



ISSN 2088-060X

Jurnal Sains & Teknologi **FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS DARMA PERSADA**

Volume XI. No 3. Desember 2021

**METODE PROMETHEE II DAN NAIVE BAIYES PADA SISTEM PENDUKUNG
KEPUTUSAN PENERIMA BANTUAN DANA DESA**
Timor Setiyaningsih, Jeinnudin Yusuf

**IMPLEMENTASI METODE FP- GROWTH DAN HASH BASED PADA SISTEM
PENJUALAN MENGGUNAKAN QR CODE**
Suzuki Syofian, Ankegeera Abhidharma

**RANCANG BANGUN SISTEM PENDUKUNG KEPUTUSAN MENINGKATKAN PENDAPATAN
MASYARAKAT MELALUI BANK SAMPAH MENGGUNAKAN METODE
COMPOSITE PERFORMANCE INDEX**
Eka Yuni Astuty, Akbar Noprianto

**PENERAPAN ANALYTICAL HIERARCHY PROCESS UNTUK SISTEM PENDUKUNG
KEPUTUSAN KELAYAKAN KENAIKAN GAJI KARYAWAN PT. E-CLEAN INDONESIA**
Nur Syamsiyah, Eva Novianti, Nastiti Widyarini

**RANCANG BANGUN SISTEM INFORMASI PENGELOLAAN BARANG DAN ALAT KESEHATAN
MENGGUNAKAN METODE FIRST IN FIRST OUT (FIFO) PADA
PT. MITRA FAJAR SELARAS JAKARTA**
Yahya, Mira F. Sesunan, Verni Seftevia

**IMPLEMENTASI NEURAL NETWORK UNTUK MEMBANGUN MODEL PREDIKSI
KEBUTUHAN BANDWIDTH DAN SPESIFIKASI SERVER DI MASA DEPAN**
Herianto, Vega Humaira

**ANALISIS PENGARUH PELETAKAN PANEL SURYA DI ATAS DECK HOUSE
TERHADAP STABILITAS KAPAL**
Shanty Manullang, Rizki Irvana, M. Alfatt Nst, M. Ricky Daryansah

**MODEL AUDIT SISTEM MANAJEMEN KESELAMATAN DAN KESEHATAN KERJA
DENGAN PENDEKATAN STANDAR ERGONOMI DI INDUSTRI MANUFAKTUR**
Erwin ,Husen Asbanu

**IDENTIFIKASI PENGGUNAAN MATERIAL BESI HOLLOW PADA PROSES PRODUKSI
MODIFIKASI BOX STANDAR 20 FEET DI PT.MARUNDA JAYA INTI**
Alfian Destha Joanda, Muhammad Anbiya Kyvariwijaya

**OPTIMALISASI PENGGUNAAN MESIN FLOW COATER UNTUK PROSES PENGECATAN
PADA KABINET PIANO**
Herry Susanto, Didik Sugiyanto, Muhammad Aldy Fadhillah

**PEMODELAN HUBUNGAN ANTAR VARIABEL SISTEM KONSUMSI PADA PENJUALAN EMPAT
MEREK MOBIL TIPE MULTIGUNA KELAS BAWAH**
Ario Kurnianto

**PENGARUH KETIDAKSEIMBANGAN BEBAN TERHADAP ARUS NETRAL DAN RUGI - RUGI PADA
TRANSFORMATOR 3 FASA 20 KV/400 V di PT. SGMW MOTOR INDONESIA**
Reza Istoni, Andi Gunawan

**PENERAPAN METODE FUZZY SAW PADA APLIKASI PENILAIAN KESEHATAN KOPERASI
BERBASIS MOBILE DI PT.NUSANTARA DATA SERVICE**
Sukardi, Timor Setiyaningsih, Syahrul Ramadhan

ANALISA KEGAGALAN TUBE HEAT EXCHNGER JENIS HE-XXX DI PT. S
Nopryandi

ISSN 2088-060X



9 772088 060009

Diterbitkan Oleh :
Fakultas Teknik Universitas Darma Persada
© 2021

**REDAKSI JURNAL SAINS & TEKNOLOGI
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS DARMA PERSADA**

Penasehat : Dr. Tri Mardjoko, SE, MA

Penanggung Jawab : Ir. Agus Sun Sugiharto, MT

Pimpinan Redaksi : Yefri Chan, ST, MT

Redaksi Pelaksana : Yendi Esye, ST, M.Si

Mohammad Darsono, ST, MT

Didik Sugiyanto, ST, M.Eng

Drs. Eko Budi Wahyono, MT

Adam Arif Budiman, ST. M.Kom

Mitra Bestari : Prof. Dr. Kamaruddin Abdullah, IPU

Prof. Dr. Ir. Raihan

Dr. Ir. Asyari Daryus

Dr. Eng. Aep Saepul Uyun, STP, M.Eng

Dr. Ade Supriyana, ST, MT

Dr. Ir. Budi Sumartono, MT

Dr. Iskandar Fitri

Alamat Redaksi : **Fakultas Teknik**

Universitas Darma Persada

Jl. Radin Inten II, Pondok Kelapa, Jakarta Timur

Telp (021) 8649051, 8649053,8649057

Fax (021) 8649052/8649055

E-mail : jurnalteknikunsada@yahoo.co.id

Pengantar Redaksi

Jurnal Sains & Teknologi Fakultas Teknik Universitas Darma Persada pada Volume XI. No. 3. Desember 2021 ini menyajikan dua belas (12) tulisan bidang teknologi. Tulisan tersebut ditulis oleh dosen-dosen Fakultas Teknik dan dosen-dosen Fakultas Teknologi Kelautan Universitas Darma Persada, Jakarta yang tentu saja kami harap dapat menambah wawasan pembaca.

