

OPTIMALISASI EFISIENSI *HEAT EXCHANGER* (E-8-14A) PADA *HYDROGEN PLANT UNIT RU V*, STUDI KASUS DI PERTAMINA BALIKPAPAN

Ridha Siddiq¹, Abdul Hamid², Unedo Aprialdy Sitanggang³, Zikri⁴

^{1,2,3,4}Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Batam
Jl. Uniba No. 5 Batam Center, Kota Batam, Kepulauan Riau, 29432
Email : rdsiddiq@gmail.com

Abstrak

Pemeliharaan yang efektif pada heat exchanger (HE) sangat penting untuk memastikan efisiensi operasional yang tinggi dan memperpanjang umur alat. Artikel ini memberikan saran praktis bagi pihak industri terkait pemeliharaan dan perawatan heat exchanger. Beberapa langkah yang disarankan antara lain: penerapan pemeliharaan preventif rutin, pemantauan kondisi alat secara real-time, pemilihan bahan pembersih yang tepat, pelatihan operator dan tim pemeliharaan, serta pengelolaan kualitas air yang masuk ke sistem. Selain itu, penggunaan teknologi anti-fouling, analisis data kinerja, dan evaluasi desain sistem secara berkala juga penting untuk mengoptimalkan kinerja heat exchanger. Implementasi saran-saran ini dapat membantu industri untuk mengurangi downtime, biaya perbaikan, dan meningkatkan efisiensi operasional jangka panjang.

Kata Kunci : Heat exchanger, pemeliharaan preventif, pengotoran, pembersihan, pemantauan, efisiensi operasional, desain sistem

Abstract

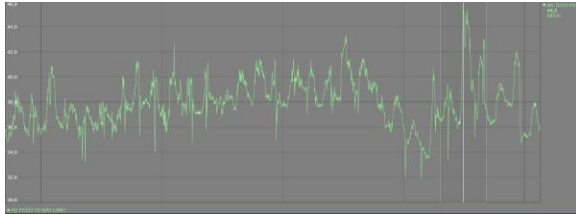
Effective maintenance of heat exchangers (HE) is crucial for ensuring high operational efficiency and extending the lifespan of the equipment. This article provides practical recommendations for industries regarding the maintenance and care of heat exchangers. Suggested measures include implementing regular preventive maintenance schedules, real-time monitoring of equipment conditions, selecting appropriate cleaning chemicals, training operators and maintenance teams, and managing the quality of input water. Additionally, the use of anti-fouling technologies, performance data analysis, and periodic evaluation of system designs are vital for optimizing HE performance. Adopting these strategies can help industries reduce downtime, repair costs, and improve long-term operational efficiency.

Keywords: heat exchanger, preventive maintenance, fouling, cleaning, monitoring, operational efficiency, system design

1. Pendahuluan

Alat penukar kalor (*heat exchanger*) didalam industri-industri pengolahan minyak dan gas bumi memiliki peranan yang sangat penting. *Heat exchanger* ini bekerja dengan memanfaatkan energi panas dari fluida yang bersuhu tinggi untuk memanaskan fluida yang bersuhu lebih rendah atau sebaliknya.

Heat exchanger adalah suatu alat yang digunakan untuk pertukaran panas antara dua



cairan yang berada pada temperatur yang berbeda. Penukar panas digunakan untuk tujuan menghilangkan panas pada fluida dan sekaligus memberikan panas pada fluida lain (Dubey, 2017). Perpindahan panas pada *heat exchanger* digunakan untuk mentransfer energi dari fluida bertemperatur panas ke fluida bertemperatur dingin atau sebaliknya, tanpa terjadi perpindahan massa didalamnya. Perpindahan panas pada *heat exchanger* terjadi melalui proses konveksi dan konduksi (Thirumarimurugan, 2008).

Heat exchanger sangat penting pada proses *hydrogen plant unit* karena berfungsi sebagai pendingin hidrogen sebelum dikirim ke proses selanjutnya yaitu, kompresor *hydrocracking unit*. Temperatur produk hidrogen tidak boleh melebihi spesifikasi yang ditentukan yaitu sebesar 40 °C. Apabila temperatur produk hidrogen melebihi 40 °C akan menghambat proses unit selanjutnya.

Tipe *heat exchanger* yang akan digunakan di *hydrogen plant unit RU V* Balikpapan adalah tipe *shell and tube* dengan sistem *multipass*. Dimana disisi shell dialiri oleh produk gas hidrogen dan sisi tube dialiri oleh air laut (SCW). Adapun yang dimaksud dengan alat penukar kalor dengan sistem *multipass* adalah konfigurasi aliran *heat exchanger* dimana fluida melewati permukaan penukar panas lebih dari satu kali dalam perjalanan dari *inlet* ke *outlet*. Desain *multipass* ini meningkatkan efisiensi transfer panas dengan memperpanjang waktu kontak antara fluida dan dingin. Ini sering

digunakan dalam berbagai aplikasi industri untuk meningkatkan kinerja penukar panas. Arah aliran fluida pada *heat exchanger* (E-8-14A) ini adalah aliran *counter current flow* yang artinya arah aliran gas hidrogen dan air laut (SCW) berlawanan.

Permasalahan yang masih sering di alami dan menjadi kendala dalam proses produksi adalah ketidak stabilan suhu keluar (*outlet*) dimana akan berpengaruh terhadap *supply hydrogen* ke proses berikutnya. Pada kondisi ini masih berlaku dan dari catatan dan pengamatan yang dilakukan yaitu kondisi operasi ± 2 bulan (Maret dan April) ditentukan yaitu > 40 °C dengan temperatur rata-rata air laut sebesar 36 °C (*outlet* sisi *tube*). Catatan dapat dilihat pada tampilan *display system* seperti pada gambar 1.1

Gambar 1. Tampilan suhu pada unit pembaca suhu keluar HE bulan Maret dan April 2024

Alat penukar panas apabila beroperasi terus menerus kinerjanya semakin menurun dan memerlukan kerja perawatan dan perbaikan. Unit HE ini telah dioperasikan sejak tahun 1982 dimana sudah lebih 20 tahun digunakan. Dari data manual HE yang diproduksi oleh pabrik pembuat Betchel dengan spesifikasi temperatur keluar adalah 38 derajat celcius untuk produk (*methanator*) dan air laut. Sedangkan suhu masuk produk *methanator* adalah pada suhu 55 °C dan 30 °C air laut.

Dari permasalahan dan uraian latar belakang penelitian ini maka penulis sebagai tim proyek penyelenggara perawatan peralatan tertarik untuk melanjutkan sebuah penelitian dengan studi kasus di tempat bekerja dengan judul proposal adalah terkait optimalisasi kinerja *heat exchanger* agar kinerja *heat exchanger* selalu beroperasi dengan maksimal. Oleh karena itu penulis membuat judul “**Optimalisasi Efisiensi Heat Exchanger (E-8-14a) Pada Hydrogen Plant Unit Ru V, Studi Kasus di Pertamina Balikpapan**” yang akan berguna untuk mempertahankan temperatur produk hidrogen sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan (>40 °C).

