

Analisa Kegagalan Heat Exchanger 212-E9

Failure Analysis of a Heat Exchanger 212-E9

Dedi Wardianto^{1*}, Karnova Yanel², Asmara Yanto³

^{1,2,3} Department of Mechanical Engineering, Institut Teknologi Padang
Jl. Gajah Mada Kandis Nanggalo, Padang, Indonesia

[doi.10.21063/jtm.2021.v11.i2.124-131](https://doi.org/10.21063/jtm.2021.v11.i2.124-131)

Correspondence should be addressed to wardiantodedi71@gmail.com

Copyright © 2021 D. Wardianto. This is an open access article distributed under the CC BY-NC-SA 4.0.

Article Information

Received:

August 28, 2021

Revised:

October 15, 2021

Accepted:

October 22, 2021

Published:

October 31, 2021

Abstract

Heat Exchanger 212-E9 is one part of the working fluid Debutanizer unit with seawater on inner tubes and H₂S on the outside of the tubes. These tubes have failed in the form of leakage. Here the analysis of leakage and the remaining life of the tubes are based on data from the inspection and analysis of general corrosion of the tubes. Part inlet tube erosion-corrosion as well as there are some leaks in the tubes. From the results of inspections in the field, erosion-corrosion of the inlet tube caused by the flow of seawater on the inlet tube containing a solution/coarse material. While the leakage that occurs in tubes due to the H₂S concentration is too high, which is equal to 2 mol % H₂S. In fact, the recommended H₂S concentration is 0.32 mol % H₂S. The high level of concentration of H₂S is not suitable with the level of material resistance tubes. In the analysis of remaining life obtained maximum corrosion rate in the tubes of 0.2372 mm/year. With the usage time now is 6 year obtained remaining life of 2.5 year again. Referring to the results of the analysis of leakage and remaining life on the tubes is recommended that a filtering of the seawater before entering into the tubes and provide tubes protector on the inlet tube so that tubes are protected from erosion-corrosion, and which is necessary to regulate the level of concentration of H₂S Heat Exchanger flowing at the recommended standards.

Keywords: Heat Exchanger 212-E9, H₂S, leaks, corrosion rate, remaining life

1. Pendahuluan

Pada salah satu equipment pada unit Hydrocracking Complex (HC) yakni Heat Exchanger memiliki masalah pada sisi tube. Heat Exchanger memiliki peranan penting dalam perpindahan panas dari suatu sistem ke sistem yang lain tanpa terjadi perpindahan massa. Pada Heat Exchanger 212-E9 terdapat masalah atau kegagalan yakni adanya kebocoran pada tube Heat Exchanger 212-E9 [1-3]. Kegagalan pada tube ini adalah salah satu dari berbagai permasalahan pada unit pengolahan pada industri migas. Hal ini tentu memiliki konsekuensi terhadap pendeknya

umur pemakaian (*shortened service life*) dan meningkatkan pengeluaran (*increased cost*) baik dari segi penggantian equipment, heat loss yang meningkat dan terganggunya sistem pada unit HC [4-6].

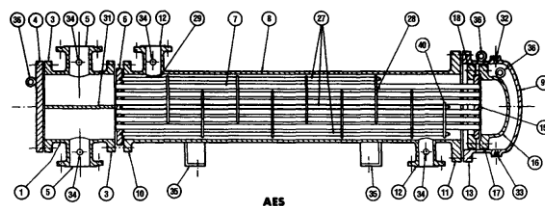
Adapun tujuan dari analisa pada penelitian ini adalah menentukan jenis kegagalan pada Heat Exchanger 212-E9, mengetahui faktor-faktor penyebab terjadinya kegagalan pada Heat Exchanger 212-E9, menentukan variabel-variabel yang digunakan untuk menganalisa kegagalan pada Heat Exchanger 212-E9 dan memberikan saran atau rekomendasi untuk mengatasi kegagalan pada Heat Exchanger 212-E9.

2. Materi dan Metode

Heat Exchanger adalah suatu peralatan penukar panas antara dua fluida yang berbeda temperatur dan panasnya, dimana satu fluida memberikan panas sedangkan yang lainnya menerima panas (Kakac and Hongtan, 2002) [7]. *Heat Exchanger* ini biasa digunakan pada banyak aplikasi. Diantaranya produksi energi, proses kimia, dan produksi makanan, industri manufaktur, dan lain-lain. *Heat Exchanger* memiliki kriteria sebagai berikut :

1. *Recuperator/Regenerator*,
2. Proses Transfer: kontak langsung dan kontak tidak langsung,
3. Kontruksi Geometri: *tube*, *plate*, dan luas permukaan,
4. Mekanisme *Heat Transfer*: satu *phase* dan dua *phase*,
5. Pengaturan aliran: aliran paralel, aliran *counter*, dan aliran *crossflows*.