Jurnal Volume XI. No. 3. Desember 2021 ini diawali dengan tulisan Metode Promethee li Dan Naive Baiyes Pada Sistem Pendukung Keputusan Penerima Bantuan Dana Desa, Implementasi Metode Fp- Growth Dan Hash Based Pada Sistem Penjualan Menggunakan QR Code, Rancang Bangun Sistem Pendukung Keputusan Meningkatkan Pendapatan Masyarakat Melalui Bank Sampah Menggunakan Metode *Composite Perfomance*, Penerapan Analytical Hierarcy Process Untuk Sistem Pendukung Keputusan Kelayakan Kenaikan Gaji Karyawan PT. E-Clean Indonesia, Rancang Bangun Sistem Informasi Pengelolaan Barang Dan Alat Kesehatan Menggunakan Metode First In First Out (FIFO) Pada PT. Mitra Fajar Selaras Jakarta, Implementasi Neural Network Untuk Membangun Model Prediksi Kebutuhan Bandwidth Dan Spesifikasi Server Di Masa Depan, Analisis Pengaruh Peletakan Panel Surya Di Atas Deck House Terhadap Stabilitas Kapal, Model Audit Sistem Manajemen Keselamatan Dan Kesehatan Kerja Dengan Pendekatan Standar Ergonomi Di Industri Manufaktur, Identifikasi Penggunaan Material Besi Hollow Pada Proses Produksi Modifikasi Box Standar 20 Feet Di PT. Marunda Jaya Inti, Optimalisasi Penggunaan Mesin *Flow Coater* untuk Proses Pengecatan pada Kabinet Piano, Pemodelan Hubungan Antar Variabel Sistem Konsumsi Pada Penjualan Empat Merek Mobil Tipe Multiguna Kelas Bawah, Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral Dan Rugi - Rugi Pada Transformator 3 Fasa 20 KV/400 V di PT. SGMW Motor Indonesia, Penerapan Metode Fuzzy Saw Pada Aplikasi Penilaian Kesehatan Koperasi Berbasis Mobile Di PT. Nusantara Data Service

Jurnal Volume XI No. 3. Desember 2021 ini ditutup dengan tulisan. Analisa Kegagalan Tube Heat Exchnger Jenis He-XXX Di PT. S,

Kami mengharapkan untuk edisi berikutnya bisa menampilkan tulisan-tulisan dari luar Universitas Darma Persada lebih banyak lagi, selamat membaca dan kami berharap tulisan-tulisan ini dapat dikembangkan sesuai dengan kebutuhan dan minat pembaca.

Jakarta, 20 Desember 2021

Redaksi Jurnal

DAFTAR ISI

PENGANTAR REDAKSI.....	i
DAFTAR ISI.....	ii
1. METODE PROMETHEE II DAN NAIVE BAIYES PADA SISTEM PENDUKUNG KEPUTUSAN PENERIMA BANTUAN DANA DESA.....	1 - 10
Timor Setyaningsih, Jeinnudin Yusuf	
2. IMPLEMENTASI METODE FP- GROWTH DAN HASH BASED PADA SISTEM PENJUALAN MENGGUNAKAN QR CODE.....	11 - 18
Suzuki Syofian, Ankgeera Abhidharma	
3. RANCANG BANGUN SISTEM PENDUKUNG KEPUTUSAN MENINGKATKAN PENDAPATAN MASYARAKAT MELALUI BANK SAMPAH MENGGUNAKAN METODE <i>COMPOSITE PERFORMANCE</i> <i>INDEX</i>	19 - 33
Eka Yuni Astuty, Akbar Noprianto	
4. PENERAPAN ANALYTICAL HIERARCY PROCESS UNTUK SISTEM PENDUKUNG KEPUTUSAN KELAYAKAN KENAIKAN GAJI KARYAWAN PT. E-CLEAN INDONESIA.....	34 - 46
Nur Syamsiyah, Eva Novianti, Nastiti Widyarini	
5. RANCANG BANGUN SISTEM INFORMASI PENGELOLAAN BARANG DAN ALAT KESEHATAN MENGGUNAKAN METODE FIRST IN FIRST OUT (FIFO) PADA PT. MITRA FAJAR SELARAS JAKARTA.....	47 - 55
Yahya, Mira F. Sesunan, Verni Seftevia	
6. IMPLEMENTASI NEURAL NETWORK UNTUK MEMBANGUN MODEL PREDIKSI KEBUTUHAN BANDWIDTH DAN SPESIFIKASI SERVER DI MASA DEPAN.....	56 - 64
Herianto, Vega Humaira	
7. ANALISIS PENGARUH PELETAKAN PANEL SURYA DI ATAS DECK HOUSE TERHADAP STABILITAS KAPAL.....	65 - 73
Shanty Manullang, Rizki Irvana, M. Alfatt Nst, M. Ricky Daryansah	
8. MODEL AUDIT SISTEM MANAJEMEN KESELAMATAN DAN KESEHATAN KERJA DENGAN PENDEKATAN STANDAR ERGONOMI DI INDUSTRI MANUFAKTUR.....	74 - 79
Erwin ,Husen Asbanu	
9. IDENTIFIKASI PENGGUNAAN MATERIAL BESI HOLLOW PADA PROSES PRODUKSI MODIFIKASI BOX STANDAR 20 FEET DI PT. MARUNDA JAYA INTI.....	80 - 87
Alfian Destha Joanda, Muhammad Anbiya Kyvariwijaya	
10. OPTIMALISASI PENGGUNAAN MESIN <i>FLOW COATER</i> UNTUK PROSES PENGECATAN PADA KABINET PIANO.....	88 - 99
Herry Susanto, Didik Sugiyanto, Muhammad Aldy Fadhilah	