2. Metode

Gambar 2. Diagram Alir

Pertama perlu diketahui melakukan studi literatur mengenai *heat exchanger* serta mengumpulkan data teknik atau data spesifikasi yang berhubungan dengan material komposit serta data dari hasil pengujian

1. Data dan metoda pengumpulan data

Sumber data dalam penelitian ini menggunakan metode studi pustaka, yaitu diperoleh dari beberapa literatur yang berkaitan dengan masalah yang sedang diteliti. Data yang digunakan dalam penelitian ini dikumpulkan dengan metode dokumentasi. Dokumentasi merupakan proses perolehan dokumen dengan mengumpulkan dan mempelajari dokumen-dokumen dan data-data yang diperlukan. Dokumen yang dimaksud dalam penelitian ini adalah *Manual book hydrogen plant unit* dan *sheet specification heat exchanger*.

Dikarenakan perhitungan efisiensi *heat exchanger* metode Kern dan grafik-grafik terkait yang digunakan menggunakan satuan British System, maka data yang menggunakan satuan SI akan dikonversi ke satuan British System. Adapun data tersebut sebagai berikut:

Tabel 1. Tabel data kondisi operasi *heat exchanger*

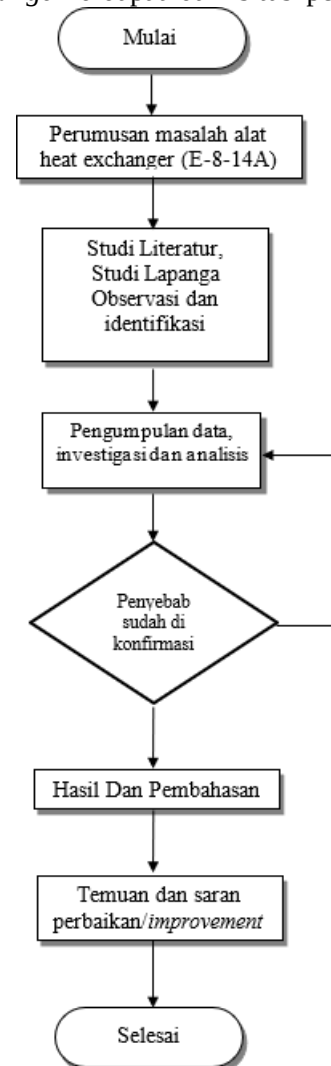
Parameter	Satuan	Shell	Tube
Fluida		Methanator produk	Sea Cooling Water (SCW)
Flow	lb/hr	5100	88000
Temperatur	°F	In (T1) = 132,8 Out (T2) = 98,6	In (t1) = 86 Out (t2) = 91,7
SG 60/60 °F		0,0821	1

Tabel 2. Tabel data desain *heat exchanger* E-8-14

Parameter	Satuan	Shell	Tube
Jumlah Pass (N)	pass	1	6
ID	Inch	22,4	0,9174
OD	Inch	-	1
Panjang (L)	Ft	-	20
Jumlah Tube(Nt)	Batang	-	87
Baffle Spacing (B)	Inch	13,7	-
Thickness	Inch	-	0,0826
Pitch (PT)	Inch	-	1,25
Type HE	AES	-	-
Fouling Factor Design	°C.hr.m ² /kcal	0,000205	0,0006
Pressure Drop Design	Kg/cm ²	0,14/0,133	0,7/0,52
Jarak antar tube (C")	Inch	-	0,25

1.1 Jenis Data

Data yang diperoleh dari lembar spesifikasi alat *heat exchanger* didapat dari situs perusahaan



Pertamina. Penelitian ini menggunakan *variable design* dari *heat exchange*

1.2 Teknik dan Alat Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini adalah Teknik dokumentasi. Teknik dokumentasi adalah Teknik yang dilakukan dengan cara melihat dan mengumpulkan data yang telah ada. Dalam penelitian ini data yang digunakan adalah variabel (tekanan, laju, temperatur, spesifikasi dll) yang dapat diakses melalui Main Control Room (Panelroom).

1.3 Alat dan bahan penelitian

1.3.1 Alat

a. Heat exchanger

Heat exchanger adalah suatu peralatan yang memanfaatkan energi panas dari fluida yang bersuhu tinggi untuk

memanaskan fluida yang bersuhu lebih rendah atau sebaliknya.

Gambar 3. Heat exchanger

b. *Temperature transmitter*

Temperature transmitter adalah alat yang digunakan untuk mengirimkan sinyal hasil pengukuran suhu dari sensor (thermocouple) untuk dikirimkan ke temperature kontrol atau temperature indicator.



Gambar 4. Temperature transmitter

c. *Gate valve*

Gate valve adalah salah satu jenis katup yang digunakan dalam sistem perpipaan untuk mengatur aliran fluida.



Gambar 5. Gate valve

1.3.2 Bahan

Bahan yang menjadi objek pada penelitian ini terdiri dari :

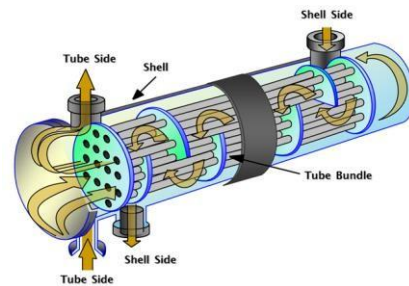
- SCW (*Sea Cooling Water*), air yang berasal dari laut yang akan menjadi media pendingin dari *heat exchanger*
- Hidrogen, produk dari *hidrogen plant unit* yang akan diturunkan temperaturnya dengan bantuan *heat exchanger*.

2. Identifikasi penurunan sistem pendingin (cooling system) pada HE E-8-14A

PT Pertamina Balikpapan melaporkan bahwa terjadinya penurunan power yang terindikasi *low performance* sehingga target pendinginan tidak stabil. Pada tahap ini dilakukan sebagai berikut:

1. Mengambil data dalam bentuk table perawatan / maintenance checklist

2. Mencari temuan terhadap heat exchanger (HE) apakah tersumbat apa tidak. Ditemukan pipa sirkulasi pendingin di HE



tersumbat.

3. Memeriksa lebih jauh terhadap system pendinginan (HE) terutama pada pipa pendinginan (cooler) yang menuju air laut terutam pengecekan terhadap *zinc rod* dan ditemukan alat / elemen ini sudah mulai mengikis.
4. Melakukan investigasi terhadap riwayat-riwayat pemeliharaan dan inspeksi pada system apakah tersedia bukti inspeksi harian, mingguan dan bulanan.

Observasi dilakukan dengan penjadwalan pada operasi kerja yang bertepatan pada skedul *preventive maintenance*. Berdasarkan hasil observasi dan wawancara dengan petugas bagian fasilitas teknisi PT Pertamina Balikpapan serta melakukan pengamatan langsung di lapangan dan data-data yang diperoleh penulis, bahwa terindikasi sistem pendinginan mesin tidak stabil dimana temperatur mengalami fluktuatif.

Sebagai langkah awal, peneliti melakukan beberapa langkah kerja dimana pada tahap pemeriksaan atau inspeksi alat penukar panas (heat exchanger) adalah salah satu tahap penting dalam perawatan preventif untuk memastikan alat berfungsi dengan efisien dan memiliki umur yang panjang. Pemeriksaan ini bertujuan untuk mengidentifikasi kerusakan atau penurunan kinerja sejak dini, sehingga tindakan pemeliharaan bisa segera diambil sebelum terjadi kerusakan lebih parah. Berikut adalah langkah-langkah pemeriksaan yang umum dilakukan untuk menjaga alat penukar panas dalam kondisi terbaik:

1. Persiapan Inspeksi

- Tinjau Dokumentasi: Sebelum memulai inspeksi, tinjau manual operasional, desain, dan riwayat perawatan alat. Memahami kondisi operasional alat dan pemeliharaan

sebelumnya akan memberikan wawasan yang lebih jelas tentang potensi masalah yang perlu dicari.