Ada berbagai macam jenis *Heat Exchanger* sesuai fungsi dan kegunaannya, salah satunya adalah jenis *Shell and Tube* yang dapat dilihat pada Gambar 1.



- | | |
|---|--|
| 1. Stationary Head-Channel | 21. Floating Head Cover-External |
| 2. Stationary Head-Bonnet | 22. Floating Tubesheet Skirt |
| 3. Stationary Head Flange-Channel or Bunnet | 23. Packing Box |
| 4. Channel Cover | 24. Packing |
| 5. Stationary Head Nozzel | 25. Packing Gland |
| 6. Stationary Tubesheet | 26. Latern Ring |
| 7. Tubes | 27. Tierods And Spacers |
| 8. Shell | 28. Transvers Baffel Or Support Plates |
| 9. Shell Cover | 29. Impingement Plate |
| 10. Shell Flange-Stationary Head End | 30. Longitudinal Baffel |
| 11. Shell Flange-Rear Head End | 31. Pass Partition |
| 12. Shell Nozzel | 32. Vent Connection |
| 13. Shell Cover Flange | 33. Drain Connection |
| 14. Expantion Joint | 34. Instrument Connection |
| 15. Floating Tubesheet | 35. Support Saddle |
| 16. Floating Head Cover | 36. Lifting Lug |
| 17. Floating Head Cover Flange | 37. Support Bracket |
| 18. Floating Head Backing Device | 38. Weir |
| 19. Split Shear Ring | 39. Liquid Level Connection |
| 20. Slip-On Backing Flange | 40. Floating Head Support |

Gambar 1. *Heat Exchanger* menurut TEMA

Adapun beberapa fungsi bagian *Heat Exchanger* menurut TEMA yang harus diketahui adalah [8]:

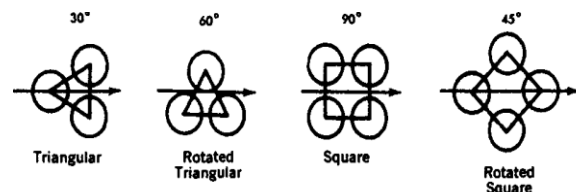
1. Tube

Tube berfungsi sebagai tempat/media mengalirnya salah satu dari dua fluida yang melakukan perpindahan panas. Pada *Heat Exchanger* 212-E9 ini *tube* dialiri oleh air laut (*seawater*) yang berfungsi sebagai media pendingin untuk gas buang yang di kondensasi dari Vessel 12 yang berupa gas H_2S . *Tube* yang digunakan harus tahan terhadap korosi yang di akibatkan oleh air laut, maka *tube* pada *Heat Exchanger* 212-E9 ini terbuat dari bahan paduan Copper dan Nickel dengan perbandingan 70-30. Tebal *tube* dinyatakan dengan kode BWG (Birmingham Wire Gauge), makin besar bilangan BWG, maka makin tipis tubenya. Adapun ukuran *tube* yang umum digunakan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Ukuran *tube* menurut TEMA R

O.D. Inches (mm)	Copper and Copper Alloys	Carbon Steel, Aluminum and Aluminum Alloys	Other Alloys
	B.W.G.	B.W.G.	B.W.G.
1/4 (6.4)	27 24 22	- - -	27 24 22
3/8 (9.5)	22 20 18	- - -	22 20 18
1/2 (12.7)	20 18	- -	20 18
5/8 (15.9)	20 18 16	18 16 14	20 18 16
3/4 (19.1)	20 18 16	16 14 12	18 16 14
7/8 (22.2)	18 16 14 12	14 12 10	16 14 12
1 (25.4)	18 16 14	14 12 -	16 14 12
1-1/4 (31.8)	16 14	14 12	14 12
1-1/2 (38.1)	16 14	14 12	14 12
2 (50.8)	14 12	14 12	14 12

Tube terpasang pada *tube sheet* dengan *pitch* 1,25 *outside diameter*. Standar posisi *tube* di dalam *Heat Exchanger* dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Posisi *tube* *Heat Exchanger* menurut TEMA R

2. Shell dan Shell Cover

Shell dan *Shell Cover* memiliki fungsi sebagai tempat mengalirnya dua fluida yang akan dipertukarkan panasnya. Penggunaan *shell* dan *shell cover* harus sesuai dengan keadaan *tube* yang akan ditempatkan di dalamnya dan harus sesuai standard TEMA. *Shell thickness* ditentukan oleh kode standard desain, serta

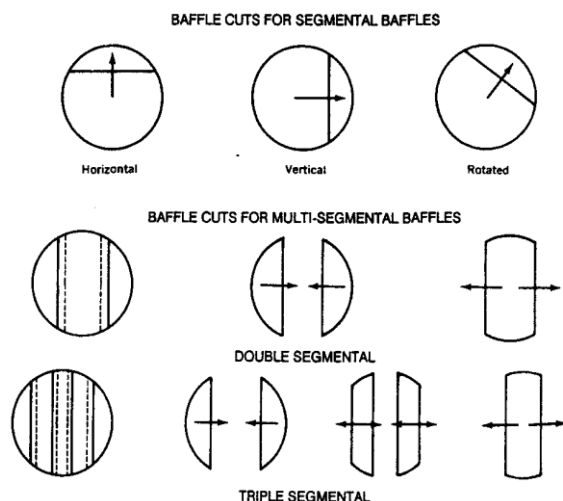
batas korosi yang diizinkan, tapi untuk *nominal thickness* dapat di lihat pada Tabel 2. Total *nominal thickness* untuk pelapisan *shell* harus sama untuk *shell* baja karbon.

