunakan untuk memisahkan pelarut dari zat terlarut
Digunakan dalam pemurnian minyak mentah	Digunakan untuk memurnikan air laut

(Pabasara, 2017)

II.1.4 Peralatan Utama di Unit Kilang

Peralatan utama unit distilasi untuk dapat terlaksananya proses pengolahan, maka dibutuhkan peralatan pokok antara lain:

1. Pompa

Pompa berfungsi untuk mengalirakan cairan dari suatu tempat ke tempat lain. Pada unit kilang PPSDM pompa yang digunakan adalah pompa reciprocating (torak) dengan penggerak steam, pompa centrifungal dengan penggerak listrik dan pompa screw dengan penggerak motor listrik. Penggunaan pompa menurut fungsinya adalah sebagi berikut :

a) Pompa Feed (umpan) : digunakan untuk memompa *feed* (umpan) dari tangki *feed* ke proses.

b) Pompa *Reflux* : digunakan untuk memompa dari tangki naphtha ke kolom C-1 dan C-2
c) Pompa *Fuel Oil* : digunakan untuk memompa bahan bakar (fuel oil) dari tangki *fuel oil* ke furnace dan boiler
d) Pompa Distribusi : digunakan untuk memompa produk dari tangki produk ke tangki depot dan mobil tangki.

2. Alat Penukar Panas (*Heat Exchanger*)

Heat Exchanger Merupakan alat untuk memanaskan *crude oil* dengan memanfaatkan panas produk kilang. *Heat Exchanger* berfungsi sebagai pemanas awal *(Preheater) crude oil* untuk tujuan efisiensi panas. *Heat Exchanger* yang digunakan adalah jenis *Shell and Tube Heat Exchanger*. *Crude Oil* dilewatkan pada *shell* dan produk panas dalam *tube*. Jumlah *Heat Exchanger* yang dioperasikan ada lima unit, dua *Heat Exchanger* memanfaatkan panas produk residu, satu *Heat Exchanger* memanfaatkan panas produk naphta, dan dua *Heat Exchanger* memanfaatkan panas produk solar, sehingga temperature crude oil naik dari kurang lebih 33 ℃. menjadi kurang lebih 120 ℃.

3. Stabilizer

Setelah keluar dari *Heat Exchanger* (HE), produk yang bersuhu 120 ℃ masuk kedalam *Stabilizer* yang terdapat setelah keluar dari *Heat Exchanger* yang berjumlah 1 buah. Fungsi dari *Stabilizer* ini adalah agar aliran produk yang telah keluar dari *Heat Exchanger* stabil untuk masuk ke dalam *furnace*.

4. Dapur Pemanas (*Furnace)*

Furnace berfungsi untuk memanaskan *crude oil* dari kurang lebih 120 ℃. menjadi kurang lebih 330 ℃. Pada temperatur tersebut sebagian besar fraksi- fraksi pada *crude oil* pada tekanan sedikit diatas 1 atmosfer telah menguap kecuali residu.

5. Evaporator

Evaporator berfungsi untuk memisahkan antara uap dan cairan (residu) dari *crude oil* yang sudah dipanaskan dari *furnace*. Produk dari *furnace* dengan suhu 330℃ masuk ke dalam *evaporator*. Sehingga di dalam *evaporator* uap dan cairan residu produk dapat terpisahkan. Terdapat 1 unit *evaporator* dalam proses ini.

6. Kolom Fraksinasi

Kolom Fraksinasi berfungsi memisahkan masing-masing fraksi yang dikehendaki sesuai titik didihnya. Jumlah kolom fraksinasi ada tiga unit, dua unit dioperasikan dan satu unit idle, sebagai alat kontak uap-cairan kolom fraksinasi dilengkapi *bubble cup tray*.

7. Kolom Stripper

Kolom Stripper berfungsi untuk menguapkan kembali fraksi ringan yang ikut pada suatu produk. Ada dua *Stripper* yang dioperasikan yaitu : satu unit unuk *Stripper* solar dan satu unit untuk *Stripper* residu.