11. PEMODELAN HUBUNGAN ANTAR VARIABEL SISTEM KONSUMSI PADA PENJUALAN EMPAT MEREK MOBIL TIPE MULTIGUNA KELAS BAWAH.....100-108
Ario Kurnianto
12. PENGARUH KETIDAKSEIMBANGAN BEBAN TERHADAP ARUS NETRAL DAN RUGI - RUGI PADA TRANSFORMATOR 3 FASA 20 KV / 400 V di PT. SGMW MOTOR INDONESIA.....109-116
Reza Istoni, Andi Gunawan
13. PENERAPAN METODE FUZZY SAW PADA APLIKASI PENILAIAN KESEHATAN KOPERASI BERBASISMOBILE DI PT.NUSANTARA DATA SERVICE.....117-124
Sukardi, Timor Setyaningsih, Syahrul Ramadhan
14. ANALISA KEGAGALAN TUBE HEAT EXCHNGER JENIS HE-XXX DI PT. S125-142
Nopryandi



ANALISA KEGAGALAN TUBE HEAT EXCHNGER JENIS HE-XXX Di PT. S

Nopryandi¹

¹Dosen Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik

email : nopryandiyulmar@gmail.com

ABSTRAK

Heat exchanger merupakan suatu alat yang mengkonversikan energi panas dalam sutau industri kimia. salah satu heat exchanger jenis HE-XXX pada PT. S telah mengalami kebocoran pada tube-tubanya. Kebocoran tube tersebut disebabkan terjadinya korosi. Dari hasil visual maupun photo mikro ditemukan kegagalan disisi luar tube yang berhubungan langsung dengan Benzene Toluene Mixing (BTM), sedang bagian dalm tube yang berhubungan langsung dengan media pendingin air tidak terjadi kegagalan. Kegagalan yang terjadi berupa celah dan korosi pitting. Korosi ini disebabkan oleh penunpukan oksida pada sisi luar tube.

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan oksida yang menumpuk pada sisi luar tube menyebabkan terjadinya perbedaan kosentrasi O₂ dengan kosentrasi O₂ lingkunganya yaitu Benzene Toluene Mixing (BTM).Perbedaan ini menghasikanmenghasikan sisi anoda dan sisi katoda. Yang menjadi penebab terjadinya korosi.

Untuk mnghambat terjadinya korosi pada masa yang akan datang, heat exchanger jenis HE-XXX perlu dipertimbangan pemberian inhibitor, karena selama beroperainya belum pernah diberikan inhibitor

Kata kunci : *Heat exchanger, kebocoran, foto mikro, benzene toluene mixing, korosi*

1. PENDAHULUAN

1.1 LatarBelakang

Korosi merupakan suatu masalah besar dalam industri baik dalam industri kimia maupun industri minyak dan gas. Korosi yang terjadi dalam industri dapat mengakibatkan terjadi kerusakan pada equipment maupun pada system pemipaannya sehingga dapat menyebabkan terjadinya penerunan efisiensi dari equipmnet dan peralatan industri lainnya ataupun terjadinya kerusakkan sehingga akan menyebabkan berhentinya operasi.

Heat exchanger adalah salah satu equipment dalam industri kimia yang berfungsi untuk mengkonversikan energi panas. Salah satu *heat exchanger* yang digunakan PT S, HE-XXX, yaitu suatu pabrik kimia yang berlokasi di Bojonegara Serang Jawa Barat, mengalami kebocoran. Berdasarkan data pada perusahaan, sepanjang tahun 2005 telah terjadi kebocoran dan pada bulan Juni 2006 HE-XXX diganti.

Kebocoran pada *Heat exchanger* HE-XXX, menyebabkan parabrik shut-down diluar schedule yang telah direncanakan dan terhentinya produksi, sehingga menimbulkan kerugian yang cukup besar. Agar kasus seperti ini tidak terulang lagi dimasa yang akan datang maka perlu dilakukan analisa kegagalan terhadap kasus ini

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan khusus dari penelitian ini adalah untuk mengecek apakah material yang

dipakai sesuai spesifikasi dan standar.

Tujuan umum penelitian ini adalah untuk mengetahui jenis korosi yang terjadi, dan lokasi terjadinya korosi, sehingga dapat menentukan penyebab terjadinya korosi pada *tube* HE-XXX,

1.3 Mamfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat digunakan untuk pencegahan korosi pada *heat exchanger* jenis HE-XXX pada masa yang akan datang

1.4 Ruang lingkup Penelitian

Analisa kegagalan dilakukan terhadap *tube Heat exchanger* HE-XXX yang korosi dengan melakukan pengujian Analisa Metalografi, SEM-EDAX, Spectro, Hardness Vickers, XRF, sedangkan untuk mengetahui komposisi Benzene Toluene Mixing sudah dianalisa perusahaan digunakan sebagai data referensi

2. LANDASAN TEORI

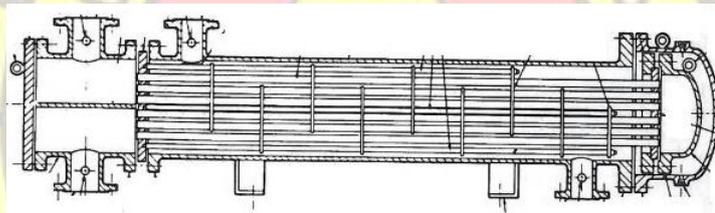
2.1 Heat Exchanger

Heat exchanger adalah alat penukar energi panas yang digunakan untuk mengambil panas dari suatu fluida dan memindahkan ke fluida lain.

Proses perpindahan panas ini biasa terjadi dari fase cair atau fase uap ke fase cair. Berdasarkan bentuknya *heat exchanger* dapat digolongkan sebagai berikut:

1. Shell dan *tube* exchanger

Suatu *heat exchanger* besar yang berisi beberapa *tube* yang lebih kecil.

