

ANALISA KOROSI PADA HEAT EXCHANGER E-4512 PT. ARUN NGL CO.

Irwin Syahri Cebro dan Sariyusda
Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Lhokseumawe

Abstrak

Heat Exchanger E-4512 adalah salah satu alat pemukar panas yang digunakan pada PT. Arun yang digunakan untuk mendinginkan atau menurunkan temperatur MCR (multi komponen refrigerant) dengan media pendingin air laut. Pada Heat Exchanger E-4512 ini terjadi kerusakan yaitu korosi terutama pada bagian seperti tube side, tube sheet, channel dan channel cover. Jenis korosi yang menyerang yaitu korosi sumur (pitting corrosion), korosi erosi (erosion corrosion) dan korosi galvanis (galvanic corrosion). kerusakan ini akan berakibat fatal mengingat fungsi dari Heat Exchanger merupakan pendukung utama proses produksi. Makalah ini menganalisa penyebab terjadinya korosi dan membahas hal-hal yang dapat dilakukan untuk mencegah terjadinya korosi berdasarkan kasus dilapangan dan kajian teoritis.

Kata Kunci : Korosi, Heat Exchanger E-4512, Fouling

PENDAHULUAN

PT Arun NGL Co. adalah produsen gas alam cair terbesar didunia pada saat ini adalah anak perusahaan dari Pertamina yang merupakan salah satu sumber devisa bagi negara, karena hasil produksinya yang sebagian besar merupakan komoditi ekspor. Untuk mengelola sebuah perusahaan yang bahan produksi dan hasilnya besar dan aktual diperlukan keamanan (*safety*) yang ketat dengan sebuah sistem manajemen handal pada setiap bagian untuk menjaga kelancaran proses produksi.

Heat Exchanger E-4512 adalah alat penukar panas yang merupakan salah satu peralatan pendukung utama proses produksi di PT Arun NGL Co, pada proses pengoperasiannya peralatan heat exchanger ini menggunakan media pendingin air laut yang diketahui bersifat korosif. Hal ini menyebabkan heat exchanger mengalami korosi pada beberapa bagian dari komponennya. Hal ini apabila tidak ditangani dengan baik akan berakibat kerusakan yang makin lama semakin parah dan rusak sehingga dapat menyebabkan terhentinya proses produksi.

Serangan korosi dapat menyebabkan kerusakan atau degradasi pada logam yang diakibatkan reaksi antara logam dengan lingkungan yang korosif. Makalah ini menganalisa penyebab

terjadinya korosi dari berbagai faktor dan kemungkinan untuk mencegah terjadinya korosi, khususnya pada heat exchanger E-4512 dengan media pendingin air laut.

TEORI DASAR

Definisi Korosi dan Akibatnya

Definisi umum tentang korosi dapat disingkat sebagai "kerusakan atau degradasi" suatu material, yang umumnya adalah logam akibat suatu proses reaksi dengan lingkungan. Dalam pembicaraan sehari-hari korosi lebih dikenal dengan istilah karat atau perkaratan [2].

Karena bereaksi dengan lingkungannya, sebahagian logam akan menjadi oksida, sulfide atau hasil reaksi yang lain yang dapat larut dalam lingkungan. Dengan bereaksi, sebahagian logam akan "hilang" menjadi suatu senyawa yang lebih stabil. Di alam, logam pada umumnya berupa senyawa karena itu peristiwa korosi juga dapat juga dapat dianggap sebagai peristiwa kembalinya suatu logam menuju bentuknya sebagaimana ia terdapat di alam [2].

Dalam kehidupan sehari-hari korosi dapat mengakibatkan kerugian-kerugian yang antara lain adalah :

- Hasil reaksi korosi yang menempel dipermukaan logam. Sering mengakibatkan penampilan yang kurang sedap dilihat.
- Dapat menimbulkan kebocoran, kelonggaran sehingga suatu peralatan tidak lagi dapat berfungsi dengan baik.
- Mengakibatkan berkurangnya kekuatan dan ketangguhan sehingga dapat menimbulkan akibat yang lebih serius, misalnya robohnya suatu konstruksi, meledaknya suatu pipa atau bejana bertekanan.
- Kerusakan pada suatu bagian peralatan seringkali dapat menghentikan seluruh proses produksi.
- Hasil korosi mungkin juga akan membuat pencemaran pada suatu produk, misalnya makanan atau minuman [5].

Mekanisme Korosi

Mekanisme terjadinya korosi dapat berlangsung dalam 4 proses, antara lain :

1. Adanya arus elektron dalam suatu penghantar listrik, dalam hal ini yaitu logam itu sendiri.
2. Adanya arus ion dalam lingkungan logam yaitu larutan yang bersifat elektrolit.
3. Proses anoda yaitu proses larutnya atom-atom ke dalam lingkungannya ion-ion dan disertai dengan pelepasan electron (reaksi oksidasi)
Contoh reaksi :

$$M \longrightarrow M^{n+} + ne^{-}$$

$$Fe \longrightarrow Fe^{2+} + e^{-}$$
4. Proses katoda yaitu proses penangkapan electron yang dilepaskan oleh proses anoda (reaksi reduksi) [5].