8. Kondensor

Kondensor berfungsi untuk mengubah fase produk uap *solvent* ringan (pertasol CA) dari puncak kolom C-2 menjadi fase cair. Ada 12 unit Kondenser yang dioperasikan, empat unit Kondenser sebagai *Partial Condenser* dan delapan unit condenser sebagai *Total Condenser*.

9. Cooler

Cooler berfungsi untuk mendinginkan fluida panas menjadi fluida dingin sesuai suhu yang dikehendaki. Ada 14 *Cooler* tipe shell and tube dan enam *Box Cooler*.

10. Separator

Separator berfungsi untuk memisahkan air, minyak dan gas dalam produk. Ada 9 *Separator* yang dioperasikan.

11. Tangki

Tangki berfungsi untuk menampung atau menyimpan *crude oil* dan produk-produknya. Ada beberapa tangki yang dioperasikan dan tiap-tiap dari tangki tersebut memiliki warna yang berbeda-beda tergantung dari jenis zat di dalam tangki tersebut.

(PPSDM, 2022)

II.2 Uraian Tugas Khusus

II.2.1 Latar Belakang Tugas Khusus

Heat Exchanger merupakan alat penukar panas yang dapat digunakan untuk memanfaatkan atau mengambil panas dari suatu fluida untuk dipindahkan ke fluida lain dan merupakan ilmu dasar yang paling sering digunakan pada industri pabrik kimia. Efektivitas penggunaan dan pemanfaatan panas dari proses *Heat Exchanger* akan mempengaruhi ekonomi operasi pada kilang. *Heat Exchanger* merupakan peralatan yang berfungsi untuk memfasilitasi perpindahan panas pada suatu proses. Perpindahan panas yang terjadi dapat berfungsi untuk pendinginan *(cooling and condensation)* maupun pemanasan *(heating and reboiling/evaporating)*.

Pada proses pengilangan minyak, *Heat Exchanger* merupakan peralatan yang paling sering digunakan. 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 ditujukan untuk pertimbangan aspek keselamatan dan keamanan serta lindungan lingkungan.

Alat penukar kalor sangat berpengaruh terhadap keberhasilan dari keseluruhan rangkaian proses pada suatu industri. Apabila terjadi kegagalan operasi pada peralatan ini baik mekanikal maupun operasional dapat menyebabkan berhentinya unit operasi. Selain itu dalam suatu kilang minyak, proses perpindahan panas sangat penting dalam rangka energi konservasi, keperluan proses, persyaratan keamanan dan perlindungan terhadap lingkungan.

Maka suatu alat penukar kalor (*Heat Exchanger*) dituntut untuk memiliki kinerja yang baik agar diperoleh hasil yang maksimal serta dapat menunjang penuh terhadap suatu unit operasi.

II.2.2 Tujuan Tugas Khusus

Untuk mengevaluasi kinerja *Heat Exchanger*-2 di Unit Kilang PPSDM MIGAS.

II.2.3 Manfaat Tugas Khusus

Untuk memahami cara kerja dan fungsi *Heat Exchanger*-2 di Unit Kilang PPSDM MIGAS serta mengetahui cara mengevaluasi kinerja *Heat* Exchanger-2 melalui perhitungan *Fouling Factor* dan *Pressure Drop* pada *Shell* dan Tube *Heat Exchanger*-2.