Tabel 2. *Nominal thickness dalam inch (mm)*

Nominal Shell Diameter		Minimum Thickness			
		Carbon Steel		Alloy *	
		Pipe	Plate		
6	(152)	SCH. 40	-	1/8	(3.2)
8 - 12	(203-305)	SCH. 30	-	1/8	(3.2)
13 - 29	(330-737)	SCH. STD	3/8	3/16	(4.8)
30 - 39	(762-991)	-	7/16	1/4	(6.4)
40 - 60	(1016-1524)	-	1/2	5/16	(7.9)
61 - 80	(1549-2032)	-	1/2	5/16	(7.9)
81 - 100	(2057-2540)	-	1/2	3/8	(9.5)

3. Baffles dan Support Plate

Baffles berfungsi sebagai pengubah aliran fluida yang masuk ke dalam *shell* dan sebagai tempat letaknya *tube*. Bentuknya berupa piringan dan terdapat lobang sesuai alur penempatan *tube*. Berikut adalah tipe-tipe dari *baffles segment* atau *multi segment* sesuai standard TEMA (*Gambar 3*).



Gambar 3. Bentuk-bentuk *baffle plate*

4. Tie Rods dan Spacer

Tie rod dan *spacer* ini berfungsi untuk mengikat sistem *baffle plate* menjadi satu dan tetap berada pada posisinya.

5. Floating head Cover

Floating mengembalikan aliran fluida yang melalui *tube side* agar terjadi pengaliran aliran fluida tersebut.

6. Nozzles

Nozzle berfungsi untuk saluran masuk dan keluar fluida kedalam *shell* dan kedalam *tube*.

7. Channel

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

8. Impingement Baffle

Berfungsi untuk menahan aliran fluida agar tidak langsung mengenai *tube* atau *shell* yang dapat mengakibatkan erosi pada *tube* atau *shell*.

Adapun cara kerja dari *Heat Exchanger* adalah: (1). Fluida yang masuk ke dalam *tube*. Air laut masuk dari *inlet stationary head nozzle*, hingga fluida masuk ke dalam *channel* dan diteruskan ke dalam *tube*, dan dari *tube* ini fluida diarahkan ke sisi *floating* untuk di keluarkan pada bagian *outlet stationary head nozzle*. (2) Fluida yang masuk ke dalam *shell*. Adapun fluida yang masuk ke dalam *shell* adalah gas buang yang dikondensasi dari Vessel 12 berupa gas H_2S . Gas ini masuk dari *inlet shell nozzle* kemudian diarahkan oleh *baffle plate* sampai gas ini keluar melalui *outlet shell nozzle*.

Perawatan Heat Exchanger

- Inspection of Unit

Adapun langkah-langkah untuk pemeriksaan atau inspeksi *Heat Exchanger* dari TEMA adalah sebagai berikut [9]:

1. Indikasi terhadap kotoran

Heat Exchanger harus dibersihkan dari kotoran atau *scale* secara periodik, karena *scale* pada *tube* dapat mengurangi efisiensi unit.

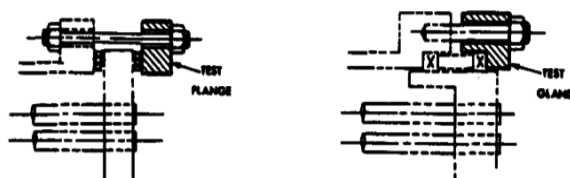
2. Pembongkaran untuk inspeksi atau pembersihan.

Sebelum pembongkaran, operator harus benar-benar yakin bahwa unit telah diturunkan tekanan katup dan mengeringkannya.