- **Persiapkan Alat dan Peralatan:** Pastikan alat-alat yang diperlukan untuk inspeksi (seperti termometer, manometer, alat pengukur kebocoran, dan alat pembersih) sudah tersedia. Juga pastikan untuk memiliki perlengkapan keselamatan yang sesuai, seperti sarung tangan dan pelindung mata, mengingat kemungkinan terpapar bahan kimia atau suhu tinggi.
 - **Matikan dan Kosongkan Sistem:** Pastikan sistem dalam keadaan mati dan aman untuk diperiksa. Kosongkan fluida yang ada dalam sistem jika diperlukan, atau pastikan tidak ada tekanan atau suhu tinggi yang masih tersisa di dalam alat penukar panas.
2. **Pemeriksaan Visual**
- **Periksa Kebocoran:** Periksa seluruh permukaan heat exchanger, termasuk sambungan pipa, gasket, dan saluran, untuk mendeteksi kebocoran fluida. Kebocoran bisa menunjukkan adanya kerusakan pada segel atau struktur alat.
 - **Cek Korosi dan Aus:** Lihat adanya tanda-tanda korosi atau keausan pada permukaan logam, khususnya di bagian yang sering terpapar suhu dan tekanan tinggi. Korosi dapat mengurangi ketahanan struktural dan efisiensi alat. Bagian yang berpotensi korosi antara lain permukaan dalam pipa dan sambungan antar bagian.
 - **Periksa Penumpukan Fouling:** Periksa tanda-tanda fouling (penumpukan kotoran atau material asing seperti skala, endapan, atau mikroorganisme) pada permukaan pipa dan saluran. Fouling adalah salah satu penyebab utama penurunan efisiensi pada heat exchanger. Pemeriksaan ini perlu dilakukan di kedua sisi fluida (panas dan dingin).
3. **Pemeriksaan Kondisi Fungsional**
- **Cek Suhu dan Tekanan Operasional:** Gunakan alat pengukur suhu dan tekanan untuk memastikan bahwa heat exchanger beroperasi pada kondisi yang sesuai dengan desainnya. Suhu atau tekanan yang lebih tinggi atau lebih rendah dari yang seharusnya dapat menyebabkan kerusakan atau penurunan efisiensi.
 - **Periksa Aliran Fluida:** Verifikasi bahwa

aliran fluida berada dalam kisaran yang benar. Menggunakan alat pengukur aliran (flow meter), pastikan tidak ada sumbatan atau pembatasan aliran yang disebabkan oleh fouling atau penyumbatan pada pipa atau saluran.

- **Periksa Pengaturan Katup:** Pastikan bahwa katup-katup pengatur aliran bekerja dengan baik dan tidak ada yang macet. Katup yang tidak berfungsi dengan baik dapat menyebabkan aliran tidak terkontrol, yang mengarah pada penurunan kinerja alat.

4. **Pemeriksaan Gasket dan Segel**

- **Periksa Gasket dan Segel:** Pemeriksaan gasket dan segel sangat penting karena komponen ini sering menjadi titik lemah dalam heat exchanger. Cek apakah ada tanda-tanda kebocoran atau kerusakan pada gasket atau segel, terutama pada sambungan pipa atau permukaan kontak lainnya.
- **Penggantian Gasket yang Rusak:** Jika ditemukan gasket yang aus atau rusak, segera lakukan penggantian. Gasket yang bocor dapat menyebabkan kehilangan fluida atau kontaminasi fluida panas dengan fluida dingin, yang akan menurunkan efisiensi termal alat.

5. **Pemeriksaan Struktur dan Komponen Pipa**

- **Periksa Pipa dan Saluran:** Lakukan inspeksi menyeluruh pada pipa dan saluran untuk memeriksa adanya kebocoran, korosi, retakan, atau kerusakan struktural lainnya. Retakan atau kerusakan pada pipa bisa mengarah pada kebocoran fluida dan mengurangi efisiensi.
- **Pengujian Tekanan:** Pengujian tekanan (pressure testing) perlu dilakukan untuk memeriksa apakah ada kebocoran pada pipa atau sambungan yang tidak terdeteksi selama pemeriksaan visual.

6. **Pembersihan dan Desinfeksi**

- **Pembersihan Saluran dan Permukaan:** Jika fouling ditemukan, lakukan pembersihan alat heat exchanger untuk menghilangkan endapan, skala, atau material asing lainnya. Pembersihan bisa dilakukan menggunakan metode kimia (menggunakan larutan pembersih) atau mekanik (seperti dengan sikat atau alat pembersih khusus).
- **Desinfeksi:** Untuk mencegah pertumbuhan

bakteri atau mikroorganisme (biofouling), lakukan desinfeksi permukaan heat exchanger menggunakan bahan kimia yang sesuai.

7. Pemeriksaan Sistem Pengendalian dan Instrumen

- Cek Sistem Kontrol Otomatis: Pastikan bahwa sistem kontrol suhu, aliran, dan tekanan berfungsi dengan baik. Gunakan alat pengukur dan pengendali untuk memastikan bahwa instrumen yang ada pada sistem operasional memberikan pembacaan yang akurat.
- Kalibrasi Instrumen: Lakukan kalibrasi pada instrumen pengukuran suhu dan tekanan jika diperlukan. Instrumen yang tidak terkalibrasi dengan benar bisa menyebabkan pengukuran yang tidak akurat, yang pada gilirannya dapat mengarah pada pengaturan operasional yang salah.

8. Pemantauan Suhu dan Efisiensi

- Pengukuran Perbedaan Suhu: Ukur perbedaan suhu antara fluida yang masuk dan keluar dari heat exchanger. Perbedaan suhu yang rendah dapat mengindikasikan penurunan efisiensi akibat fouling atau masalah aliran fluida.
- Efisiensi Termal: Hitung efisiensi termal heat exchanger dengan membandingkan transfer panas yang diharapkan dengan yang tercapai berdasarkan data suhu dan aliran. Jika ada penurunan signifikan, itu mungkin menandakan masalah dalam kinerja alat.

9. Evaluasi dan Tindakan Perbaikan

- Analisis Hasil Inspeksi: Setelah semua pemeriksaan dilakukan, evaluasi hasilnya dan tentukan apakah heat exchanger memerlukan perbaikan atau penggantian komponen. Perhatikan apakah masalahnya bersifat sementara (misalnya fouling yang dapat dibersihkan) atau apakah ada kerusakan struktural yang memerlukan penggantian komponen besar.
- Rencana Tindakan Perbaikan: Jika ditemukan masalah serius, buatlah rencana perbaikan atau penggantian yang jelas. Segera lakukan tindakan perbaikan agar tidak mempengaruhi operasi lebih lanjut.

10. Dokumentasi dan Pelaporan

- Catat Hasil Inspeksi: Dokumentasikan hasil inspeksi, termasuk kondisi alat, temuan penting (seperti fouling, kebocoran, atau korosi), dan tindakan perbaikan yang diambil. Dokumentasi yang baik membantu dalam perencanaan perawatan mendatang dan memberikan catatan historis bagi tim pemeliharaan.
- Laporan ke Manajemen: Jika ada temuan yang perlu perhatian lebih, laporkan kepada manajemen atau tim teknis yang lebih tinggi agar dapat diambil tindakan lebih lanjut sesuai kebijakan.