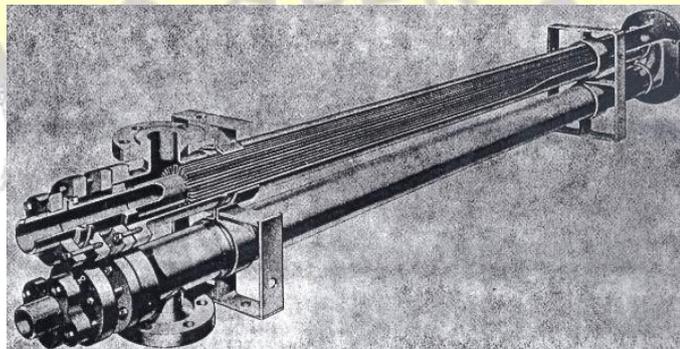


Gambar 1. Shell dan tube exchanger [1]

Bagian yang seperti pipa disebut *tube* sedangkan bagian luarnya disebut shell.

2. Double pipe *heat exchanger*

Pada bentuk ini suatu pipa akan berada dalam pipa lain yang lebih besar.



Gambar 2. Double pipe heat exchanger [1]

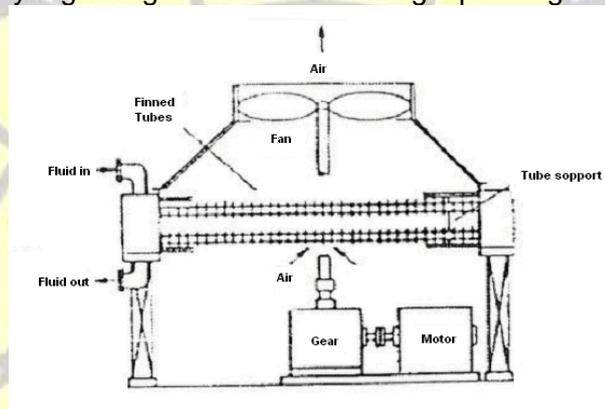
3. Box cooler

Suatu bentuk *heat exchanger* dimana susunan-susunan pipa dimasukan ke dalam box yang berisi air.



Gambar 3. Box cooler [1]

4. Air cooler exchanger
Heat exchanger yang menggunakan udara sebagai pendingin.



Gambar 4. Air cooler exchanger [2]

2.2 Korosi pada Heat Exchanger

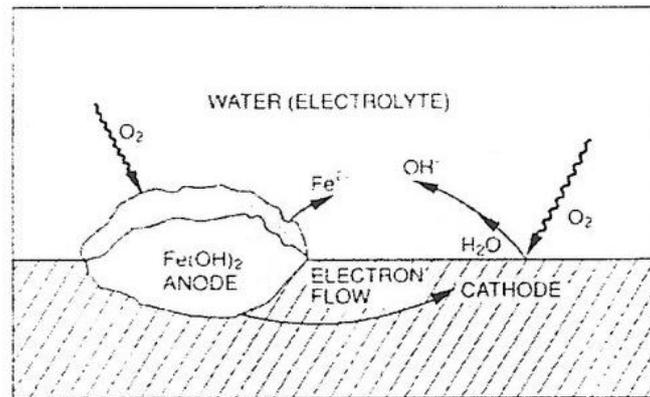
Korosi adalah proses pengrusakan logam karena terjadinya reaksi kimia atau reaksi elektrokimia antara logam dengan lingkungan. Salah satu *heat exchanger* yang terkorosi yang gambar 5.



Gambar 5. Kerusakan heat exchanger akibat korosi [3]

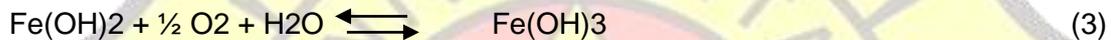
Reaksi korosi terjadi disisi anoda dimana logam dilarutkan. Pada sisi katoda akan terjadi reaksi reduksi terhadap pelarut dan O₂ terlarut. Kedua sisi akan

mempunyai perbedaan potensial listrik sehingga akan terjadi aliran arus elektron melalui larutan dari anoda ke katoda. Reaksi korosi ini di Gambar kan pada Gambar 6.



Gambar 6. Sel Korosi [4]

Untuk baja, reaksi oksidasi pada anoda yang umum terjadi adalah:



$\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ merupakan karat besi.

Reaksi utama di katoda adalah:



Reaksi di katoda merupakan reaksi berkesinambungan yang terjadi terus menerus. Reaksi di katoda membutuhkan electron yang berasal dari reaksi oksidasi di anoda. Untuk mencegah terjadinya korosi maka electron yang berasal dari logam Fe harus dicegah untuk bereaksi dengan oksigen dan air. Pencegahan dapat dilakukan dengan berbagai macam cara, salah satunya dengan menambahkan pelindung katoda seperti logam Zn. Produksi OH di katoda menyebabkan pH di katoda sekitar 7 – 9. Oksigen terlarut akan mencapai permukaan secara difusi seperti yang terlihat pada Gambar 6. Reaksi reduksi di katoda mengontrol kecepatan reaksi korosi pada logam.

Reaksi lain yang terdapat terjadi di katoda adalah:



Pada pH netral atau pH tinggi konsentrasi ion H^+ terlalu rendah sehingga reaksi ini sangat kecil dampaknya terhadap reaksi korosi secara keseluruhan. Reaksi ini menjadi dominan untuk pH rendah, yaitu di bawah 4.

Kecenderungan suatu logam untuk menghasilkan electron yang akan digunakan oleh larutan elektrolit untuk menghasilkan korosi dapat dilihat pada Tabel 1.

Paduan logam atau logam akan cenderung lebih korosif jika dipasang paralel dengan paduan logam atau logam lain yang mempunyai potensial sel lebih positif atau lebih mulia. Prinsip ini digunakan dalam sistem katoda pelindung dimana untuk melindungi logam Fe maka ke dalam lingkungan tersebut ditambahkan logam lain yang mempunyai potensial elektroda lebih negatif seperti seng sehingga seng akan lebih dahulu mengalami korosi dan logam Fe akan terlindungi.