Faktor yang mempengaruhi korosi.

Reaksi korosi pada dasarnya merupakan interaksi dari suatu logam atau paduan dengan lingkungannya, dengan demikian faktor-faktor yang mempengaruhi korosi dapat dicari dengan meninjau logamnya sendiri dan lingkungan [5].

Faktor-faktor itu antara lain adalah :

1. Jenis dan konsentrasi elektrolit
2. Adanya oksigen terlarut didalam larutan elektrolit
3. Temperatur

4. Kecepatan aliran (gerakan elektrolit)
5. Jenis logam dan paduan
6. Adanya galvanic cell atau pasangan galvanik.
7. Adanya tegangan (tarik), baik berupa tegangan sisa maupun tegangan kerja.

Bentuk-bentuk Korosi

Klasifikasi korosi umumnya berdasarkan penampilan yang dapat dilihat dari permukaan logam yang berkarat secara visual. Beberapa bentuk korosi yang mengakibatkan kerusakan dalam bidang engineering [2].

1. Korosi merata (Uniform Corrosion)
2. Korosi galvanic (Galvanic Corrosion)
3. Korosi Celah (Crevice Corrosion)
4. Korosi lubang / sumur (Pitting Corrosion)
5. Korosi antara butir (Intergranular Corrosion)
6. Korosi serangan selektif (Selective Leaching)
7. Korosi erosi (Erosion Corrosion)
8. Korosi Tegangan (Stress Corrosion)

Heat Exchanger E-4512 (MCR inter cooler)

Salah satu dari 91 buah alat penukar panas yang dioperasikan pada kilang PT. Arun dengan media pendingin air laut adalah heat exchanger E-4512. Heat exchanger ini adalah jenis shell dan tube dengan tipenya A-E-L. Komponen utama dari heat exchanger jenis ini adalah tube bundle dan shell, tube bundle terdiri dari susunan tube yang teratur, dimana didalam tube tersebut mengalir fluida yang disebut tube side fluid, sedangkan shell adalah komponen yang membungkus tube bundle [4].

Fungsi dari heat exchanger ini adalah untuk mendinginkan atau menurunkan temperatur dari MCR (Multi Componen Refrigeran) dengan media pendingin air laut. Dimana perpindahan panas terjadi antara air laut yang melalui tube dengan MCR yang melalui shell pada sepanjang tube sehingga mencapai temperature seperti yang diinginkan Multi Componen Refrigerant (MCR) yang keluar dari kompressor yaitu first stage compressor (K-4x02) mempunyai temperature 70°C untuk proses selanjutnya diperlukan temperatur MCR sekitar 35°C yaitu pada second stage suction drum (D-4x10), untuk

proses tersebut digunakan penukar panas E-4512 dengan media pendingin air laut [3].

MCR masuk heat exchanger E-4512 masuk melalui shell dan mengalir sepanjang shell (tube bagian luar), dan secara bersamaan air laut masuk ke penukar air panas E-4512 melalui inlet nozzle pada channel, kemudian air laut mengalir melalui tube-tube kecil dengan kecepatan kurang lebih 1,28 m/s.

Sepanjang tube tersebut terjadi perpindahan panas, dimana temperature MCR masuk ke heat exchanger adalah sekitar 70°C, sedangkan sea water dengan temperature 35°C, dengan demikian akan terjadi pertukaran panas secara perlahan melalui permukaan tube seiring dengan mengalirnya kedua media tersebut sepanjang tube dan shell sehingga temperatur dari MCR turun sedangkan temperature air laut naik MCR keluar dari shell outlet dengan temperature 35°C sedangkan air laut keluar melalui tube pada channel dengan temperature 40°C.

PEMBAHASAN

Analisa Penyebab Korosi

Dalam menganalisa korosi pada heat exchanger E-4512, perlu diketahui faktor-faktor yang dapat menyebabkan terjadinya korosi.

Dalam kasus ini, yaitu heat exchanger E-4512 yang perlu diketahui adalah bentuk dari heat exchanger, proses yang terjadi didalamnya, material apa yang digunakan, media yang akan didinginkan serta media pendingin apa yang digunakan.

Selain itu temperature dari media kerja, kecepatan aliran fluida juga proteksi apa yang telah digunakan pada heat exchanger tersebut.

Tabel (1) menunjukkan data-data yang digunakan yang berhubungan dengan korosi diperoleh dari data sheet dan informasi yang dapat dipercaya adalah sebagai berikut:

- Jenis heat exchanger : Tube and shell
- Type heat exchanger : A-E-L

Tabel. 1 Spesifikasi heat exchanger E-4512

	Tube side		Shell Side	
Fluid Circulated	Sea Water		MCR / Mixed refrigerant	
Total fluid Interling	610.464 Kg/H		384.510 Kg/H	
	In	Out	In	Out
Velocity	-	1.28 m/s	-	-
Temperatur	29.4°C	40.6°C	69.4°C	35°C

Material :

- Tube : 90/10 Cu/Ni, B-359-C70600
- Tube Sheet : Carbon Steel (CS) + 90/10 Cu/Ni Clad
- Channel : CS + 90/10 Cu/Ni Clad + Thermoset Polyesther Resin
- Channel Cover : SD + 90/10 Cu/Ni Clad + Thermoset Polyesther Resin.
- Tube End Protector (Ferrule) : Teflon (TFE).