3. Pelaksanaan dan analisis untuk program sebagai upaya peningkatan sistem pendingin

Berikut adalah hasil inspeksi dilakukan seperti dibawah :



Gambar 6. Observasi awal pada unit Heat Exchanger

Pengecekan pada unit, saringan filter, katup dan unit serta instrumen lainnya. Tahap ini semua check list yang ada pada prosedur maintenance dilakukan.



Gambar 7. Pemeriksaan shell and tube (heat exchanger) pada unit yang telah *disambly*

Pemeriksaan terhadap alat penukar kalor merupakan tahapan yang penting untuk melihat kondisi visual, kebersihan dan kemungkinan adanya abnormaliti terhadap fisik alat ini.

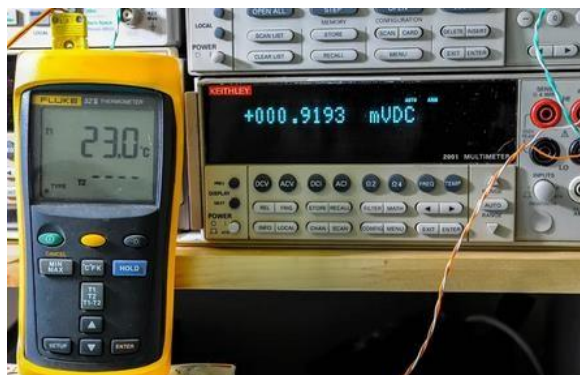
Gambar 8. Pemeriksaan permukaan *shell and tube* pada unit

Pada tahap pemeriksaan ini untuk melihat permukaan unit HE.

Disini terlihat adanya *fouling* atau pengotoran akibat skala atau *biofouling* terbentuk pada body heat exchanger, maka itu dapat menyebabkan peningkatan perbedaan suhu dan penurunan efisiensi termal alat. Pengecekan rutin memungkinkan pembersihan yang lebih cepat dan mencegah masalah yang lebih besar. Fouling pada permukaan body heat exchanger (terutama pada bagian luar) dapat mengganggu aliran fluida dan mengurangi efisiensi pertukaran panas. Fouling yang dibiarkan tanpa pengecekan dan pembersihan akan terus berkembang, mengurangi area permukaan yang efektif, dan menyebabkan beban kerja tambahan pada sistem.

Pada proses ini dilakukan beberapa langkah analisis dan perbaikan pada elemen dan bagian unit pemeriksaan berkala yang tetap berpedoman kepada operasi perawatan manual dari PT Pertamina Balikpapan.

Berikut adalah tindakan dan perbaikan pada unit saat dilakukan pemeriksaan dan observasi.



Gambar 9. Memonitor Temperatur keluar dengan tool instrumen Fluke 52 II Dual Input Digital Thermometer

Pada tahap ini observasi dilakukan terhadap temperatur dan memasukan kedalam data base untuk menemukan *trend* fluktuasi perubahan suhu keluar sistem pendingin

3. Pembahasan

Hasil dan pembahasan



Berdasarkan hasil pembahasan yang telah dilakukan dan dengan melakukan analisa pada program perawatan Unit HE E-8-14A dan pembahasan program perawatan dan inspeksi dilakukan, maka dapat diambil beberapa hasil pembahasan yaitu :

- 1) Hasil pengamatan terhadap unit Penukar panas HE E-14-A menunjukkan bahwa terjadinya kekotoran pada permukaan tube left and right heat exchanger.
 - 2) Mengikuti Prosedur operasi manual maintenance dari PT Pertamina Balikpapan bahwa running hours 2000 atau 3 bulan perlu dilakukan inspeksi. Pada proses ini terlihat bahwa kandungan kotoran yang terserap pada permukaan tube cukup banyak dan perhatian terhadap kualitas hasil pendinginan.
 - 3) Penumpukan kotoran atau fouling pada permukaan heat exchanger yang menggunakan air laut sebagai media utama sering kali disebabkan oleh berbagai faktor yang berhubungan dengan sifat kimia dan fisik air laut itu sendiri.
- Penyebab terjadinya *fouling* (penumpukan kotoran)

Air laut mengandung berbagai zat yang dapat menyebabkan penurunan efisiensi alat penukar panas seiring waktu. Berikut adalah penyebab utama terjadinya penumpukan kotoran pada permukaan heat exchanger yang menggunakan air laut berdasarkan hasil kajian terdahulu.

1) Penumpukan Garam (Scaling)

Penyebab scaling adalah karena Air laut mengandung garam terlarut seperti kalsium karbonat (CaCO_3), kalsium sulfat (CaSO_4), magnesium karbonat (MgCO_3), dan garam-garam lainnya. Ketika suhu atau tekanan air laut meningkat di dalam heat exchanger, garam-garam ini dapat mengendap dan membentuk

lapisan keras yang disebut scaling pada permukaan pipa atau saluran. Dampak dari penumpukan skala ini mengurangi area permukaan yang efektif untuk transfer panas, menghambat aliran fluida, dan dapat menyebabkan kerusakan pada struktur material alat.

Hal ini sesuai apa yang diteliti oleh Fouad et al. (2017), pembentukan skala kalsium karbonat pada alat penukar panas dari air laut dapat mengurangi efisiensi termal secara signifikan. Ketika salinitas air laut dan suhu meningkat, proses pembentukan skala menjadi lebih intensif.

2) Biofouling

Penyebab terjadinya Biofouling atau penumpukan kotoran terjadi ketika mikroorganisme seperti alga, bakteri, dan jamur menempel pada permukaan alat penukar panas yang terpapar air laut. Mikroorganisme ini berkembang biak di permukaan yang lembap dan bisa membentuk lapisan biofilm. Dampak dari lapisan biofilm dapat mengisolasi permukaan alat, mengurangi efisiensi transfer panas, dan meningkatkan risiko korosi mikrobiologis. Selain itu, lapisan biofouling bisa menyebabkan penyumbatan aliran fluida. Temuan ini juga merujuk kepada hasil penelitian oleh O'Neill et al. (2019) menunjukkan bahwa biofouling di heat exchanger yang menggunakan air laut sering kali menjadi masalah utama di lingkungan laut tropis. Bakteri dan mikroalga, yang berkembang biak di permukaan, mengurangi kinerja termal alat.

3) Sedimentasi Partikel Padat

Penyebab terjadinya sedimentasi air laut mengandung partikel padat seperti pasir, lumpur, dan materi organik yang terlarut. Ketika air laut mengalir melalui heat exchanger, partikel-partikel ini dapat mengendap pada permukaan pipa atau saluran. Dampak dari penumpukan partikel ini menyebabkan penyumbatan aliran dan penurunan efisiensi heat exchanger karena adanya lapisan isolasi termal. Selain itu, partikel tersebut juga dapat menyebabkan erosi pada permukaan logam alat. Berdasarkan penelitian Raventos et al. (2018), sedimentasi partikel dari air laut dapat menyebabkan fouling yang lebih cepat pada alat heat exchanger, terutama di perairan dengan

kandungan partikel yang tinggi. Hal ini dapat memperburuk performa alat dan mempercepat keausan pada komponen internal.