Tabel 1. Deret galvanik logam-logam di dalam air laut. [4]

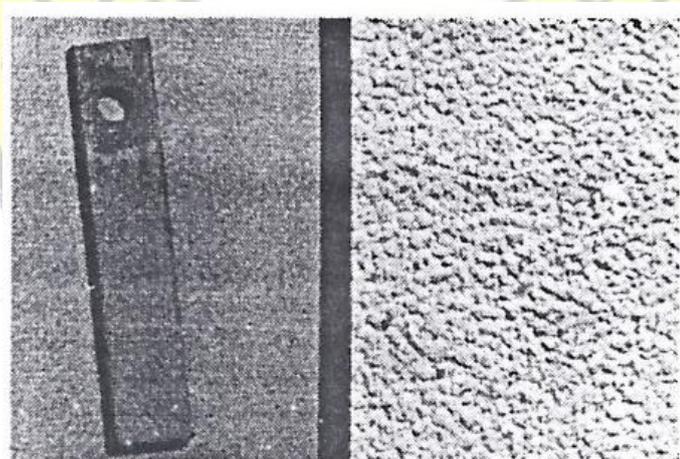
Katoda	Platina
	Emas
	Grafit
	Titanium
	Perak
	Chlorimet 3 (62 Ni, 18 Cr, 18 Mo)
	Hastelloy C (62 Ni, 17 Cr, 15 Mo)
	Perunggu (Cu-Sn)
	Tembaga
	Kuningan (Cu-Zn)
	Nikel
	Timah
	Baja atau besi
Anoda	Kadmium
	Aluminium
	Seng
	Manesium dan Paduan Magnesium

Terbentuknya sisi anoda dan katoda yang menghasilkan reaksi korosi dapat terjadi kerana ketidakmurnian pada logam, lokalisasi stress, perbedaan pada butir suatu logam, perbedaan di lingkungan seperti perbedaan temperatur, kosentrasi oksigen atau kosentrasi garam.

Berbagai jenis korosi dapat terjadi Pada logam diantaranya:

1. Korosi seragam

Korosi seragam terjadi jika perbedaan seperti perbedaan komposisi dan lokalisasi stress tidak terlalu besar. Pada korosi ini sisi katoda dan anoda dapat bergeser dari suatu tempat ke tempat lain di sepanjang permukaan logam. Hal ini akan menyebabkan terjadi korosi yang sama (uniform) di sepanjang permukaan logam.

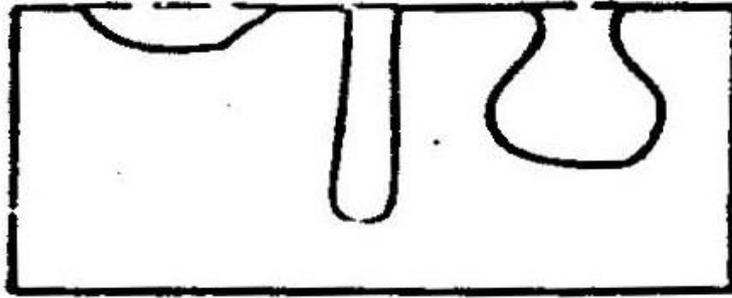


Gambar 7. Korosi seragam di kupon baja [4]

2. Korosi ini terjadi di titik tertentu sepanjang permukaan logam. Pada korosi jenis ini sisi anodanya diam sehingga korosi terjadi pada tempat-tempat tertentu saja di sepanjang logam. Jenis-jenis korosi terlokalisasi adalah sebagai berikut:

a. Pitting

Korosi jenis pitting sulit untuk dideteksi di laboratorium. Pitting terjadi jika sisi anoda dan katoda menjadi diam karena besarnya perbedaan yang terjadi pada permukaan.



Gambar 8. Skema korosi pitting [4]

Perbedaan yang besar di permukaan logam ini biasanya disebabkan oleh kecepatan aliran air yang rendah air diam atau kehadiran ion klorin. Sekali lubang (pit) terbentuk, larutan yang ada di dalamnya akan terisolasi dan akan bertambah korosif dengan waktu. Kecepatan korosi yang tinggi pada lubang tersebut menghasilkan muatan positif berlebih pada kation logam sehingga ion-ion negatif akan menuju kation tersebut.

Contoh kasus korosi pitting yaitu korosi yang terjadi pada *tube heat exchanger* yang terbuat dari bahan stainless steel. Banyak dijumpai *tube* dari tipe AISI 410 mengalami korosi pitting selama uji hidrostatik (Gambar 9).



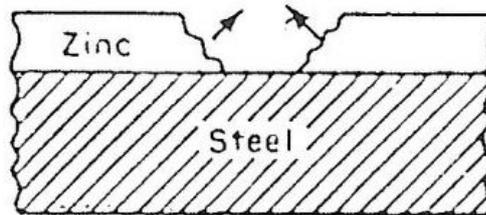
Gambar 9. Penampang lintang korosi pitting pada tube stainless steel AISI 410 [4]

Hasil analisa kimia membuktikan bahwa material tersebut sesuai dengan spesifikasi untuk tipe 410 stainless steel, sedangkan hasil analisa X-Ray mengindikasikan kehadiran ion klorin. Pitting terjadi secara acak dan tidak berhubungan dengan cacat secara metalurgi. Untuk kasus ini disimpulkan bahwa pitting disebabkan oleh kehadiran ion klorin di dalam air yang digunakan untuk membilas *tube* sebelum digunakan.

b. Selective leaching

Merupakan korosi terhadap salah satu elemen dari suatu paduan. Untuk

sistem cooling water yang sering terjadi adalah dezinkifikasi.