Dalam penganalisaan heat exchanger E-4512 ini dibagi dalam dua bagian yaitu bagian yang berhubungan dengan air laut yaitu tube, channel, tube sheet dan channel cover dan bagian yang berhubungan dengan MCR. Dalam hal ini yang di analisa adalah pada bagian yang berhubungan dengan air laut saja, sebab MCR adalah media yang tidak korosif, jadi pada shell dan tube bagian luar diperkirakan tidak terjadi korosi.

Korosi Pada Tube Side (Sisi dalam tube)

Tube side atau sisi dalam dari tube merupakan bagian yang sangat mudah terkorosi dan merupakan bagian yang sulit dideteksi, karena diameternya yang kecil ukurannya yang panjang serta tempatnya berada dibagian dalam dari heat exchanger, akibatnya bagian ini lebih mudah terjadi korosi.

Sebagaimana diketahui bahwa setiap material terutama logam selalu cenderung untuk terkorosi, karena korosi tidak dapat dihindari atau ditiadakan secara total, korosi hanya dapat diperlambat prosesnya.

Material dikatakan tahan korosi bukan berarti bahwa material tersebut tidak akan mengalami

korosi, tetapi material tahan korosi adalah material dapat memperlambat proses korosi dengan waktu yang sangat lama.

Demikian pula dengan paduan tembaga-nikel 90/10, walaupun paduan ini dikatakan tahan korosi, proses korosi pasti akan terjadi.

Dari buku tabel korosi (*Table Corrosion Book*), diperoleh data untuk paduan tembaga terhadap air laut (*sea water*) laju korosinya lebih kecil dari 20 mils penetrasi pertahun pada 15°C - 16°C, sedangkan untuk nikel laju korosinya terhadap air laut adalah 20 mils penetrasi pertahun pada temperature 15 C - 32 C.

Sebagaimana diketahui air laut adalah media pendingin yang sangat korosif, karena air laut mengandung unsur-unsur garam yang sangat berpengaruh terhadap berlangsungnya proses korosi.

Adapun komposisi dari air laut dapat dilihat pada tabel (2), selain itu air laut juga mengandung endapan lumpur, gas terlarut selain oksigen, bangkang binatang dan tumbuh-tumbuhan laut yang juga dapat menyebabkan terjadinya korosi dan fouling.

Adapun yang dapat menyebabkan fouling antara lain adalah :

- Endapan yang mengkristal, misalnya endapan yang mengandung kapur, endapan kalsium sulphat.
- Aliran yang bersifat alkali (asam, ammoniak dan amine)
- Lapisan produk korosi, Lumpur dan pasir
- Adanya binatang laut.

Pengaruh kecepatan aliran sebagaimana yang telah dijelaskan pada bagian terdahulu, secara umum untuk kecepatan aliran yang tinggi akan mempercepat terjadinya proses korosi, namun sebaliknya pada aliran yang lambat atau tenang justru akan dapat menyebabkan korosi jenis pitting.

Tabel (2) menunjukkan komposisi air laut dan unsur-unsur yang terdapat pada ai laut tersebut.

Tabel 2. Komposisi air laut (*sea water*)

Unsur	Konsentrasi, mg/L	% Garam total
Chloride	18,980	55,04
Bromide	65,000	0,19
Sulfate	2,649	7,68
Bicarbonate	140,000	0,41
Flouride	1,000	0,00
Boric Acide	26,000	0,07
Magnesium	1,272	3,69
Calcium	400,000	1,16
Strontium	13,000	0,04
Pottasium	380,000	1,10
Sodium	10,556	30,61
Total	34,482	99,99

Pada heat exchanger E-4512, dari data sheet kecepatan aliran keluar air laut dari tube adalah 1,28 m/s. Dari tabel 3 diperoleh batas kecepatan maksimum untuk material paduan tembaga-nikel pada tube adalah 3,3 m/s dan kecepatan minimum adalah 1,3 m/3, sedangkan menurut MRDC batas keceptan aliran untuk material tembaga-nikel 90/10 adlah 1,8 - 3,6 m/s.

Dengan demikian laju aliran pada heat exchanger E-4512 adalah sesuai, tetapi hal tersebut bukan berarti bahwa korosi tidak akan terjadi, sebab kecepatan aliran pada tube sewaktu-waktu dapat berubah akibat adanya tube yang sumbat oleh biologi laut, atau hal-hal yang lain.

Tabel (3) menunjukkan kecepatan maksimum pada material tube.