3. Mencari kebocoran *tube*

Adapun langkah-langkah untuk mengetahui kebocoran *tube* adalah sebagai berikut:

- Buka *channel cover* dan pasangkan *hydraulic pressure* pada *shell*.
- Pasang *test flange* atau *test gland* yang dapat dilihat pada Gambar 4.
- Pasangkan *hydraulic pressure* pada *shell* dengan nama *test ring*. *Test ring* ini berfungsi untuk melihat kebocoran pada *tube* (Gambar 5).
- Gunakan temperatur 60°F (16°C)



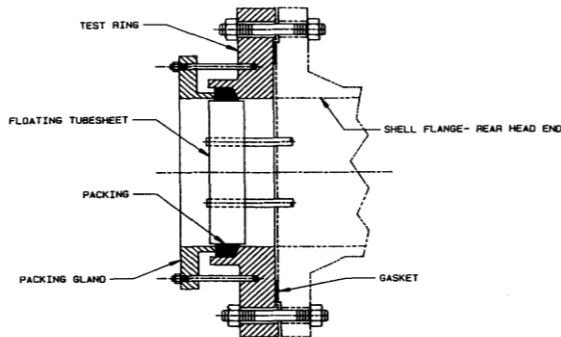
Gambar 4. *Test Flange* dan *Test Gland*

- Pembersihan *Tube Bundles*

Adapun metode pembersihan *tube bundle* adalah sebagai berikut:

- Sirkulasikan pelumas panas untuk menghilangkan *sludge* atau *deposit*.
- Penggaraman dapat di bersihkan dengan air bersih.

- c. Bersihkan dengan *water jet* bertekanan tinggi.
- d. Gunakan *scrape*, sikat kawat atau pembersih mekanik lainnya untuk menghilangkan *scale* yang keras, *coke*, atau *deposit* lainnya.
- e. Lakukan pemeriksaan secara berkala.

Gambar 5. Penggunaan *test ring*

- *Tube Expanding*

Yang dimaksud *tube expanding* adalah membesarkan atau memuaikan ujung *tube* dengan *tubesheet* agar tidak ada rongga antara *tube* dan *tubesheet*. Hal ini dilakukan pada kedua ujung *tube* yang berada pada *channel cover* dan *floating tubesheet*.

- *Penggantian Gasket*

Penggantian *gasket* harus dilakukan supaya tidak adanya kebocoran setelah pembongkaran *Heat Exchanger*. *Gasket* yang digunakan harus sesuai dengan standard.

- *Penggantian Komponen*

Komponen yang digunakan harus sesuai dengan standar dan harus asli.

- *Plugging Of Tube*

Hal ini bertujuan untuk tidak memfungsikan lagi *tube* yang bocor. Maksimum jumlah plug yang diijinkan maksimum 10% dari total *tube*.

General Corrosion

General Corrosion adalah serangan terhadap permukaan logam yang umum yang dapat kita jumpai, baik sedikit atau tanpa adanya penetrasi lokal [10]. *General corrosion* adalah bentuk korosi yang data pengurangan berat bahan dapat digunakan untuk menentukan atau memperkirakan tingkat penetrasi yang akurat.

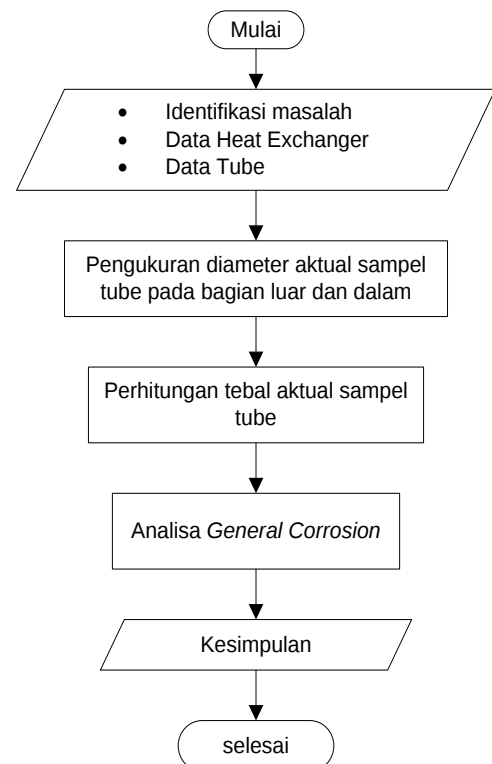
Korosi pada suatu logam adalah reaksi kimia atau elektrokimia antara permukaan logam dengan lingkungan. Korosi ini menyebabkan permukaan logam bertransformasi menjadi oksida atau hidrooksida (karat). Salah satu lingkungan yang dapat menyebabkan korosi adalah air laut. Cepat lambatnya korosi oleh air laut bergantung kepada *impurities* logam, temperatur, tempat masuk oksigen, kontak

logam dengan logam lain, kecepatan aliran air laut.

Dari *historical record*, terjadi beberapa masalah pada *Heat Exchanger* 212-E9 di antaranya adalah:

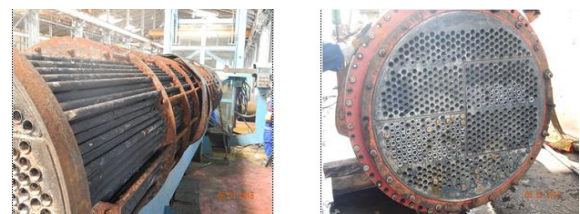
- Adanya kebocoran pada *tube*.
- Habisnya *catode protection*.