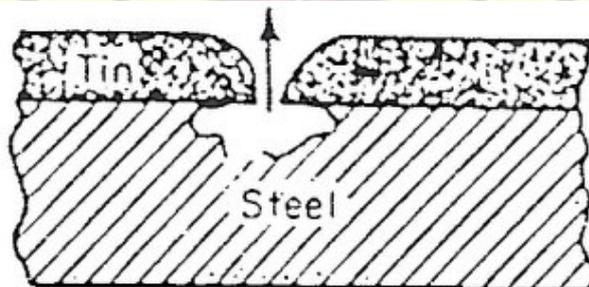


Gambar 10. Korosi selective leaching pada paduan zinc-steel [4]

Pitting pada baja dapat juga disebabkan oleh dezinkifikasi. Kondisi pH rendah ($\text{pH} < 4$) dan tingginya residual klorin (> 1.0 ppm) dapat memicu terjadinya dezinkifikasi.

c. Korosi Galvanik

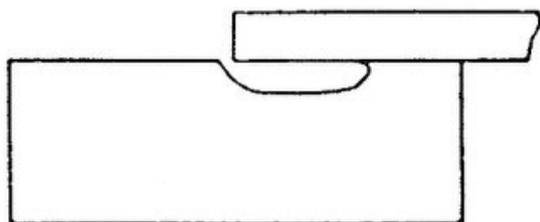
Korosi ini terjadi jika dua logam yang tidak sejenis kontak di dalam larutan. Korosi galvanik disebabkan perbedaan potensial antara kedua logam tersebut. Perbedaan ini meningkat jika jarak kedua logam pada geret galvanik semakin jauh.



Gambar 11. Korosi Galvanik pada paduan tin – steel [4]

d. Korosi celah

Korosi ini hampir sama dengan korosi pitting dimana ada udara atau oksigen yang terperangkap pada suatu celah.



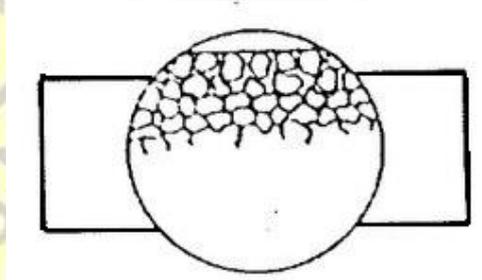
Gambar 12. Korosi celah [4]

Contoh kasus korosi celah adalah yang terjadi pada tubing pendingin hidrolik dari bahan paduan copper C70600 (copper nikel, 10%). Pada kasus ini terjadi kebocoran di *tube heat exchanger* di pendingin hidrolik suatu pembangkit tenaga listrik. *Heat exchanger* ini telah digunakan selama 18 bulan. Hasil inspeksi visual ditemukan sejumlah nodule (bintil kecil) pada bagian dalam permukaan *tube* dan sejumlah lubang pada dinding *tube*. Pemeriksaan metalografi menunjukkan bahwa antar nodule dan lubang-lubang tersebut saling

terisolasi. Hasil analisa spektrografi membuktikan bahwa material tersebut sesuai spesifikasi untuk copper alloy C70600. Deposit berwarna kemerah-merahan yang ditemukan pada bagian dalam permukaan dianalisa. Hasil analisa menunjukkan bahwa deposit ini adalah oksida besi dengan kandungan oksida mangan sebesar 1%. Hal ini mengindikasikan bahwa proses penggilingan baja (steel mills upstream) adalah sumber deposit ini. *Heat exchanger* ini menggunakan air sungai sebagai pendingin dengan kecepatan alir yang tidak tetap, tergantung kebutuhan pendingin. Partikel pengotor dari air sungai yang digunakan sebagai pendingin menjadi deposit di dalam *tube* selama periode kecepatan alir air pendingin rendah. Perbedaan konsentrasi oksigen di bawah deposit dengan di lingkungan menyebabkan terjadinya sel elektrolitik di bawah deposit. Produk korosi yang dihasilkan berupa nodule dan pit yang nantinya menjadi lubang-lubang disepanjang permukaan dalam *tube*.

e. Korosi intergranular

Pada korosi ini, udara terperangkap pada batas butir dari paduan logam atau logam.



Gambar 13. Korosi intergranular [4]

Pada saat pertama kali digunakan, *heat exchanger* harus dilindungi dari kemungkinan terjadinya korosi dengan melakukan pasivasi larutan buffer tertentu atau larutan inhibitor korosi. Setelah beroperasi, lingkungannya yaitu air pendingin sangat mempengaruhi kondisi *heat exchanger* sehingga kualitas air pendingin penting untuk dimonitor.

2.3 Proteksi Korosi

Untuk mencegah korosi yang terjadi pada logam beberapa cara telah dilakukan diantaranya mencegah ataupun mengurangi reaksi logam dengan lingkungannya dengan cara memberikan perlindungan pada permukaan logam. Beberapa cara yang dilakukan diantaranya pengecatan, pemberian anoda korban, dan pemberian inhibitor.

2.3.1 Pengecatan

Pengecatan yaitu melapisi logam dengan suatu cairan yang kemudian mengeras yang dapat mencegah dengan udara luar. Cat pada dasarnya terdiri dari Wahana yaitu zat cair yang membuat cat mempunyai fluiditas dan bila menguap akan meninggalkan selaput padat, Pigmen yang berfungsi mengendalikan laju korosi pada selaput kering dan lembab.

2.3.2 Pemberian anoda korban

Penggunaan anoda korban dilakukan pada tempat yang basah atau lembab seperti air laut ataupun dalam tanah. Pemakaian anoda korban di laut diantaranya pada lambung kapal ataupun peralatan offshore seperti jacket caisson dan sebagainya.