4) Korosi Akibat Salinitas Tinggi

Air laut memiliki tingkat salinitas yang tinggi, yang dapat menyebabkan korosi pada permukaan logam dari heat exchanger. Korosi ini sering kali diperburuk oleh adanya oksigen terlarut dan pH air yang bervariasi. Proses korosi mengurangi integritas struktural alat dan dapat mempercepat proses fouling karena kerak atau endapan yang terbentuk.

Korosi memperburuk kondisi material alat, mempercepat keausan, dan meningkatkan kerentanannya terhadap fouling dan penumpukan kotoran lainnya. Dalam studi oleh Zhang et al. (2020), mereka menemukan bahwa alat heat exchanger yang beroperasi dalam lingkungan dengan air laut berisiko tinggi mengalami korosi, yang kemudian memperburuk proses fouling karena terbentuknya karat dan endapan lainnya.

5) Fluktuasi Suhu dan Perbedaan Tekanan

Fluktuasi suhu dan tekanan dalam sistem penukar panas yang menggunakan air laut juga dapat berkontribusi pada pembentukan fouling. Ketika suhu air laut berubah-ubah secara drastis, garam terlarut dalam air laut dapat mengendap pada permukaan heat exchanger. Dampak dari fluktuasi ini dapat menyebabkan pembentukan skala (scaling) atau menyebabkan lapisan padat lain menempel pada permukaan yang menghambat transfer panas. Penelitian oleh Patel et al. (2017) menyatakan bahwa perubahan suhu yang tidak terkontrol dapat memperburuk pembentukan skala pada permukaan alat heat exchanger yang menggunakan air laut.

6) Pengaruh pH dan Komposisi Kimia Air Laut

Komposisi kimia air laut yang bervariasi, terutama pH yang lebih tinggi atau rendah, dapat mempengaruhi proses fouling. Air laut yang memiliki pH yang tidak stabil dapat menyebabkan reaksi kimia yang membentuk endapan mineral (seperti kalsium karbonat dan magnesium hidroksida) yang menempel pada permukaan heat exchanger. Penurunan pH air laut dapat mempercepat korosi, sementara peningkatan pH dapat meningkatkan

pembentukan skala, keduanya dapat memperburuk kinerja alat.

Penelitian oleh Lin et al. (2021) menunjukkan bahwa variasi pH air laut dapat mempengaruhi kecepatan pembentukan fouling, terutama pada alat heat exchanger yang beroperasi dalam kondisi air laut dengan pH tinggi.

Program perawatan yang menjadi Improvisasi dan proposal hasil penelitian kepada pihak Pertamina Balikpapan

Dari Analisa diagram diatas maka perlu dilakukan perhatian khusus terhadap metode perawatan yang sesuai dengan kondisi operasi namun tetap berpedoman kepada operasi manual perawatan dari PT Pertamina Balikpapan. Berikut program perawatan yang dapat dilakukan untuk menghindari kerusakan pada Penukar panas HE E-14-A.

1. Preventive maintenance.

Preventive maintenance dibagi atas tiga model *maintenance*:

- 1) *Periodic maintenance*
- 2) *Schedule Overhaul*
- 3) *Condition Base Maintenance*

• Periodic maintenance

Periodic maintenance adalah pelaksanaan service yang harus dilakukan setelah peralatan bekerja untuk jumlah jam operasi tertentu. Jumlah jam kerja ini adalah sesuai dengan jumlah yang ditunjukan oleh pencatat jam operasi (*service meter*) yang ada pada alat tersebut. Untuk melaksanakan *Periodic maintenance* ini, meliputi:

• Periodic inspection

Pemeriksaan atau inspeksi harian sebelum unit dioperasikan dan pemeriksaan mingguan, hal ini untuk mengetahui kedaan machine apakah aman untuk dioperasikan. Dalam melaksanakan *periodic inspection* terutama dalam pelaksanaan perawatan harian (*daily maintenance*), bisa menggunakan beberapa alat bantu, antara lain :

1. *Check sheet*: Suatu form (daftar) yang dipergunakan untuk mencatat hasil operasi dari tiap-tiap machine dalam satu hari operasi.
2. *Daily check*: Suatu form (daftar) seperti halnya check sheet, perbedaannya hanya pada ukurannya yaitu pocket size sehingga operator atau service-man akan dengan mudah mencatatnya.

• Periodic service

Perawatan *machine* yang teratur adalah sangat penting demi menjamin pengoperasian yang bebas dari kerusakan dan memperpanjang umur unit. Waktu dan uang yang dikeluarkan untuk melaksanakan *Periodic service* (perawatan berkala) akan dikompensasi dengan secukupnya dengan memperpanjang umur unit dan berkurangnya ongkos operasi unit. Semua angka yang menunjukkan jumlah jam kerja pada keterangan yang tertera pada check sheet adalah didasarkan pada angka-angka yang dilihat pada service meter. Tetapi dalam praktek sangat dianjurkan pelaksanaan perawatan lebih memudahkan dan menyenangkan.

2. Schedule Overhaul.

Jenis perawatan yang dilakukan dengan interval tertentu sesuai dengan standard overhaul di lakukan yang telah ditemukan terhadap masing-masing komponen yang ada. *Schedule overhaul* dilaksanakan untuk merekondisi machine atau komponen agar kembali ke kondisi standard sesuai dengan *Standard Factory*.

Interval waktu yang telah di tentukan dipengaruhi oleh kondisi yang beraneka ragam seperti kondisi medan operasi, *Periodic service*, skill operator dan sebagainya.

Overhaul di laksanakan secara terjadwal tanpa menunggu machine / komponen tersebut rusak Dalam pelaksanaannya kadang kala terjadi sesuatu yang merubah jadwal (*schedule*). Macam-macam overhaul:

- *Engine overhaul*
- *Transmission overhaul*
- *Final drive overhaul*
- *General overhaul.*

3. Condition Base Maintenance

Jenis perawatan yang bertujuan untuk mengembalikan kondisi unit seperti semula (standard), dengan cara melakukan pekerjaan service Seperti: PPM, PPU yang hasil pengukurannya disesuaikan dengan standard yang terbaru (*service news dan modification program*).

Berikut *check list Inspection* pada perawatan sistem pendinginan unit HE yang dapat dilakukan agar biaya perawatan dan jasa perbaikan dapat dikurangi.

Tabel 3. Inspeksi Mingguan pada Perawatan siklus 50 jam awal

No	List pengecekan	Deskripsi
1	Pemeriksaan Kebocoran	Periksa apakah ada kebocoran pada body, sambungan, atau saluran alir
2	Pemeriksaan Suhu dan Tekanan	Periksa suhu dan tekanan pada titik inlet dan outlet fluida, pastikan berada dalam rentang desain
3	Pemeriksaan Aliran Fluida	Pastikan tidak ada hambatan atau gangguan dalam aliran fluida
4	Pemeriksaan Kondisi Sistem	Periksa indikator untuk memastikan bahwa sistem bekerja sesuai dengan parameter yang ditetapkan
5	Pemeriksaan Vibrasi	Periksa apakah ada getaran yang tidak normal pada alat, yang bisa menunjukkan kerusakan atau keausan
6	Pemeriksaan Panel Kontrol	Periksa apakah panel kontrol atau instrumen yang digunakan untuk monitoring berfungsi dengan baik

Tujuan inspeksi ini adalah untuk memastikan bahwa heat exchanger beroperasi dengan baik dan mendeteksi masalah kecil sebelum berkembang menjadi masalah besar.