Tabel 3. Kecepatan maksimum pada material tube

Material	Kecepatan Maksimum (mps)
Copper-nickel	3,3
Stainless Steel	6,6
Nickel Alloys	6,6
Titanium, Zirconium	6,6

Pengaruh temperatur terhadap laju korosi secara umum, setiap kenaikan derajat temperature akan menaikkan laju korosi dari suatu material. Pada tube heat exchanger E-4512 temperatur berkisar

antara 29,4 – 40 6°C. Ajuran dari MRDC untuk temperature tube dengan material tembaga-nikel adalah dibawah 50 C, hal ini juga sesuai dengan keadaan pada tube heat exchanger E-4512. Dari uraian diatas diperkirakan jenis-jenis korosi yang diperkirakan terjadi pada tube heat exchanger diantaranya adalah :

1. Korosi sumur (pitting corrosion)

Jenis korosi ini diperkirakan dapat juga terjadi pada tube bagian tengah sampai akhir, karena pada bagian tersebut diperkirakan aliran fluida tidak secepat dengan pada awal tube, pada bagian tengah diperkirakan akan dapat juga terjadi bila tube melengkung pada bagian tersebut.

Perkiraan lain yang dapat menyebabkan terjadinya korosi pitting adalah, bila sebahagian dari tube tersumbat oleh biologi laut, dengan demikian aliran fluida tidak lagi seperti yang direncanakan yaitu akan lebih lambat. Akibat dari hal tersebut endapan (deposit) dengan mudah terjadi. Jenis-jenis endapan yang terjadi pada heat exchanger air laut dan komposisinya adalah :

- Green deposits {Cl, Cu, (CuCl₂, 2H₂O)}
- White deposits {S, Ca, Cl, (CaSO₄, 2H₂O)}
- Black deposits {Cl, Cu, Ca, O, Al, S, Mn}
- Copper colored deposits Cu

Dengan adanya deposit tersebut, didalam deposit tersebut dapat terjadi anoda dan katoda tergantung dari kekatodikkannya, dengan keadaan tersebut bila diantara deposit tersebut terdapat permukaan tube yang cacat akibat tergores oleh partikel yang keras maka kemungkinan akan terjadi perbedaan konsentrasi antara tempat cacat tersebut dengan disekelilingnya, dengan demikian proses korosi pitting akan terjadi, dimana daerah cacat tersebut mempunyai konsentrasi yang lebih rendah dengan yang disekitarnya akibatnya cacat tersebut akan terkorosi semakin dalam (anoda) sedangkan disekitarnya tidak terjadi korosi (katoda).

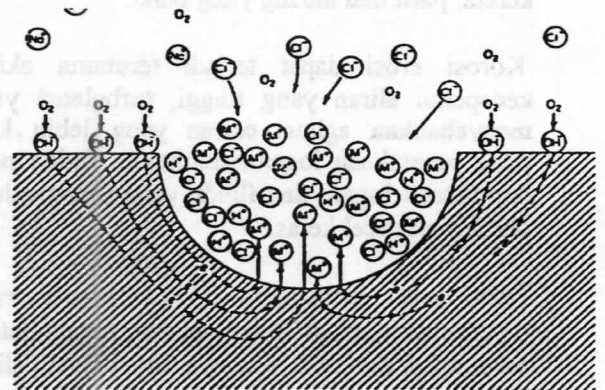
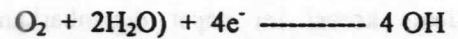
Jadi korosi pitting dimulai dengan terbentuknya cacat atau goresan, struktur / komposisi yang tidak sama. Selain itu akibat perbedaan konsentrasi oksigen dan konsentrasi ion-ion logam, juga dapat menginisiasi terjadinya jenis korosi ini. Gambar (1) menunjukkan tahap terbentuknya korosi pitting dalam lingkungan yang mengandung ion khlorida.

Mekanismenya adalah sebagai berikut :

Reaksi anodik berlangsung didalam pitting (pada bagian dasar).



Sedangkan reaksi katodik berlangsung dipermukaan logam disekitar pitting (sumur) :



Gambar 1. Tahap terjadinya korosi pitting

Kenaikan konsentrasi ion logam M didalam sumuran menghasilkan migrasi ion khlorida kedalam sumuran membentuk MCL, sehingga konsentrasi MCL menjadi tinggi, kemudian MCL tersebut mengalami hidrolisa :

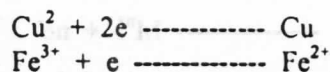


Terbentuknya ion hydrogen dan ion khlorida ini menjadi konsentrasi asam didalam sumuran (pitting) tinggi, sehingga reaksi anodik ini menjadi lebih cepat. Reaksi ini berlangsung terus menerus, dan reaksi menjadi otokatalitik.

Secara praktis, korosi sumur terjadi dalam lingkungan yang mengandung ion khlorida.

Khlorida dari ion logam tembaga (CuCl_2) dan besi (FeCl_3) lebih agresif dari pada khlorida dari ion logam natrium (NaCl) dan kalsium (CaCl_2).

Hal ini disebabkan tembaga khlorida tidak membutuhkan oksigen untuk memulai terjadinya reaksi. Ion logam-logam tersebut dapat direduksi langsung, seperti :



2. Korosi Erosi

Jenis korosi ini dapat digambarkan sebagai sayatan yang berbentuk alur, gelombang, jejak kereta, parit dan lubang yang bulat.

Korosi erosi dapat terjadi terutama akibat kecepatan aliran yang tinggi, turbulensi yang menyebabkan agitasi cairan yang lebih kuat pada permukaan logam, tumbukan fluida pada permukaan logam dan fluida yang mengandung partikel-partikel keras.