Penggunaan untuk tempat yang lembab ataupun di dalam tanah seperti pada instalasi pipeline

2.2.3. Pemberian Inhibitor

Inhibitor yaitu suatu larutan kimia yang berfungsi untuk melindungi logam. Larutan ini akan membentuk senyawa yang tidak dapat larut ke permukaan katoda sehingga akan menyelimuti katoda dari elektrolit dan mencegah masuknya oksigen

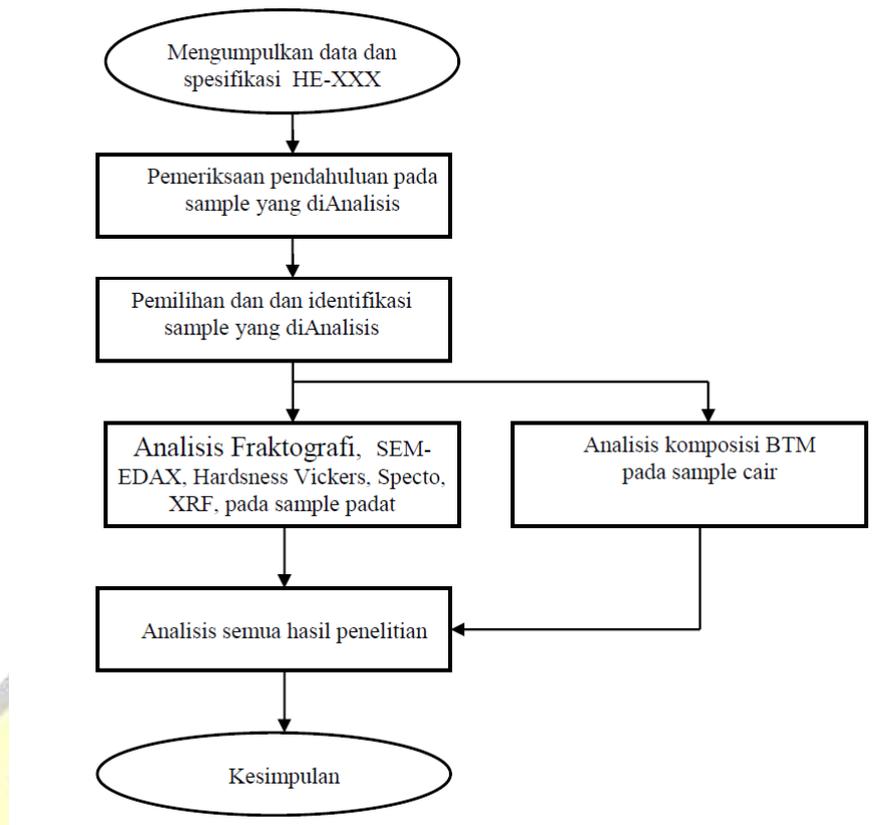
2.3.4 Analisa kerusakan

Analisa kerusakan bertujuan untuk menentukan penyebab utama kerusakan sehingga dapat dilakukan langkah-langkah perbaikan untuk mencegah kerusakan yang sejenis dikemudian hari. Secara umum tahapan-tahapan yang dilakukan analisa kerusakan pada suatu sample adalah :

- a. Pengumpulan data dan sejarah sample yang meliputi
Pengecekan sertifikat, mechanical test data, spesifikasi, dan wawancara
- b. Pengujian pendahuluan terhadap komponen yang rusak secara visual dan melakukan pencatatan sample
- c. Pemilihan sampel, identifikasi, dan pembersihan sampel
- d. Pengujian tak merusak (NDT)
- e. Pengujian mekanik seperti uji tarik, uji kekerasan dan uji benturan (*impact*)
- f. Pengujian makroskopik dan analisa permukaan patahan, retakan dan fenomena permukaan lainnya
- g. Pengujian mikroskopik permukaan patahan dan analisis
- h. Pemilihan dan penyiapan sampel untuk pengujian metalografi
- i. Pengujian metalografi dan analisis
- j. Penentuan mekanisme kerusakan
- k. Analisa semua hasil pengujian, memformulasikan kesimpulan dan penulisan laporan

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram alir



Gambar 14. Diagram alir penelitian

3.2 Analisa Kegagalan Heat Exchanger

Kegagalan pada *heat exchanger* umumnya berhubungan dengan metoda pabrikan pipa dan tubing, metoda penanganan selama pabrikan, metoda control terhadap kualitas se3.2ta kondisi lingkungan tempat penggunaan tubing tersebut.

Untuk melakukan analisa kegagalan terhadap *heat exchanger* diperlukan informasi-informasi yang meliputi kondisi operasi, keadaan pada saat terjadinya kegagalan dan hal-hal lain yang berhubungan dengan kondisi tersebut seperti:

1. Nama poses dan fungsinya.
2. Nama unit proses, fungsi serta tanggal mulai digunakan.
3. Spesifikasi material, sesuai standard internasional ASTM.
4. Sketsa dari unit *heat exchanger* dan tempat-tempat terjadinya kegagalan.
5. Kondisi lingkungan seperti temperatur, pH, dan laju alir fluida.
6. Lokasi terjadinya kegagalan dan jenis kegagalan yang terjadi.
7. Sejarah dari *heat exchanger* yang meliputi kondisi-kondisi tidak umum sebelum terjadinya kegagalan, catatan pemeliharaan dan proses perlakuan panas awal.

3.3 Pemilihan Sampel

Pemilihan sampel yang dapat mewakili kegagalan yang terjadi sangat penting. Sampel yang diambil tidak hanya dari bagian yang mengalami kegagalan tapi juga dari bagian yang masih baik sehingga dapat dilakukan suatu perbandingan.. Proses pengangkatan sampel *tube* dari *tube sheet* harus dilakukan secara hati-hati agar kondisi sampel tidak mengalami perubahan.

3.4 Pengamatan Visual

Informasi tentang kegagalan yang terjadi banyak didapat dari pengamatan visual seperti terjadinya perubahan dimensi karena penggelembungan atau penipisan. Pola, luas, bentuk dari korosi atau retak yang terjadi menjadi petunjuk yang penting untuk menyelidiki penyebab terjadinya kegagalan. Perubahan warna atau proses perkaratan merupakan indikasi adanya kontaminasi oleh besi. Terjadinya deposit pada *tube* seperti kerak atau produk-produk korosi dapat disebabkan oleh pemanasan yang berlebih.