II.2.4 Prinsip Kerja *Heat Exchanger*

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 :

a. 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 interface / 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.

b. Secara kontak tak langsung

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

(Kern, 1965)

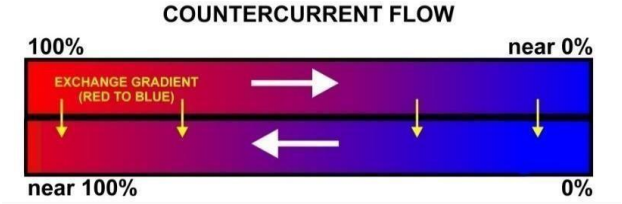
II.2.5 Tipe Aliran dalam *Heat Exchanger*

Pada alat *Heat Exchanger* terdapat empat tipe aliran dalam alat penukar panas, yaitu :

a. *Counter current flow* (berlawanan arah)

Counter current flow adalah aliran berlawanan arah, dimana fluida yang satu masuk pada satu ujung penukar kalor, sedangkan fluida yang satu lagi masuk pada ujung penukar kalor yang lain, masing-masing fluida mengalir menuju arah yang berlawanan. Untuk tipe *Counter current flow* ini memberikan panas yang lebih baik bila dibandingkan dengan aliran searah atau paralel. Sedangkan

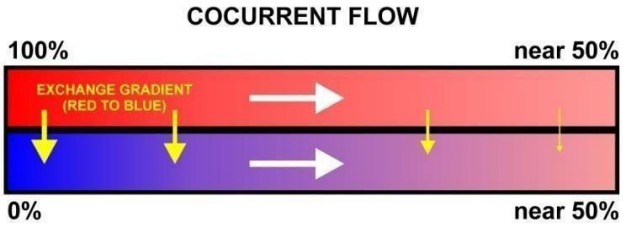
banyaknya pass (lintasan) juga berpengaruh terhadap efektifitas dari alat penukar panas yang digunakan.



Gambar II.1 Tipe aliran Countercurrent flow (berlawanan arah)

b. Parallel flow / co-current (searah)

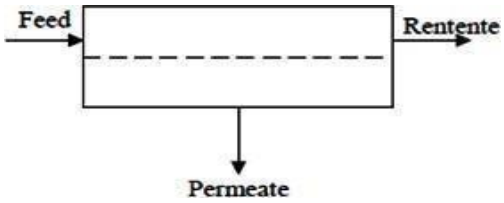
Parallel flow atau co-current adalah aliran searah, dimana kedua fluida masuk pada ujung penukar panas yang sama dan kedua fluida mengalir searah menuju ujung penukar panas yang lain.



Gambar II.2 Tipe aliran Parallel flow / co-current (searah)

c. Cross flow (silang)

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



Gambar II.3 Tipe aliran Cross flow (silang)

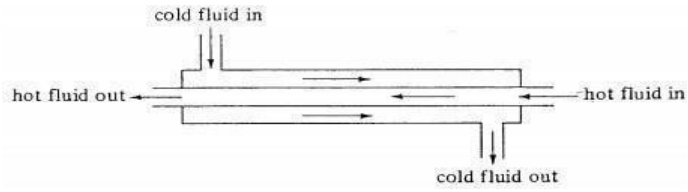
(Kern, 1965)

II.2.6 Jenis *Heat Exchanger*

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

1. *Double-pipe Heat Exchanger*

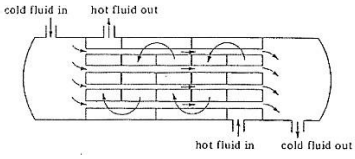
Merupakan jenis paling sederhana dari *Heat Exchanger*. Satu fluida mengalir dalam pipa bagian dalam dan fluida lain berada diantara 2 pipa yang ada. Aliran fluida dapat bersifat co-current atau contercurrent. *Heat Exchanger* ini terbuat dari 2 pipa dengan panjang yang sama dan pada ujung pipa diberi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



Gambar II.4 Skema Sederhana *Double Pipe Heat Exchanger* dan Alirannya

2. *Shell and Tube Heat Exchanger*

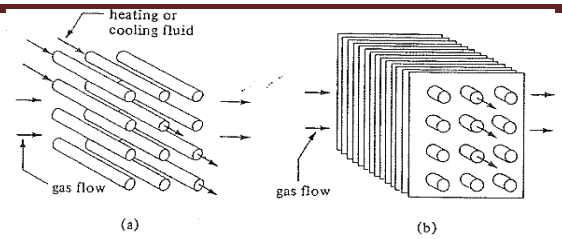
Jenis ini digunakan untuk laju alir yang lebih tinggi, sehingga sering digunakan di industri.Tube dipasang secara parallel dan banyak didalam satu shell. Fluida dingin masuk kedalam tube. Fluida panas masuk dari ujung yang berbeda aliran counter current di bagian shell.