Langkah-langkah dalam analisa *general corrosion* seperti diagram alir yang diperlihatkan oleh Gambar 6.

Gambar 6. Diagram alir analisa *general corrosion*

Data Tube

Adapun data yang di dapat dari lapangan untuk menganalisa *General Corrosion* adalah data ukuran *tubes Heat Exchanger* 212-E9 yang telah dibongkar. Bentuk dari *Heat Exchanger* 212-E9 yang telah dibongkar ini dapat dilihat pada Gambar 7.

Gambar 7. *Heat Exchanger* 212-E9 yang sedang dibongkar

Kemudian diambil data *Outside Diameter* (OD) dan *Inside Diameter* (ID) untuk di bandingkan dengan *Exchanger Specification Sheet*.

Heat Exchanger 212-E9 memiliki *tubes* 70-30 Cu-Ni OD (*Outside Diameter*) 1 inch, BWG

(Birmingham Wire Gauge) 14, dengan spesifikasi berikut:

- Ketebalan (*Thickness*) = 0,083 inch
= 2,108 mm
- OD (*Outside Diameter*) = 25,4 mm
- ID (*Inside Diameter*) = 1 inch –
(0,083*2)
= 0,834 inch
= 21,18 mm
- Lama pemakaian, *T* = 6 tahun (*year*)

Untuk pengambilan data OD dan ID aktual pada *tube* dilakukan pengukuran OD dan ID dengan jangka sorong pada beberapa titik pengukuran seperti yang dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Ilustrasi lokasi /titik pengukuran atau pengambilan data

Untuk menghitung data digunakan persamaan sebagai berikut:

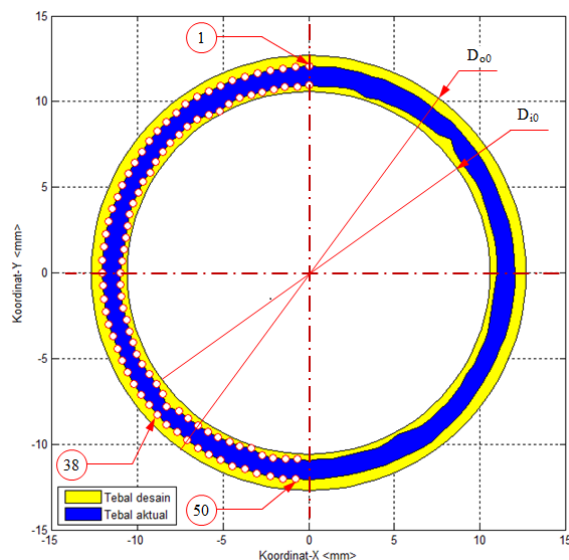
$$D_i = D_o - 2t_{dsg} \quad \dots (1)$$

dimana D_i adalah diameter dalam, D_o adalah diameter luar dan t_{dsg} adalah tebal desain.

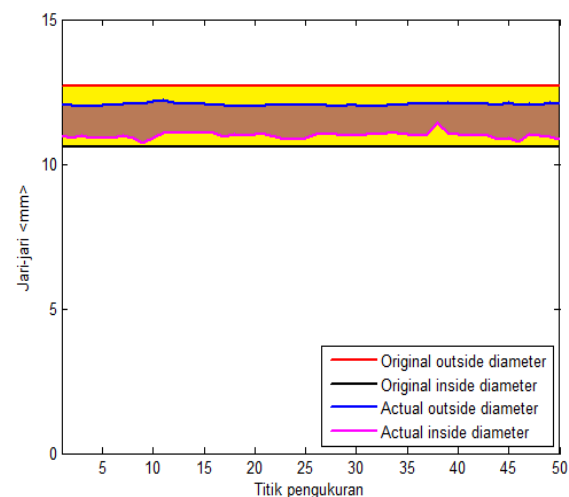
Kemudian ukur diameter luar awal dan diameter dalam awal *tube* sebanyak 50 titik pengukuran.

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil pengukuran OD dan ID aktual pada Gambar 8 dapat direpresentasikan pada model penampang *tube* seperti Gambar 9. Data ketebalan aktual *tube* pada setiap titik pengukuran dapat diilustrasikan kembali seperti pada Gambar 10.



Gambar 9. Model penampang *tube* dari hasil pengukuran ketebalan aktual OD dan ID dari sampel *tube*



Gambar 10. Ilustrasi OD dan ID *tubes* 70-30 Cu-Ni OD 1 inch, BWG 14.