Pada heat exchanger E-4512 korosi erosi diperkirakan dapat terjadi akibat tersumbatnya sebahagian dari tube, hal ini menyebabkan aliran fluida tidak stabil, yaitu menjadi lebih cepat, dengan demikian dinding tube diperkirakan akan dapat ter-erosi.

Penyebab lain yang dapat mengakibatkan jenis korosi erosi yaitu adanya partikel-partikel abrasive yang dikandung oleh air laut.

Korosi pada tube sheet

Material tube sheet pada heat exchanger E-4512 adalah carbon steel yang dilclading dengan paduan tembaga-nikel.

Dengan keadaan tersebut proses korosi tidak mudah terjadi, karena sebagaimana dijelaskan pada bagian terdahulu bahwa paduan tembaga-nikel mempunyai ketahanan korosi yang cukup baik.

Sebagaimana pada tube, proses korosi diperkirakan dapat juga terjadi pada tube sheet.

Adapun jenis korosi yang diperkirakan terjadi pada tube sheet adalah jenis korosi pitting, erosi dan galvanis.

Jenis korosi pitting diperkirakan terjadi pada tube sheet terutama bagian bawah, karena partikel-partikel padat yang berat dapat terkumpul pada bagian tersebut dan akibatnya akan terbentuk endapan sehingga akan mengalami proses seperti pada tube.

Untuk jenis korosi erosi diperkirakan terjadi pada bagian tube akibat aliran fluida yang cepat, partikel padat dan tumbukan dari fluida.

Korosi galvanis diperkirakan terjadi bila lapisan cladding tembaga-nikel rusak hingga menembus material dasar yaitu carbon steel, akibat terjadi perbedaan potensial antara material cladding tembaga-nikel dengan material dasar carbon steel.

Pada kondisi tersebut yang termakan korosi adalah carbon steel karena lebih anodic sedangkan material cladding tembaga-nikel yang tersisa akan terlindung dari korosi karena lebih katodik.

Hal ini dapat juga terjadi pada sekitar tube yakni antara material tube paduan tembaga-nikel dengan material dasar dari tube sheet yaitu carbon steel.

Tetapi pada kenyataan korosi jenis ini tidak terjadi karena lapisan cladding tembaga-nikel tidak pernah terkorosi erosi hingga menembus material dasar.

Korosi pada channel dan channel cover

Material channel dan channel cover pada heat exchanger E-4512 adalah carbon steel yang dilclading dengan paduan tembaga-nikel ditambah dengan lapisan material non logam yaitu plastic Thermoset Polyesther Resin.

Ditinjau dari keadaan tersebut korosi tidak mudah terjadi pada channel dan channel cover,

tergantung pada ketahanan thermoset polyesther resin telah rusak maka diperkirakan korosi yang terjadi adalah korosi erosi, kemudian korosi pitting juga mungkin terjadi terutama pada bagian bawah, yaitu bagian yang mudah terjadi endapan.

Untuk korosi galvanis juga dapat terjadi yaitu apabila lapisan coating rusak menembus material cladding dan material dasar dari channel atau channel cover, tetapi hal ini sangat kecil kemungkinan untuk terjadi.

Pencegahan Korosi

Pencegahan korosi sebaiknya harus sudah dimulai sejak suatu produk untuk peralatan masih dalam perancangan, misalnya merancang ketebalan tube yang harus lebih tebal dari yang diminta oleh perhitungan kekuatan untuk memberikan *allowance* bila terkorosi, atau seberapa besar diameter tube agar dapat menahan korosi selama mungkin.

1. Mengganti material

Penggantian material di heat exchanger E-4512 berdasarkan perkiraan korosi yang terjadi meliputi : tube, tube sheet, channel dan channel cover, tetapi pada kasus in yang terpenting adalah material untuk tube.

Perlu diketahui bahwa setiap material masing-masing mempunyai kelebihan dan kekurangan terhadap lingkungan yang korosif, oleh sebab itu pemilihan yang teliti dan cermat dengan meninjau dari berbagai aspek akan dapat mencegah korosi secara maksimal.

Untuk pemilihan material pada umumnya ditinjau dari dua aspek yaitu aspek teknik dan biaya, dimana aspek teknik meliputi, ketahanan material terhadap korosi pada air laut, konduktivitas thermal, ketahanan terhadap temperature tinggi dan kecepatan aliran yang tinggi, kekuatan bahan, kemudahan untuk dibentuk, weldability, ketersediaannya dipasaran dan lain-lain.

Berikut adalah beberapa tabel sebagai dasar untuk pemilihan material terutama yang

berhubungan dengan ketahanan korosi pada air laut.

Tabel (4) menunjukkan pemilihan material berdasarkan laju korosi terhadap kecepatan air laut .