Gambar II.5 Skema Sederhana *Shell and Tube Heat Exchanger* dan Alirannya

3. *Cross Flow Exchanger.*

Jenis ini biasa digunakan untuk memanaskan atau mendinginkan udara. Cairan dialirkan kedalam 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/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.



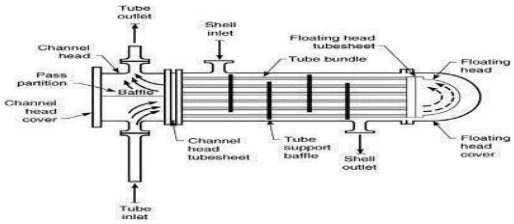
Gambar II.6 Skema Sederhana *Cross Flow Exchanger* dan Alirannya

(Kern, 1965)

II.2.7 *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 HE-2 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 II.7 Bagian Shell and Tube *Heat Exchanger*

(Kern, 1965)

Kelebihan :

1. Memberikan luas permukaan atau penampang perpindahan panas
2. yang besar dengan volume yang kecil
3. Mampu dioperasikan pada tekanan tinggi
4. Dapat dirancang dengan menggunakan berbagai jenis bahan atau
5. material
6. Mudah dalam melakukan maintenance atau perawatan
7. Memiliki prosedur thermal dan mechanical design yang baik.

Kekurangan :

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

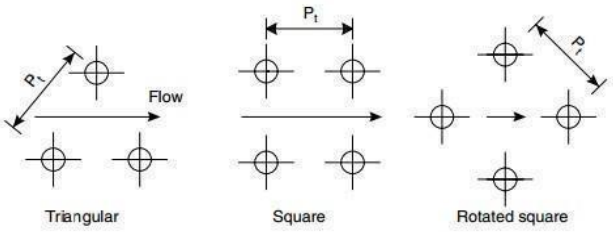
(Maulana, 2015)

II.2.8 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 II.8 Pola Susunan Tube dalam Shell

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

Tabel II.2 Perbandingan Pola Segitiga, Persegi dan Diamond Susunan Tube

Jenis	Kelebihan	Kekurangan
Segitiga	1. Laju perpindahan panas cukup besar. 2. Jumlah tube dapat dibuat menjadi lebih banyak.	1. Pressure drop cukup besar 2. Pembersihan sulit, menggunakan bahan Kimia
Persegi	1. Pressure drop rendah 2. Dapat dibersihkan secara mekanik 3. Cocok untuk menangani fluida fouling	1. Koefisien film relative rendah
Diamond	1. Koefisien film lebih tinggi dibandingkan pola persegi, namun dibawah pola segitiga. 2. Mudah dibersihkan secara mekanik 3. Baik untuk fluida fouling	1. Pressure drop tidak serendah square pitch 2. Koefisien film relative 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 pun 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 90o.

b. Triangular pitch

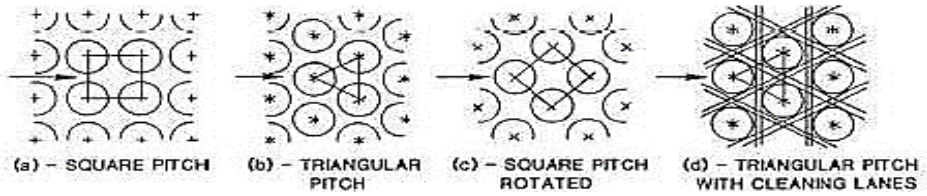
Digunakan untuk fluida yang tingkat kekotorannya tinggi ataupun rendah. Pusat- pusat tube saling membentuk sudut 60o searah dengan aliran fluida nya.