Tabel 4. Inspeksi bulanan pada Perawatan siklus 720 jam

No	List pengecekan	Deskripsi
1	Pemeriksaan Fouling	Periksa adanya fouling (skala, biofouling) pada permukaan heat exchanger, terutama pada area aliran fluida.
2	Pemeriksaan Kondisi Seal dan Gasket	Cek kondisi seal dan gasket untuk memastikan tidak ada kebocoran fluida.
3	Pemeriksaan Suhu Inlet dan Outlet	Pastikan perbedaan suhu antara inlet dan outlet sesuai dengan desain dan parameter operasional.
4	Pemeriksaan Kondisi Material	Cek kondisi material body, pipa, dan komponen lainnya untuk korosi atau keausan.
5	Pemeriksaan Sistem Pembilasan	Jika sistem dilengkapi dengan pembilasan atau flushing, periksa apakah sistem ini berfungsi dengan baik untuk mencegah fouling.
6	Pemeriksaan Sistem Pengendalian	Periksa sistem pengendalian aliran, suhu, dan tekanan untuk memastikan kontrol yang akurat dan stabil.
7	Pembersihan Saringan (Filter)	Cek dan bersihkan saringan atau filter untuk menghindari penyumbatan yang bisa mengganggu aliran fluida.
8	Inspeksi Permukaan Pipa	Periksa apakah ada korosi atau endapan pada permukaan pipa atau saluran.

Tujuannya adalah untuk melakukan pemeriksaan yang lebih mendalam untuk memastikan *heat exchanger* tetap dalam kondisi optimal dan mengidentifikasi potensi masalah yang lebih besar.

Tabel 5. Inspeksi skala besar Perawatan siklus 6 bulanan dan tahunan

No	List pengecekan	Deskripsi
1	Pembersihan Mendalam (Cleaning)	Lakukan pembersihan menyeluruh pada seluruh permukaan <i>heat exchanger</i> untuk menghilangkan fouling (biofouling, scaling, atau sedimentasi)..
2	Pemeriksaan dan Penggantian Gasket	Gasket dan seal harus diperiksa untuk keausan dan kemungkinan kebocoran. Ganti jika diperlukan.
3	Pemeriksaan dan Penggantian Komponen	Periksa komponen utama seperti pipa, plat, atau tube. Ganti bagian yang aus atau rusak.
4	Pemeriksaan Korosi dan Keausan	Lakukan pemeriksaan secara menyeluruh terhadap kemungkinan korosi atau keausan pada body dan pipa, serta potensi kerusakan material.
5	Pemeriksaan Aliran Fluida	Periksa aliran fluida dalam seluruh sistem dan lakukan pengujian aliran untuk memastikan tidak ada penyumbatan atau gangguan.
6	Pengujian Kebocoran	Lakukan uji tekanan untuk memeriksa kebocoran pada body <i>heat exchanger</i> dan sambungan saluran.
7	Pemeriksaan Kondisi Penukar Panas	Periksa kondisi <i>heat exchanger</i> secara keseluruhan, pastikan tidak ada deformasi atau perubahan bentuk yang dapat mempengaruhi efisiensi.
8	Pemeriksaan Struktur Internal	Cek bagian dalam <i>heat exchanger</i> (misalnya tube bundle atau pipa) untuk memastikan tidak ada kerusakan atau penyumbatan.
9	Pemeriksaan Sistem Kontrol dan Otomasi	Pastikan semua sistem kontrol (termasuk sensor suhu, tekanan, dan aliran) berfungsi dengan baik dan terkalibrasi dengan benar.

Tujuan Inspeksi secara menyeluruh dan mendalam, termasuk pembongkaran alat, pembersihan menyeluruh, dan penggantian komponen yang sudah aus atau rusak. Dilakukan secara berkala (misalnya setiap 6 bulanan, 1-2 tahun tergantung pada jenis dan kondisi operasional). Siklus inspeksi perawatan berkala ini dilakukan sampai pada 2000 jam operasi untuk memastikan kondisi alat HE dalam keadaan baik dan beroperasi normal.

Dokumentasi untuk setiap hasil inspeksi harus dicatat dengan baik dalam bentuk laporan inspeksi untuk referensi dan analisis lebih lanjut. Hal ini membantu dalam pelacakan perawatan dan meningkatkan pemahaman tentang pola kerusakan atau penurunan kinerja. Pada Pemeliharaan Preventif, Selain inspeksi visual, lakukan tindakan pemeliharaan preventif seperti pembersihan rutin atau penggantian komponen yang sudah aus untuk mencegah kerusakan lebih lanjut.

Proses pembersihan harus disesuaikan dengan jenis fouling yang terjadi misalnya, skala memerlukan pembersihan kimia, sementara biofouling dapat memerlukan teknik fisik atau pembersihan dengan tekanan tinggi. Dengan memiliki jadwal inspeksi yang jelas, baik secara mingguan, bulanan, maupun tahunan, Anda

dapat menjaga heat exchanger tetap beroperasi dengan efisien dan mengurangi risiko kerusakan atau penurunan kinerja yang tidak terdeteksi.

Pembersihan mendalam pada permukaan heat exchanger (HE) adalah salah satu prosedur pemeliharaan yang penting untuk memastikan alat tetap berfungsi secara optimal. Pembersihan mendalam diperlukan untuk menghilangkan segala bentuk fouling yang menumpuk, seperti skala (scaling), biofouling, atau sedimentasi yang dapat menghambat proses transfer panas dan menyebabkan penurunan efisiensi alat. Berikut adalah urutan dan persiapan yang perlu dilakukan sebelum dan selama pembersihan mendalam pada permukaan heat exchanger:

Proses pembersihan (cleaning) pada unit HE yang di ajukan kepada pihak PT Pertamina Balikpapan

Sebelum dilakukan proses pembersihan, dilakukan tahap persiapan yaitu beberapa tahap kerja sebagai berikut :

1. Evaluasi Kondisi HE dan Identifikasi Jenis Fouling

Sebelum memulai pembersihan, penting untuk mengidentifikasi jenis fouling yang terjadi pada permukaan heat exchanger. Apakah itu skala mineral (seperti kalsium karbonat), biofouling (seperti alga atau bakteri), atau sedimentasi (partikel padat). Langkah;langkahnya adalah meninjau laporan inspeksi sebelumnya, periksa perbedaan suhu inlet dan outlet, serta periksa kondisi pipa dan permukaan heat exchanger untuk menentukan jenis fouling.

2. Matikan dan Isolasi Sistem

Untuk memastikan keselamatan dan mencegah kerusakan pada alat atau sistem lainnya, pastikan alat dalam kondisi mati (shutdown), dan sistem aliran fluida dihentikan sementara. Langkah kerja adalah Tutup valve inlet dan outlet pada heat exchanger. Pastikan seluruh aliran fluida berhenti dan lepaskan tekanan dalam sistem. Tandai area yang akan dibersihkan untuk memudahkan koordinasi selama pembersihan.