Untuk menghitung tebal aktual *tube* dapat digunakan persamaan sebagai berikut:

$$(t_{act})_i = \frac{(D_{oa})_i - (D_{ia})_i}{2} \quad \dots (2)$$

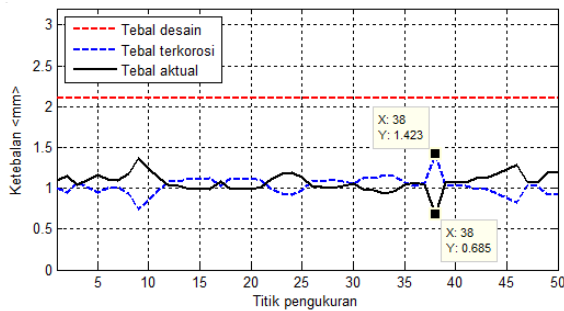
dimana $(t_{act})_i$ adalah tebal aktual ke-*i* (mm), $(D_{oa})_i$ adalah diameter luar ke-*i* (mm) dan $(D_{ia})_i$ adalah diameter dalam ke-*i* (mm) dengan *i* adalah titik pengukuran 1 sampai dengan 50.

Kemudian untuk menghitung tebal tekoroasi dapat menggunakan persamaan berikut:

$$(t_{cr})_i = t_{dsg} - (t_{act})_i \quad \dots (3)$$

di mana $(t_{cr})_i$ adalah tebal terkorosi ke-*i* (mm)

Perbandingan tebal desain, tebal terkorosi, dan tebal aktual *tube* dapat dilihat seperti pada Gambar 11.

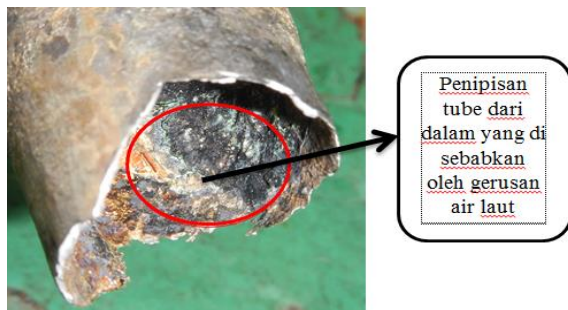


Gambar 11. Penampang tube yang terkorosi.

Dari Gambar 11 dapat diketahui bahwa *general corrosion* terjadi karena adanya penipisan *tube* pada bagian luar dan dalam, serta hasil pengamatan di lapangan juga terdapat erosi pada *tubes inlet*.

Penipisan dari Dalam dan dari Luar

Pada Gambar 12 dapat dilihat penipisan dari dalam *tube* disebabkan oleh air laut sebagai fluida *service* dari *Heat Exchanger* 212-E9. Walaupun material Cu-Ni 70-30 sangat tahan terhadap air laut dan gerusannya, akan tetapi dengan lamanya *tubes* tersebut dilalui oleh air laut maka permukaan bagian dalam *tube* menipis sekitar 0,1 mm/year, dan dari perhitungan *Corrosion Rate* bagian dalam di atas dapat kita lihat yang paling maksimal tekikis oleh aliran air laut adalah senilai 0,1383 mm/year.



Gambar 12. Penipisan tube dari dalam.

Penipisan dari luar *tube* terjadi disebabkan oleh H_2S . Hal ini terjadi karena H_2S yang dialirkan pada *Heat Exchanger* 212-E9 tidak sesuai dengan standard yang di rekomendasikan. Jumlah yang di standarkan adalah 0,32 mol % H_2S , akan tetapi di lapangan terdapat kandungan H_2S sebanyak 2 mol %. Hal yang seperti inilah yang menyebabkan korosi dan kebocoran pada *tubes* tersebut. Dari hasil perhitungan *Corrosion rate* bagian luar dapat kita lihat yang paling maksimal terjadi penipisan adalah senilai 0,1167 mm/year. Seperti pada Gambar 13 dan Gambar 14 melitahkan permukaan *tube* bagian luar yang terkena H_2S dan *Scaling* dari H_2S tersebut.

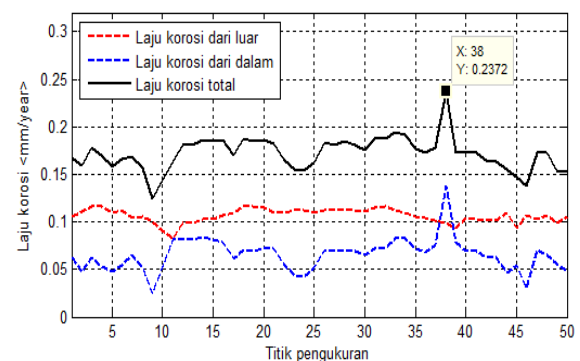
Gambar 13. Tube bagian luar yang terkena H_2S Gambar 14. *Scaling* pada tube *Heat Exchanger* 212-E9.

Untuk mengitung laju korosi dapat digunakan persamaan berikut:

$$(C_R)_i = \frac{(t_{cr})_i}{T} \quad \dots (4)$$

dimana $(C_R)_i$ adalah *Corrosion Rate* ke-*i* (mm/year).

Gambar 15 berikut menunjukkan ilustrasi laju korosi dari luar dan dalam.