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 45o.

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 II.9 Jenis Tube Pitch

3. Tube Sheet

Berfungsi sebagai tempat untuk merangkai ujung-ujung tube sehingga menjadi satu yang disebut tube bundle. *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.

4. 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.

5. 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.

6. Baffle

Baffle merupakan bagian yang penting dari alat penukar panas. 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 dipertukarkan panasnya harus diatur. Luas *Baffle* ± 75% dari penampungan *shell*. Spasi antar *Baffle* tidak lebih dekat dari 1/5 diameter *shell* karena apabila terlalu dekat akan didapat kehilangan tekanan yang besar.

7. Longitudinal Baffle

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

8. Nozzle

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

9. Channel

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

(Kern, 1965)

II.2.9 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. Kemudahan perawatan

Jika dibandingkan cara membersihkan tube and shell, maka pembersihan shell jauh lebih sulit. Untuk itu fluida yang bersih biasanya dialirkan pada bagian shell dan fluida yang kotor melalui tube. Fluida kotor dilewatkan melalui tube karena tube-tube mudah untuk dibersihkan.

2. 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 dan dapat mencegah terjadinya endapan.

3. 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.

4. 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.

5. Tekanan

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

6. 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 hanya dilakukan ke arah tube, tetapi ada kemungkinan transfer panas juga terjadi ke arah luar shell (ke lingkungan).

7. Kuantitas

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

8. Viskositas

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

9. Pressure drop

Peletakan fluida dalam tube akan lebih mudah dalam kalkulasi pressure drop.

10. 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 stagnant zone di sekitar baffle, sehingga cleaning 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 :

1) Hal yang berkaitan dengan kemampuan alat untuk mengalihkan panas dari fluida dingin lewat dinding tube.

2) 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. Penurunan tekanan yang terjadi pada masing-masing aliran berbeda dalam batas batas yang diijinkan, yaitu :

1. Untuk aliran uap dan gas P tidak melebihi 0,5-2,0 psi
2. Untuk aliran cairan P tidak melebihi 5-10 psi

Kedua ketentuan tersebut harus diperhatikan baik dalam melaksanakan evaluasi maupun analisis performance suatu alat perpindahan panas.

(Kern, 1965)

II.2.10 Pembersihan dan Pemeliharaan *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 mayor 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 sengaja dimatikan 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 standar yang dapat diterima.

1. Minor Overhaul adalah perbaikan dalam kriteria ringan.
2. Major Over Haul 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.

(Kern, 1965)

II.2.11 Analisa Performance *Heat Exchanger*

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

1. Heat Duty (Q)

Heat 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 :

$$Q = W \; x \; Cp \; x \; \Delta T$$

Keterangan :

Q = Jumlah panas yang dipindahkan (Btu/hr)

W = Laju alir (lb/hr)

Cp = Specific heat fluida (Btu/lb ^oF) (Kern, Figure 4)

Δt = Perbedaan temperatur yang masuk dan keluar (^oF)

2. Heat Balance

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*.

$$Q_s = W\ x\ Cp\ x\ (T_1 - T_2)$$

$$Q_t = w\ x\ Cp\ x\ (t_2 - t_1)$$

Keterangan :

T1 = Suhu Masuk Solar (^oF)

T2 = Suhu Keluar Solar (^oF)

t1 = Suhu Masuk Crude Oil (^oF)

t2 = Suhu Keluar Crude Oil (^oF)

3. Log Mean Temperature Difference (LMTD)

$$LMTD = \frac{\Delta th - \Delta tc}{ln\frac{\Delta th}{\Delta tc}}$$

Keterangan :

Δth = Beda temperatur tinggi (^oF)

Δtc = Beda temperatur rendah (^oF)