Tabel 4. Laju Korosi beberapa material terhadap kecepatan aliran

Material	Typical corrosion rates, mdd		
	1ft/sec*	4ft/sec**	27ft/sec***
Carbon steel	34	72	254
Cast iron	45	-	270
Silicent bronze	1	2	343
Admiralty brass	2	20	170
Hydraulic bronze	4	1	339
G bronze	7	2	280
Al bronze (10%Al)	5	-	236
Aluminium brass	2	-	105
90-10 Cu Ni (0.8%Fe)	5	-	99
70-30 Cu Ni (0,05%Fe)	2	-	199
70-30 Cu Ni (0,5%Fe)	<1	<1	39
Monel	<1	<1	4
Stainless steel type 416	1	0	<1
Hastelloy C	<1	-	3
Titanium	0	-	0

- * Immersed in tidal current
- ** Immersed in sea water flume
- *** Attached to immersed rotating disk

SOURCE : International Nickel Co

Tabel (5) menunjukkan pemilihan material berdasarkan ketahanannya terhadap fouling pada air laut yang tenang .

Tabel 5. ketahanan material terhadap fouling
Above 3 ft/sec continous velocity fouling organism have increasing difficulty in attaching themselves and clinging to the surface, unless already attached securely

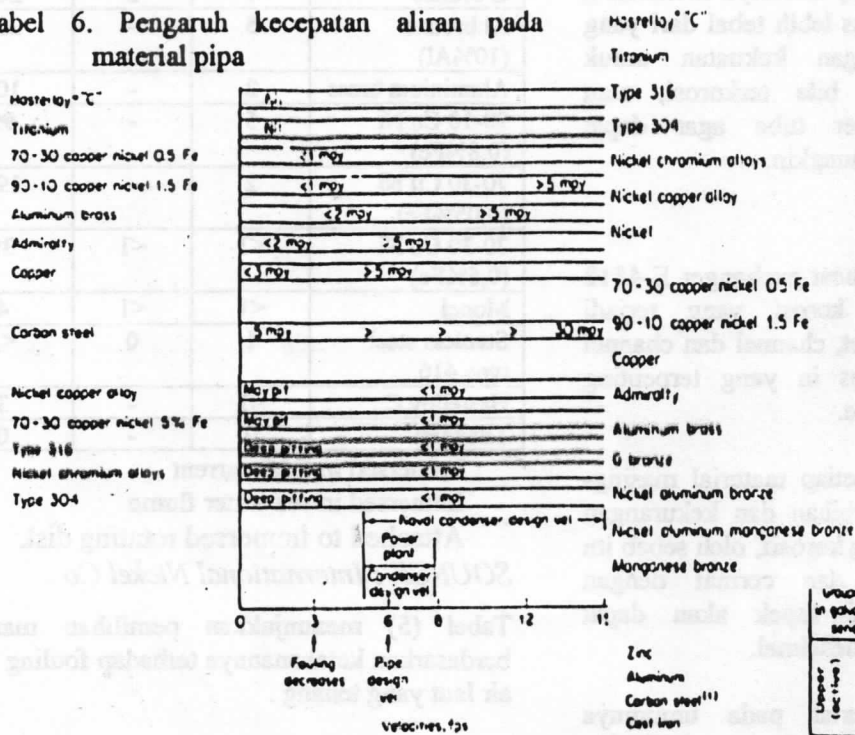
Arbitrary rating scale of fouling resistance	Materials
Best 90-100	Copper 90/10 copper-nickel
Good 70-90	Brass & bronze

Fair 50	70/30 copper-nickel, aluminum bronzes, zinc
Very slight 10	Nickel-copper alloy
Least 0	Carbon and low alloy steels

Trademark Union Carbide Corporation

Tabel (6) menunjukkan pemilihan bahan berdasarkan pengaruh kecepatan aliran terhadap korosi. Tabel tersebut adalah ketahanan korosi material yang disebabkan oleh faktor kecepatan aliran fluida pada pipa, hal ini diperkirakan sama halnya dengan pada tube, karena prinsipnya sama.