3. Tentukan Metode Pembersihan

Metode pembersihan yang tepat harus disesuaikan dengan jenis fouling yang terjadi. Ada beberapa metode umum yang dapat dipilih seperti Pembersihan kimia (Chemical Cleaning)

yaitu untuk skala mineral seperti kalsium karbonat. Kedua adalah pembersihan mekanis (Mechanical Cleaning) untuk biofouling atau penghilangan kotoran padat besar. Dan berikutnya adalah Pembersihan dengan tekanan tinggi (High-pressure water jetting): Untuk biofouling atau kerak yang lebih keras.

Langkah yang dapat dilakukan adalah pilih dan persiapkan bahan pembersih kimia atau alat yang diperlukan sesuai dengan jenis fouling yang terdeteksi.

4. Siapkan Alat dan Bahan Pembersih

Alat: Pipa dan selang untuk pembersihan, seperti selang tekanan tinggi atau alat pembersih mekanis. Pompa atau sistem sirkulasi untuk mengalirkan larutan pembersih. Alat pengukur suhu dan pH untuk memastikan larutan pembersih berada pada kondisi yang tepat.

Bahan: Solusi pembersih kimia seperti asam nitrat, asam fosfat, atau asam sitrat untuk menghilangkan skala mineral. Bahan pembersih biologi atau biocides untuk biofouling, jika diperlukan. Sarung tangan, pelindung mata, dan pelindung tubuh lainnya untuk keselamatan kerja.

5. Persiapkan Area Kerja

Pembersihan mendalam dapat melibatkan bahan kimia atau tekanan tinggi, sehingga area kerja harus aman dan terlindungi dari potensi bahaya. Langkahnya adalah pastikan ventilasi yang baik jika bahan kimia digunakan. Sediakan tempat untuk penampungan bahan kimia yang terbuang dan memastikan sistem pengelolaan limbah. Tandai area kerja dengan jelas untuk memastikan keamanan operator.

Kemudian lakukan pembersihan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Pembongkaran dan Pemeriksaan Fisik Untuk mempermudah pembersihan, alat heat exchanger biasanya perlu dibongkar terlebih dahulu. Ini juga memberikan kesempatan untuk memeriksa komponen internal. Langkahnya membongkar komponen-komponen utama seperti cover, pipa, atau tube bundle, tergantung pada desain alat. Periksa adanya kerusakan mekanis seperti retakan atau keausan pada pipa dan sambungan.

2. Pembersihan Permukaan Menggunakan

Metode yang Sesuai seperti :

Metode Pembersihan Kimia (Chemical Cleaning): dengan melarutkan Solusi Pembersih lalu campurkan bahan kimia yang sesuai dengan air dan pastikan pH berada dalam rentang yang aman untuk alat (misalnya, pH antara 2-5 untuk pembersihan skala kalsium karbonat). Berikutnya sirkulasikan Larutan Pembersih: Gunakan pompa untuk mengalirkan larutan pembersih ke dalam saluran heat exchanger. Biarkan larutan beredar selama waktu yang ditentukan (tergantung pada tingkat fouling).

3. Flushing dengan Air Bersih, Setelah pembersihan kimia, bilas sistem dengan air bersih untuk menghilangkan sisa-sisa bahan kimia. Metode Pembersihan Mekanis (Mechanical Cleaning):

Pembersihan Manual: Gunakan sikat logam, sikat plastik, atau alat pembersih lainnya untuk membersihkan fouling yang menempel di permukaan. Pembersihan dengan Jet Air Bertekanan Tinggi: Gunakan jet air dengan tekanan tinggi untuk membersihkan kotoran atau fouling yang keras pada pipa atau tube bundle. Pembersihan Bagian Luar dan Pipa (Jika Perlu). Permukaan luar dan pipa heat exchanger juga perlu dibersihkan untuk mencegah kontaminasi atau kerusakan yang mungkin disebabkan oleh penumpukan kotoran atau garam. Langkahnya adalah gunakan pembersih tekanan tinggi atau alat pembersih mekanis lainnya untuk membersihkan bagian luar alat dan saluran pipa. Periksa adanya korosi atau kerusakan struktural di bagian luar yang bisa menghambat kinerja alat.

Pemeriksaan Ulang dan Pengujian.

Setelah pembersihan, lakukan pemeriksaan untuk memastikan bahwa tidak ada fouling yang tersisa dan alat dalam kondisi baik untuk digunakan kembali. Langkahnya adalah periksa kembali semua komponen internal dan eksternal untuk memastikan tidak ada bagian yang rusak atau terdeformasi. Uji tekanan pada sistem untuk memastikan tidak ada kebocoran setelah alat dipasang kembali. Uji kinerja heat exchanger untuk memastikan transfer panas kembali optimal.

4. Pemasangan Kembali dan Pengujian Operasional.

Langkahnya yaitu pasang kembali semua komponen heat exchanger, termasuk pipa, cover,

dan sambungan. Pastikan semua segel dan gasket terpasang dengan benar untuk mencegah kebocoran. Lakukan uji coba operasi, termasuk pengukuran suhu, tekanan, dan aliran untuk memastikan sistem berfungsi dengan baik.

5. Pasca Pembersihan:

Dokumentasi Pembersihan penting untuk pelacakan dan perencanaan pemeliharaan di masa depan. Catat jenis fouling, bahan kimia yang digunakan, waktu pembersihan, dan kondisi alat setelah pembersihan.

Pengecekan Sistem Pengelolaan Limbah bahan pembersih kimia bisa berbahaya bagi lingkungan. Pastikan bahan kimia atau limbah pembersih dibuang dengan cara yang aman dan sesuai dengan prosedur pengelolaan limbah yang berlaku.

4. Penutup

Kesimpulan

Hasil penelitian menghasilkan beberapa kesimpulan sebagai jawaban dari masalah yang diungkapkan pada adalah sebagai berikut:

1. Menjawab persoalan masalah yaitu ketidak stabilan suhu hasil pendinginan dari alat penukar kalor yang menyebabkan kinerja unit tidak optimal.
2. Menjawab persoalan kedua yaitu penyebab alat penukar panas tidak optimal adalah ditemukan kotoran fouling pada permukaan pipa pipa dapa tube and shell heat exchanger. Hal ini di sebabkan pelaksanaan perawatan tidak berjalan dengan sepenuhnya
3. Menjawab persoalan ketiga yaitu terjadi untuk peningkatan efisiensi alat penukar panas adalah dengan mengembalikan sistem perawatan preventive yaitu melaksanakan pengecekan secara berkala baik mingguan, bulanan dan tahunan. Secara detil dan terperinci telah di analisis dan di bahas pada bab 4 beserta langkah-langkah dan persiapan dalam pembersihan fouling pada body dan permukaan unit penukar panas dan shell tube.

Saran

1. Pemeliharaan Preventif Rutin

Agar menerapkan jadwal pemeliharaan preventif yang teratur, termasuk pemeriksaan mingguan, bulanan, dan tahunan untuk

mendeteksi masalah lebih awal. Hal ini penting untuk mencegah penurunan kinerja yang disebabkan oleh fouling, kebocoran, atau kerusakan struktural. Pemeliharaan yang proaktif mengurangi biaya perbaikan besar dan downtime yang tidak terduga, serta memastikan operasi yang lancar.

2. Pemantauan Kondisi Alat Secara Real-Time
Investasikan dalam sistem pemantauan real-time untuk suhu, tekanan, aliran fluida, dan tingkat fouling di dalam *heat exchanger*. Sistem pemantauan ini memungkinkan identifikasi masalah sejak dini dan memberikan data untuk analisis kinerja. Pemantauan secara real-time memungkinkan deteksi dini terhadap penurunan efisiensi atau masalah yang dapat berkembang menjadi kegagalan besar. Hal ini juga membantu dalam pengambilan keputusan yang lebih cepat terkait perawatan.