3. Temperatur Kalorik (Tc dan tc)

$$\frac{\Delta t_c}{\Delta t_h} = \frac{T_1 - t_2}{T_2 - t_1}$$

Kemudian mencari nilai Kc dan Fc dari Kern Figure 17

a. Untuk fluida panas

$$T_c = T_2 + F_c(T_1 - T_2)$$

b. Untuk fluida dingin

$$t_c = t_2 + F_c(t_2 - t_1)$$

4. Flow Area (A)

a. Untuk Shell Side

$$A_s = \frac{ID\ x\ C''x\ B}{144\ x\ P_t}$$

b. Untuk Tube Side

$$A_t = \frac{Nt\ x\ At''}{144\ x\ n}$$

Keterangan :

A = *Flow Area* (ft^2)

ID = Diameter Dalam (inchi)

C' = Tube Clearance (inchi)

B = Jarak antar buffle (inchi)

Nt = Jumlah Tube

N = Jumlah pass

At'' = *Flow Area per Tube* ($inchi^2$) (Kern, Table 10)

5. Kecepatan Massa (G)

a. Untuk Shell Side

$$G_s = \frac{W}{A_s}$$

b. Untuk Tube Side

$$G_t = \frac{w}{A_t}$$

Keterangan :

G = Kecepatan Massa (lb/jam ft^2)

6. Bilangan Reynold (Re)

a. Untuk Shell Side

$$R_{es} = \frac{D_e\ x\ G_s}{\mu}$$

b. Untuk Tube Side

$$R_{et} = \frac{D\ x\ G_t}{\mu}$$

Keterangan :

De = equivalent diameter (inchi) (Kern, Figure 28)

D = inside diameter (inchi) (Kern, Table 10)

μ = viskositas fluida saat Tc atau tc diketahui (lb/ft hr) (Kern, Figure 14)

7. Faktor dimensi untuk *Heat Exchanger* (JH)

a. Untuk Shell Side

JH diperoleh dari figure 28 kern dengan terlebih dahulu mengetahui harga dari Res.

b. Untuk Tube Side

JH didapat dari figure 24 kern dengan terlebih dahulu mengetahui harga dari Ret dan L/D

8. Bilangan Prandtl (Pr)

$$P_r = \left[\frac{c\ x\ \mu}{K}\right]^{\frac{1}{3}}$$

Keterangan :

c = Specific heat fluida saat Tc atau tc diketahui (Btu/lb ^oF) (Kern, Figure 4)

K = Konduktivitas termal saat Tc atau tc diketahui (Btu/lb ft^2 hr (^oF / ft)

9. Koefisien Perpindahan Panas (hi dan ho)

a. Untuk Shell Side

$$\frac{h_i}{\emptyset_s} = j_H\ x\ \frac{K}{D} x\ \left[\frac{c\ x\ \mu}{K}\right]^{1/3}$$

b. Untuk Tube Side

$$\frac{h_o}{\emptyset_s} = j_H\ x\ \frac{K}{D_e} x\ \left[\frac{c\ x\ \mu}{K}\right]^{1/3}$$

Keterangan :

$\frac{\text{h}}{\emptyset_s} = Koefisien\ Perpindahan\ Panas\ (\frac{Btu}{ft^2 hr\ °\text{F}})$

10. Temperatur pada Dinding *Tube* (tw)

$$t_w = t_c + \frac{\frac{h_o}{\emptyset_s}}{\frac{h_o}{\emptyset_s} + \frac{h_{io}}{\emptyset_t}}\ x\ (T_c - t_c)$$

11. Rasio Viskositas Fluida ($\emptyset_s\ dan\ \emptyset_t$)

a. Untuk Shell Side

$$\emptyset_s = \left[\frac{\mu}{\mu_w}\right]^{0,14}$$

b. Untuk Tube Side

$$\emptyset_t = \left[\frac{\mu}{\mu_w}\right]^{0,14}$$

Keterangan :