Tabel 6. Pengaruh kecepatan aliran pada material pipa



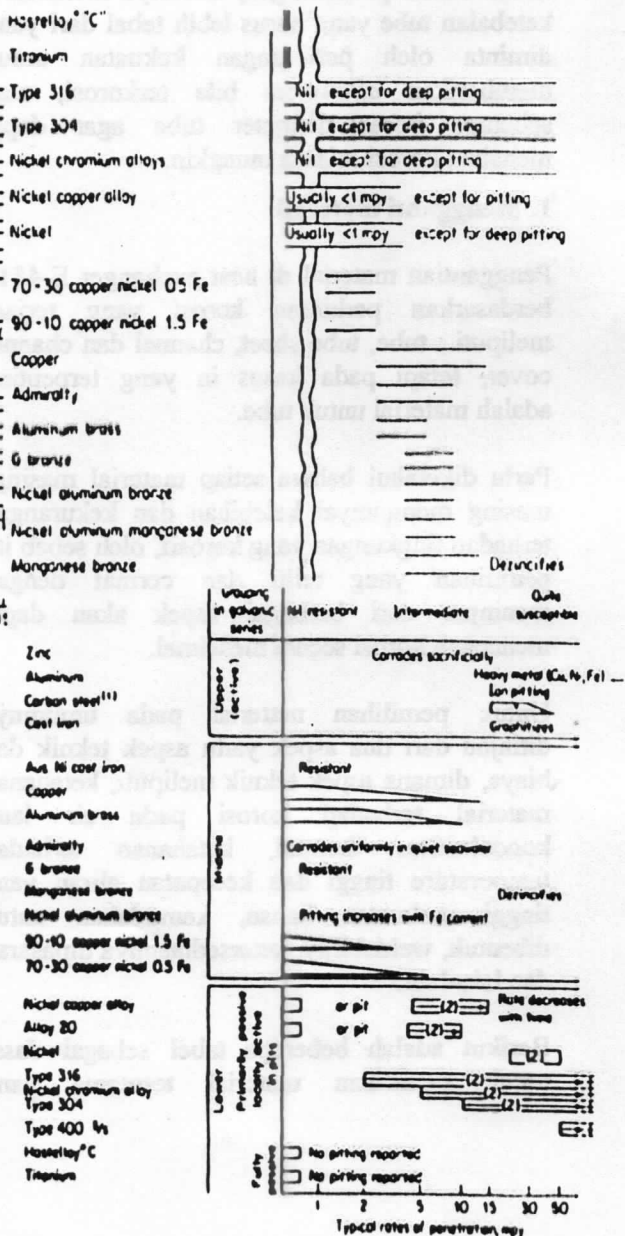
* Trademark Union Carbide Corporation

Berdasarkan laju atau kecepatan terjadinya proses korosi dari material terhadap air laut yang tenang atau kecepatan aliran dibawah 2 ft/sec dapat dipilih berdasarkan tabel (7). Sedangkan pemilihan material untuk air laut berdasarkan ketahanannya terhadap korosi jenis pitting dapat dipilih berdasarkan tabel (8).

Tabel-tabel tersebut merupakan dasar untuk pemilihan material hanya berdasarkan pemakaian pada air laut saja, karena disini peninjauan material hanya berdasarkan pada ketahanan korosi saja. Sedangkan pemilihan material untuk heat exchanger secara umum sangat kompleks sekali.

Dengan pemilihan material atas pertimbangan tabel dan grafik yang diberikan diperkirakan proses korosi pada heat exchanger E-4512 dengan media pendingin air laut dapat dikurangi atau diminimumkan.

Tabel 7 Ketahanan material terhadap air yang tenang atau kecepatan aliran



(1) Slightly round bottom pits

Tabel 8. Ketahanan material terhadap pitting
 Dari tabel-tabel diatas, penulis memilih dua jenis material yaitu material Titanium dan Hastelloy "C" sebagai alternatif pemilihan. Kedua material tersebut menurut tabel, mempunyai ketahanan yang sangat baik terhadap korosi pada air laut sehingga diperkirakan cocok dipilih sebagai material heat exchanger terutama yang berhubungan dengan air laut yaitu tube, tube sheet, channel dan channel cover.

Tabel (9) menunjukkan bahwa perbandingan paduan tembaga-nikel mempunyai ketahanan yang kurang terhadap aliran yang diam atau lambat dibandingkan dengan titanium dan hastalloy C, kelebihan dari paduan tembaga-nikel terhadap titanium dan hastalloy C yaitu tahan terhadap fouling dengan baik, kemudian harganya juga lebih murah 4 kali dari titanium dan hastalloy C.

Dari penjelasan diatas, dapat ditarik kesimpulan bahwa pemakaian material paduan tembaga-nikel 90 - 10 sudah cukup baik ditinjau dari harga dan ketahanan terhadap fouling dan laju korosi walaupun ada namun sangat lambat, kekurangan ini dapat diatasi dengan mengatur kecepatan aliran sebaik mungkin dan menghindari adanya partikel-partikel yang dapat menyebabkan tersumbatnya tube.

Tabel 9. Perbandingan sifat material

	Cu-Ni 90-10	Titanium	Hastelloys "C"
Laju korosi terhadap kecepatan aliran air laut	Tidak terjadi	tidak terjadi	tidak terjadi
Laju korosi pada kec. aliran 2ft/s	0,1-0,5 mpy	tidak terjadi	tidak terjadi
Pengaruh kecepatan aliran terhadap laju korosi	< 1 mpy	nihil	nihil
Ketahanan terhadap fouling	Baik	rendah	rendah
Ketahanan terhadap korosi pitting	3,5 mpy	tidak terjadi	tidak terjadi

Harga	-	4 kali harga CU-Ni 90-100	4 kali harga CU-Ni 90-100
-------	---	---------------------------	---------------------------

Untuk titanium dan hastalloy, dari tabel diatas diketahui mempunyai ketahanan korosi yang sangat baik sekali terhadap air laut jadi sangat baik untuk digunakan terutama untuk material tube, tetapi material tersebut mempunyai ketahanan yang rendah terhadap faouling, selain itu harganya lebih mahal.

Untuk mengatasi fouling dapat dilakukan dengan mengatur kecepatan aliran fluida dengan optimal sehingga fouling dapat dicegah, sedangkan untuk masalah harga dapat diatasi dengan memperkecil diameter tube dan mengurangi ketebalan dari tube.