Gambar 15. Ilustrasi laju korosi dari luar dan dalam

Korosi pada Tubes Inlet

Setiap korosi akan dipercepat terjadi apabila lapisan film terbuang/terlepas oleh kecepatan yang berlebih, larutan yang kasar atau terjadinya vibrasi. *Erosion-Corrosion* biasanya terjadi pada daerah *inlet tube*, di bawah *inlet nozzle* pada *shell* pada titik kontak antara *baffle*

dengan *tube* dan bagian dalam area U-Bend *tube*, khususnya pada ikatan U-Bend.

Pada saat dilakukannya inspeksi oleh bagian *Stationary* ke lapangan, ternyata pada ujung *tubes/inlet tubes* terdapat adanya korosi erosi. Korosi erosi pada *inlet tubes* ialah proses perusakan pada permukaan logam yang di sebabkan oleh aliran fluida yang sangat cepat. Korosi erosi dapat dibedakan pada 3 kondisi, yaitu :

- Kondisi aliran laminar
- Kondisi aliran turbulensi
- Kondisi peronggaan

Korosi erosi disebabkan oleh beberapa faktor, yaitu :

- a) Perubahan drastis pada diameter lubang bor atau arah pipa.
- b) Penyekat pada sambungan yang buruk pemasangannya.
- c) Adanya celah yang memungkinkan fluida mengalir di luar aliran utama.
- d) Adanya produk korosi atau endapan lain yang dapat mengganggu aliran laminar.

Adapun bentuk erosi yang terjadi pada *tube Heat Exchanger 212-E9* dapat dilihat pada Gambar 16.



Gambar 16. Erosi pada *tube inlet Heat Exchanger 212-E9*

Gambar 16 menunjukkan bahwa pada terjadinya erosi pada *tube inlet* yang mengakibatkan kerusakan dan kebocoran pada *tube* tersebut. Dari data *hystorical record* pada bagian *Stationary* diketahui bahwa *Heat Exchanger 212-E9* mampu bertahan selama 4 tahun, yang disebabkan oleh kebocoran pada *tube*. Setelah dilakukannya perbaikan perawatan, *Heat Exchanger 212-E9* di operasiakan kembali. Kemudian pada tahun ke-6 dilakukanlah pembongkaran serta pengantian *tube Heat Exchanger 212-E9* ini.

Untuk masalah erosi yang terjadi pada *tube Heat Exchanger 212-E9* dapat diminimalisir dengan penggunaan *tube protector*. *Tube Protector* adalah pelapis atau pelindung bagian *inlet* dari *tube*, supaya *tube* tidak cepat tererosi. Adapun bahan yang digunakan pada *tube protector* ini adalah SS 304 / 310 / 316 / 317 / 321 / 347 / 410 / duplex, Hastalloy, Cu-Ni 90/10, Cu-Ni 70/30, Titanium, Zirkonium,

Inconel 600, Zirkonium 702, Aluminium, Kuningan, Admiralty Kuningan, Aluminium Perunggu, akan tetapi pada *Heat Exchanger 212-E9* biasa menggunakan *tube protector* yang terbuat dari bahan teflon (politetrafluoroetilena / PTFE) seperti Gambar 17.



Gambar 17. Contoh *tube protector heat exchanger*

Remaining Life

Dari data yang di dapat dari hasil pengukuran dan pengolahan data, maka dapat ditentukan *remaining life Heat Exchanger 212-E9* sebagai berikut :

Dengan menentukan *corrosion rate* (CR), dimana *thickness design* dari *tube* normal dikurangi dengan *maximal thickness* dari *actual thickness* dan dibagi dengan lamanya *Heat Exchanger 212-E9* beroperasi. Maka *remaining life* dari *Heat Exchanger 212-E9* dapat di tentukan dengan membagi *thickness* dari CR_{max} dibagi dengan CR_{max} dari pengolahan data.

Untuk mengetahui dan menghitung *corrosion maximal* dari *tube* dapat digunakan persamaan berikut :

$$CR_{max} = \max [(CR)_i] \quad \dots (5)$$

dimana CR_{max} adalah *corrosion rate maximal* dan $\max [(CR)_i]$ adalah nilai maksimal dari *corrosion rate* ke-*i*

Untuk menghitung *remaining life* dari *tube* dapat digunakan persamaan berikut:

$$(RL)_i = \frac{(t_{dsg})_i}{(CR)_i} \quad \dots (6)$$

dimana $(RL)_i$ adalah *remaining life* ke-*i* (year)

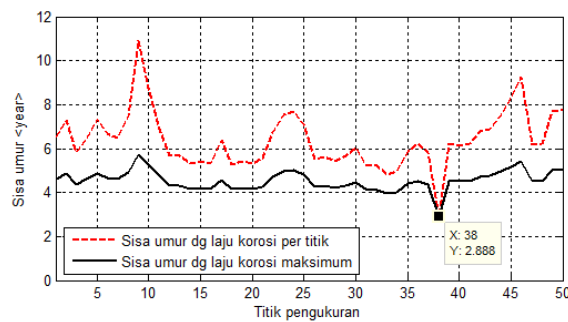
Kemudian untuk menghitung *remaining life* minimum dapat digunakan persamaan berikut:

$$RL_{min} = \min [(RL)_i] = \frac{t_{dsg} - (t_{act})_{min}}{CR_{max}} \quad \dots (7)$$

dimana RL_{min} adalah *remaining life minimum* (year) dan RL_{min} adalah nilai minimum dari *remaining life* ke-*i* (year).