μ_w = viskositas fluida saat diketahui tw (lb/ft hr) (Kern, Figure 14)

12. Koefisien Perpindahan Panas Terkoreksi (h_o dan h_{io})

a. Untuk Shell Side

$$h_o = \frac{h_o}{\emptyset_s} x\ \emptyset_s$$

b. Untuk Tube Side

$$h_{io} = \frac{h_{io}}{\emptyset_t} x\ \emptyset_t$$

13. Uc (Clean Overall Coefficient)

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

$$Uc = \frac{h_{io}.h_o}{h_{io} + h_o}$$

14. Ud (Design/Dirty Overall Coefficient)

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

$$Ud = \frac{Q}{Nt\ \times a" \times\ L\ \times\ LMTD}$$

15. Fouling factor

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

Beberapa cara pembersihan yaitu secara kimia contohnya pembersihan endapan karbonat dan klorinasi, secara mekanis contohnya dengan mengikis atau penyikatan dan dengan penyemprotan semprotan air dengan kecepatan sangat tinggi. Pembersihan ini membutuhkan waktu yang tidak singkat sehingga terkadang operasi produksi harus dihentikan.

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

Bila Rd (deposited) > Rd (allowed) maka *Heat Exchanger* tersebut perlu dibersihkan. Rd yang diijinkan sebesar 0,004 hr.ft^2°F/Btu.

16. 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 :

$$\Delta Ps = \frac{f.(G_s s)^2.D_s s.(N+1)}{5{,}22.10^{10}.De.Sg.\emptyset s}$$

Pressure drop pada tube dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\Delta Pt = \frac{f.(G_t)^2.L.N}{5{,}22.10^{10}.D.Sg.\emptyset t}$$

Keterangan:

f = fanning friction factor

Gs = laju aliran massa per satuan luas dalam shell

N = jumlah pass/ laluan tube

D = diameter dalam tube

Sg = specific gravity

Penurunan tekanan baik di shell maupun di tube tidak boleh melebihi batas pressure drop yang diizinkan. Tekanan dalam *Heat Exchanger*, merupakan driving force bagi aliran fluida di shell maupun di tube, jika pressure drop lebih besar dari

yang diizinkan maka akan menyebabkan laju alir massa inlet fluida di tube jauh berbeda dengan laju alir massa outlet masing-masing fluida. Hal ini akan menurunkan performa dari *Heat Exchanger* tersebut.

Dalam menganalisa performa shell dan tube *Heat Exchanger* diasumsikan:

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

(Kern, 1965)

II.2.12 Evaluasi Kinerja Heat Transfer - 2

Tabel II.3 Dimensi Spek *Heat Exchanger* – 2

Shell			
Parameter	**Notasi**	**Satuan**	**Nilai**
Diameter Luar	Ods	Inchi	31,614
Diameter Dalam	ID	Inchi	30,748
Jarak Antar *Buffle*	B	Inchi	23,423
Jumlah *Buffle*	*N*	Buah	4
Jumlah *Passes*	N	Buah	1
Jenis Fluida	Solar		
Tube			
Parameter	**Notasi**	**Satuan**	**Nilai**
Diameter Luar	Odt	Inchi	1
Panjang *Tube*	L	Feet	10
Jumlah *Tube*	Nt	Buah	382
BWG	BWG	-	14
Pitch	Pt	Inchi	1,25
Jarak Antar *Buffle*	C	Inchi	0,25
Jumlah *Passes*	N	Inchi	1
Jenis Fluida	Crude Oil		

Tabel II.4 Data Operasi *Heat Exchanger* – 2

	Rate (KL/Day)	**Temp In (°C)**	**Temp Out (°C)**	**Specific Gravity**
Fluida panas (Solar)	59.629	181	120	0,832
Fluida dingin (Crude Oil)	320.000	50	100	0,829