2. Merubah Lingkungan

Beberapa hal yang dapat dilakukan untuk mencegah atau menurunkan tingkat kecepatan/laju korosi dengan merubah lingkungan pada heat exchanger E-4512 antara lain adalah :

- Mengatur kecepatan aliran sesuai dengan yang dianjurkan MRDC yaitu antara 1,8 - 3,6 m/s yang disertai dengan pemantauan rutin.
- Mengatur atau menurunkan temperature sesuai dengan anjuran MRDC yaitu dibawah 50° C juga disertai dengan pemantauan
- Pemberian khlor (chlorinisasi) secara kontinyu dengan kadar menurut aturan
- Melakukan pembersihan secara rutin terutama pada sisi tube.

3. Desain yang tepat

Didalam mendesain heat exchanger hal-hal yang perlu diperhatikan antara lain adalah :

- Semua bahagian dari heat exchanger didesain mudah dalam pengamatan dan pengecekan dan mudah untuk dilakukan pembersihan
- Bagian-bagian yang diperkirakan cepat rusak dirancang mudah dalam pengantiannya, bahannya mudah didapat dan perlu dihindari bagian yang dapat mengalami tegangan yang besar.
- Menggunakan bahan logam atau paduan dengan elektro chemical potensial yang

sama, bila terpaksa digunakan, beri isolasi yang cukup antara kedua bagian tersebut dan pilih logam atau paduan yang digunakan tersebut dengan electrochemical potensial yang berdekatan.

4. Proteksi Katodik

Sebagaimana dijelaskan pada bab terdahulu, prinsip dari proteksi katodik berdasarkan atas proses terjadinya korosi, dimana telah diketahui bahwa korosi hanya terjadi pada anoda saja, sedangkan katoda adalah sebaliknya yaitu terlindungi. Atas dasar hal tersebut dilakukan simulasi pada struktur metal yang hendak diproteksi dipandang sebagai katoda dan menciptakan suatu daerah lain diluar struktur untuk memindahkan serangan korosi sebagai anodanya.

Penggunaan proteksi katodik hanya terbatas pada korosi yang terjadi akibat metal yang berhubungan dengan tanah dan air saja, karena proteksi katodik dapat bekerja pada media yang bertindak sebagai penghubung untuk mengalirnya elektron secara terus menerus.

Atas dasar hal diatas, pada heat exchanger E-4512 dengan media pendingin air laut dapat juga dilakukan pencegahan korosi dengan menggunakan sistim proteksi katodik. Hal ini dilakukan untuk mencegah korosi yang terjadi pada ujung-ujung tube, tube sheet, channel dan channel cover. Sedangkan jenis proteksi katodik yang sesuai digunakan adalah jenis anoda korban (sacrificial anode), sebab untuk jenis arus tandingan banyak menimbulkan masalah. Hal ini atas dasar perbandingan dengan train-train yang lain.

Adapun jenis anoda korban yang dapat digunakan adalah anoda zinc (Zn), anoda aluminium (Al), dan anoda besi.

5. Surface Coating

Surface coating adalah suatu pencegahan dengan cara memberikan lapisan pelindung pada permukaan logam dengan oksida atau dengan senyawa organik. Surface coating selain

berfungsi sebagai pencegah korosi juga dapat berfungsi sebagai dekorasi.

Mekanisme lapisan pelindung dapat dibagi dalam beberapa mekanisme antara lain adalah:

- Mencegah hubungan kontak antara material dengan lingkungannya.
- Menahan atau membatasi hubungan kontak antara material dengan lingkungan sebagai lapisan organik
- Melepaskan substansi yang bersifat pelindung atau penghambat serangan korosi
- Memproduksi arus listrik yang dapat memproteksi, contoh galvanisasi

Pada heat exchanger yang dapat dilakukan pengecoating adalah pada channel dan channel cover, pada heat exchanger E-4512 coating pada bagian tersebut digunakan bahan plastic Thermoset Polyester Resin.

KESIMPULAN

Dari uraian-uraian diatas dapat diambil beberapa kesimpulan-kesimpulan yang antara lain adalah :

1. Diperkirakan jenis korosi yang dapat terjadi pada heat exchanger E-4512 air laut adalah :
 - Korosi sumur (pitting corrosion)
 - Korosi erosi (erosion corrosion)
 - Korosi galvanis (galvanic corrosion)
2. Korosi sumur dan korosi erosi diperkirakan terjadi terutama pada tube, akibat aliran air laut yang tidak konstan, hal ini disebabkan oleh adanya tube yang tersumbat oleh partikel-partikel dan biologi laut, pecahan semen pelindung pipa dan serpihan atau pecahan ferrule yang telah rusak. Sedangkan korosi galvanis diperkirakan dapat terjadi bila lapisan coating dan cladding telah rusak hingga menembus logam dasar.
3. Pencegahan yang dapat dilakukan untuk mengatasi korosi pada heat exchanger E-4512 antara lain adalah :
 - Penggantian material tube, tube sheet, channel dan channel cover dengan material yang lebih tahan terhadap korosi pada air laut.
 - Merubah lingkungan; yaitu dengan mengatur kecepatan aliran fluida dan temperatur.