Adapun ilustrasi *remaining life tube Heat Exchanger 212-E9* dengan laju korosi per titik

dan laju korosi maksimum dapat dilihat pada Gambar 18.



Gambar 18. Ilustrasi *remaining life tube* Heat Exchanger 212-E9 dengan laju korosi per titik dan laju korosi maksimum

Dari *historical record* Heat Exchanger 212-E9 bahwa *equipment* tersebut bocor pada tahun ke 4, namun setelah dilakukannya perbaikan, Heat Exchanger tersebut dapat beroperasi lagi, dan sekarang Heat Exchanger itu telah beroperasi selama 6 tahun. Dan dari perhitungan di atas dapat diketahui bahwa Heat Exchanger 212-E9 mampu bertahan selama 2,89 tahun atau setara dengan 2,5 tahun lagi.

4. Simpulan

Adapun kesimpulan yang dapat ditarik dari analisa kegagalan Heat Exchanger 212-E9 ini adalah Heat Exchanger 212-E9 ini terletak pada *Plant Debutanizer*, yang berfungsi sebagai alat untuk mengalirkan energi panas antara dua atau lebih fluida pada temperatur yang berbeda.

Adapun jenis kegagalan pada Heat Exchanger 212-E9 adalah kebocoran pada *tube* yang mengakibatkan adanya kandungan gas pada air laut. Terjadi korosi dari dalam *tube* (*internal corrosion*) yang disebabkan oleh air laut karena lamanya *tube* dilalui atau dilewati oleh air laut yang mengakibatkan permukaan *tube* bagian dalam menipis sekitar 0,1 mm/year.

Corrosion rate dari *internal corrosion tube* maksimum 0,1383 mm/year. Terjadinya korosi dari luar *tube* (*external corrosion*) yang disebabkan oleh aliran H_2S yang dialirkan tidak sesuai dengan standard yang seharusnya 0,32 mol % H_2S . Namun, dilapangan diketahui terdapat 2 mol % H_2S , hal inilah yang mengakibatkan *tube* bagian luar menipis, sehingga terjadinya kebocoran pada *tube*.

Corrosion rate dari *external corrosion tube* maksimum 0,1167 mm/year. Terjadi erosi pada *inlet tube* yang disebabkan oleh aliran fluida yang sangat cepat dan bergelombang, sehingga mengakibatkan *inlet tube* tererosi. *Remaining Life* dari Heat Exchanger 212-E9 adalah 2,5 tahun.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada mitra bebestari yang telah menelaah artikel ini secara *blind review*.

Referensi

- [1] Anonim, Heat Exchanger Specification Sheet, item no.211- 212-E9.
- [2] API 510, 8th Ed., American Petroleum Institut 510.
- [3] ASM International, (1992): ASM Handbook (Corrosion), Vol. 13, ASM International, United State of America.
- [4] R.C. Byrne (1999): Standard Of The Turbular Exchanger Manufacturers Association, 8th Ed, Turbular Exchanger Manufacturers Association, Inc. New York.
- [5] W. Cool (2012): Metoda Inspeksi Heat Exchanger, Wage Cool, Indonesia. Di akses di [http://Wage_Cool_Metoda Inspeksi Heat Exchanger](http://Wage_Cool_Metoda%20Inspeksi%20Heat%20Exchanger).
- [6] Copper Development Association., (1982): Copper-Nickel 90/10 and 70/30 Alloy Technical Data, CDA Publication TN31, New York. Di akses di <http://www.copperalliance.org.uk/docs/librariesprovider5/resources/tn-31-cu-ni-90-10-and-70-30-pdf.pdf>.
- [7] S. Kakac and H. Liu (2002): Heat Exchangers: Selection, Rating, and Thermal Design, CRC Press, Washington.
- [8] Ensign Ltd. (1969): Ensign Tube Insert (Ferrules), Surrey. Di akses di <http://www.ensign-uk.com/heat-exchanger-tube-insert.html>.
- [9] R. Kumala (2011): Mengenal Korosi Dan Akibatnya, Serta Cara Pencegahannya Dalam Kehidupan Sehari-Hari, Indonesia. Di akses di <http://ratihkumalachachae.blogspot.com/2011/12/mengenal-korosi-dan-akibatnya-serta.html>.
- [10] V.P. Engginer (2011): Tube Inserts, India. di akses di <http://www.vpengineers.in/ptube.html>,