Tabel II.5 Data Hasil Evaluasi *Heat Exchanger* – 2

U_c (***Clean Overall Heat Transfer Coefficient***)	$12{,}4689\ \frac{Btu}{ft^2 hr°F}$
U_d (***Dirt Overall Heat Transfer Coefficient***)	$8{,}4075\ \frac{Btu}{ft^2 hr°F}$
R_d (***Fouling Factor***)	$0{,}0387\ \frac{Btu}{ft^2 hr°F}$
ΔP_{shell}	$0{,}0004\ psi$
ΔP_{tube}	0,0037 psi

Dalam menangani alat-alat perpindahan panas seperti *Heat Exchanger*, ada dua hal pokok yang perlu diperhatikan dan ditetapkan batasnya yaitu :

a. Hal yang berkaitan dengan kemampuan alat untuk mentransfer panas dari fluida bersuhu tinggi (Shell) ke fluida bersuhu rendah (Tube) melalui dinding tube.
b. 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 analisis dari performa *Heat Exchanger* yang sudah ada maupun dalam merancang suatu alat perpindahan panas yang baru. Parameter-parameter yang digunakan untuk mengevaluasi kinerja suatu *Heat Exchanger* meliputi :

1. Kemampuan memindahkan panas sesuai dengan kebutuhan proses operasi dalam keadaan kotor *Dirt Factor* (R_d). *Dirt Factor Coefficient* menunjukan tahanan kotor yang digunakan untuk mengantisipasi penumpukan kerak pada dinding 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 U_c (*Clean Overall Heat Transfer Coefficient*) dan U_d (*Dirt Overall Heat Transfer Coefficient*), dimana nilai U_c harus lebih besar dari U_d yang merupakan ukuran *Excess Surface Area* (D.Q Kern), pada *Heat Exchanger*-2 nilai U_c yang didapatkan lebih besar U_d hal ini menunjukkan *Heat Exchanger*-2 masih memiliki *Excess Surface Area* sehingga masih layak untuk dipakai. Berdasarkan tabel 8 Kern nilai *fouling factor* yang diizinkan sebesar 0,003 $\frac{Btu}{ft^2 hr°F}$, sedangkan nilai R_d perhitungan untuk *Heat Exchanger*-2 adalah sebesar 0,0387 $\frac{Btu}{ft^2 hr°F}$. Karena nilainya masih di luar batas yang diizinkan maka efisiensi perpindahan panas *Heat Exchanger*-2 menurun. Hal ini juga disebabkan karena umur alat yang sudah tua serta adanya penumpukan kerak dan *impurities*. Untuk itu, *Heat Exchanger*-2 disarankan untuk dibersihkan agar perbandingan nilai dirt factor (R_d) menurun sehingga kemampuan alat *Heat Exchanger*-2 menjadi lebih baik.
2. Penurunan tekanan yang terjadi pada masing-masing aliran berbeda dalam batas-batas yang diizinkan ditentukan yaitu:
   a. Untuk aliran uap dan gas ΔP tidak melebihi 0,5-2.0 psi.
   b. Untuk aliran zat cair ΔP tidak melebihi 5-10 psi

   Koefisien dari *Heat Exchanger* dihitung dari nilai penurunan tekanan yang diizinkan. Tekanan dalam *Heat Exchanger* merupakan driving force bagi aliran fluida di shell maupun di tube, jika penurunan tekanan lebih besar dari yang diizinkan maka akan menyebabkan laju alir massa inlet fluida di shell dan di tube akan jauh berbeda dengan laju alir massa outlet masing-masing fluida. Hal ini akan menurunkan performa dari *Heat Exchanger* tersebut. Dari perhitungan diperoleh penurunan tekanan pada Shell (ΔP) sebesar 0,0004 psi dan penurunan

tekanan pada tube (ΔP) sebesar 0,0037 psi. Sehingga *Heat Exchanger*-2 dinyatakan layak dioperasikan karena tidak melebihi standar batas yang diperbolehkan.