3. Gunakan Bahan Kimia yang Tepat untuk Pembersihan

Sesuaikan bahan kimia pembersih yang digunakan dengan jenis fouling yang ada. Misalnya, gunakan asam sitrat untuk skala kalsium karbonat dan biocides untuk biofouling. Pastikan juga bahan kimia yang digunakan aman bagi peralatan dan tidak merusak material. Penggunaan bahan kimia yang tidak sesuai dapat menyebabkan kerusakan pada *heat exchanger* atau menurunkan efisiensi pembersihan. Pemilihan bahan kimia yang tepat akan memastikan pembersihan lebih efektif dan aman.

4. Latih Operator dan Tim Pemeliharaan

Lakukan pelatihan berkala untuk operator dan tim pemeliharaan mengenai teknik pembersihan, identifikasi masalah, dan pengoperasian *heat exchanger*. Pelatihan ini juga harus mencakup prosedur keselamatan untuk menangani bahan kimia dan alat bertekanan. Operator yang terlatih dengan baik dapat melakukan deteksi dini terhadap masalah, meminimalkan kesalahan operasional, dan melakukan perawatan dengan lebih efektif. Ini juga dapat meningkatkan keselamatan kerja di lapangan.

5. Monitoring dan Kontrol Kualitas Air

Jika menggunakan air laut atau air yang mengandung bahan kimia, pastikan kualitas air yang masuk ke *heat exchanger* selalu terjaga.

Gunakan sistem filtrasi atau softener untuk mengurangi risiko fouling akibat partikel atau mineral yang terkandung dalam air. Kualitas air yang buruk dapat mempercepat pembentukan fouling, meningkatkan frekuensi pembersihan, dan menurunkan efisiensi transfer panas. Pengendalian kualitas air yang baik mengurangi biaya operasional dan meningkatkan umur peralatan.

6. Gunakan Teknologi Anti-Fouling

Pertimbangkan penggunaan teknologi anti-fouling seperti lapisan khusus atau bahan anti-biofouling pada permukaan *heat exchanger*. Teknologi ini dapat mengurangi pembentukan fouling, terutama biofouling, yang bisa memperburuk kinerja *heat exchanger* dan meningkatkan frekuensi pembersihan. Beberapa teknologi juga dapat mengurangi kebutuhan untuk bahan kimia pembersih.

7. Lakukan Analisis Data Secara Berkala

Lakukan analisis data kinerja secara berkala untuk memantau tren penurunan efisiensi atau perbedaan suhu/tekanan yang tidak biasa. Gunakan perangkat lunak atau sistem analitik untuk mendeteksi anomali yang bisa menunjukkan masalah yang mendalam. Analisis data yang sistematis akan membantu pihak industri untuk mengidentifikasi potensi masalah lebih awal dan merencanakan perawatan lebih efektif. Hal ini juga memungkinkan perencanaan pemeliharaan yang lebih baik berdasarkan data historis.

8. Periksa dan Ganti Komponen yang Usang

Secara teratur periksa komponen seperti gasket, seal, dan pipa untuk tanda-tanda keausan. Ganti komponen yang sudah usang atau rusak sebelum menyebabkan masalah lebih besar. Komponen yang aus atau rusak, seperti gasket, dapat menyebabkan kebocoran fluida, mengurangi efisiensi *heat exchanger*, atau bahkan menyebabkan kegagalan sistem. Penggantian komponen secara teratur mengurangi risiko kegagalan mendadak.

9. Optimalkan Desain Sistem

Evaluasi desain sistem *heat exchanger* secara berkala untuk memastikan bahwa sistem masih sesuai dengan kebutuhan operasional dan perubahan kondisi proses. Misalnya, lakukan penyesuaian pada aliran fluida atau konfigurasi pipa jika diperlukan. Sistem yang tidak optimal

dapat menyebabkan beban kerja yang lebih berat pada *heat exchanger*, mempercepat pembentukan fouling, atau mengurangi efisiensi transfer panas. Desain yang lebih baik dan lebih sesuai dengan kondisi operasional akan meningkatkan kinerja dan umur panjang alat.

10. Implementasi Teknologi Baru

Pertimbangkan untuk mengadopsi teknologi baru dalam hal *heat exchanger*, seperti *heat exchanger* dengan desain yang lebih efisien, atau teknologi canggih untuk pembersihan otomatis dan pemantauan kondisi. Teknologi baru sering kali lebih efisien dalam mengurangi fouling, meningkatkan transfer panas, dan mengurangi biaya operasional dalam jangka panjang. Penerapan teknologi terbaru akan memberikan keuntungan kompetitif bagi industri.

Dengan melaksanakan langkah-langkah pemeliharaan yang tepat dan berkesinambungan, pihak industri dapat memaksimalkan efisiensi *heat exchanger*, memperpanjang umur alat, dan mengurangi biaya operasional yang tidak perlu. Prosedur pemeliharaan preventif yang terjadwal dengan baik, pemantauan yang cermat, dan pemilihan teknologi yang sesuai adalah kunci untuk menjaga kinerja alat dalam jangka panjang.

5. Daftar Pustaka

- [1] Abdel-Khalik, S. E., Sadiq, M. A., & Rahman, M. (2020). *The effects of thermal fatigue on the performance of heat exchangers*. International Journal of Thermal Science, 151, 106337. <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2020.106337>
- [2] Kern, Donald Q. 1982. *Process Heat Transfer*. Mc Graw-Hill International Book Company. Singapore
- [3] Sitompul, Tunggul M. 1993. Alat Penukar Kalor (*Heat Exchanger*). PT. Raja Grafindo Persada. Jakarta: *Guideline for Reusable Parts and Salvage Operation untuk water pump*, Media Number SEBF8058-03
- [4] Hwang, S. B., & Lee, J. K. (2020). *The impact of flow arrangement and distribution on heat exchanger efficiency*.

- Heat Transfer Engineering, 41(6), 448-460. <https://doi.org/10.1080/01457632.2019.1698934>
- [5] Jones, M. D., Smith, J. R., & Davis, T. P. (2017). *Operational problems and maintenance of heat exchangers in industrial applications*. Journal of Industrial Heat Transfer, 22(1), 85-98. <https://doi.org/10.1016/j.jiht.2017.07.001>
- [6] McDonald, J. S. (2019). *The effect of fouling on heat exchanger performance*. Journal of Thermal Engineering, 45(3), 234-245. <https://doi.org/10.1016/j.jthermeng.2019.01.013>
- [7] Nurhidayati. Thesismylife. Blogspot.co.id, *Manajemen Pemeliharaan Mesin-Mesin Produksi*
- [8] Torres, C. F., & Silva, R. B. (2016). *The role of surface modification techniques in enhancing heat exchanger performance*. Journal of Surface Engineering and Materials, 10(3), 245-259. <https://doi.org/10.1016/j.surengmat.2016.06.004>
- [9] Zhang, P., Lee, J. K., & Zhou, Y. (2021). *Heat exchanger performance degradation: A study of the effects of overheating and operational conditions*. Applied Thermal Engineering, 179, 115123. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2020.115123>