3.5 Pemeriksaan Mikroskopik

Struktur mikro yang detail dapat memberikan informasi tentang sejarah termal, temperature operasi, lingkungan kimia, dan penyebab utama kegagalan serta retak yang terjadi.

Pemeriksaan mikro struktur pada permukaan yang retak memberi petunjuk apakah retak terjadi intergranular atau transgranular. Variasi pada material antara daerah yang mengalami kegagalan dengan daerah yang baik dapat menjelaskan efek local yang spesifik seperti terjadinya dekarbonisasi atau penipisan pada suatu paduan logam pada daerah yang mengalami kegagalan.

3.6. Analisa Kimia.

Informasi zat yang menyebabkan terjadinya korosi didapat dengan menganalisa produk korosi atau permukaan logamnya dan menganalisa komposisi material yang terkorosi melalui SEM-EDAK, XRF dan Spectro Meter. Dengan analisa ini dapat pula dicek apakah material sesuai spesifikasi yang telah ditetapkan dan Standar Internasional

3.7 Uji komposisi fluida lingkungan

Uji komposisi kimia terhadap fluida lingkungan tempat terjadinya kegagalan bertujuan untuk mengetahui asal unsur penyebab terjadinya korosi. Korosi pada *tube heat exchanger* hanya terjadi disebelah luar yaitu yang bersinggungan langsung dengan BTM, sedang bagian internal *tube* yang berisikan air pendingin tidak terjadi korosi dengan demikian dapat dikatakan air pendingin pada *heat exchanger* bukanlah sebagai pemicu terjadinya korosi

4. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Spesifikasi HE-XXX

Heat exchanger HE-XXX digunakan untuk pendingin Benzene Toluence Mixing (BTM) yang berada diluar *tube*. Sedang *tube* berisi air pendingin. Kerusakan *tube* terjadi pada sisi sis luar yaitu yang besetuhan langsung dengan BTM. spesifikasi Heat exchger dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Specifikasi HE-XXX

No	Item	Unit	Nilai	Keterangan
1	Type	-	-	Shell and <i>Tube heat exchanger</i>
2	Arah Aliran	-	-	Counter Flow
3	Material Tube	-	-	A179 (Carbon steel)
4	Material Shell	-	-	A516 – 70
5	Material Baffle	-	-	SS-400
6	Fluida di dalam tube	-	-	Air
7	Fluida di dalam shell (di luar tube)	-	-	Benzene

8	Temperatur design tube min / max	°C	15 / 65	-
9	Temperatur design shell min / max	°C	15 / 150	-
10	Temperatur air pada tube	°C	30.8	-
11	Temperatur Benzene Toluence Mixing (BTM) pada shell in / out	°C	121.1 / 82.1	-
12	Design pressure pada tube / shell	KCG	6.0 / 2.8	-
13	Operating pressure pada tube / shell	KCG	4.34 / 0.82	-
14	Jumlah total tube	-	95	-

Komposisi kimia Carbon steel ASTM A 179 dapat dilihat Tabel 3.

Tabel 3. Komposisi kimia carbon steel ASTM A 179

No	Unsur	Unit	Keterangan
1	Carbon	Wt %	0.06 – 0.18
2	Manganese	Wt %	0.27 – 0.63
3	Phosphorus, max	Wt %	0,035
4	sulfur, max	Wt %	0.035
5	Fe	Wt %	Balance

Dari Tabel standard ASTM A 179 terlihat unsur Fe Lebih dari 95%

4.2. Komposisi Fluida Lingkungan

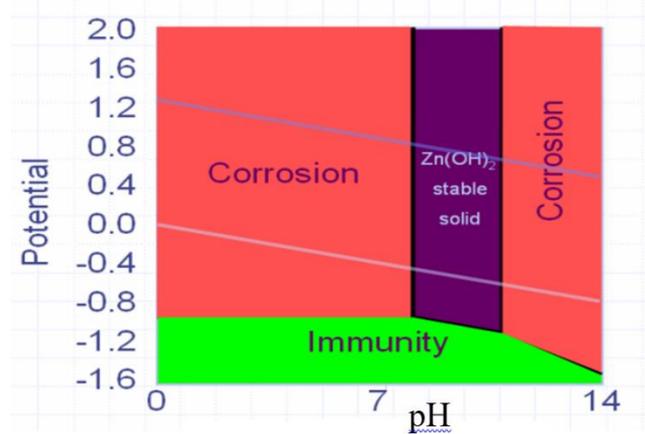
Komposisi Kimia Benzene Toluene Mixing (BTM) terlihat pada pada Tabel 4.

Tabel 4. Komposisi Kimia Benzene Toluene Mixing (BTM)

No	Variabel	Unit	Nilai	Keterangan
1	Fasa Benzene	-	-	Cair
2	Non Aromatic	Wt %	0,1081	-
3	Benzene	Wt %	32,4	-
4	Toluene	Wt %	67,3	-
5	Ethylbenzene	Wt %	0,1777	-
5	PH	Wt %	5	-
6	H ₂ O	Wt %	400-450	-

Data perusahaan dari hasil penelitian ke pihak ke 3.

Pada Tabel 4. dengan PH sama dengan 5, menunjukkan BTM bersifat asam berkemungkinan disebabkan adanya CO₂, yang terlarut dalam air dan membentuk Asam karbonat yang memicu terjadinya korosi seperti terlihat pada diagram Pourbaix Gambar 15.

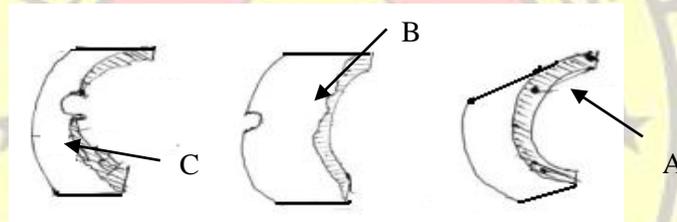


Gambar. 15. Diagram Pourbaix (E-pH) [6]

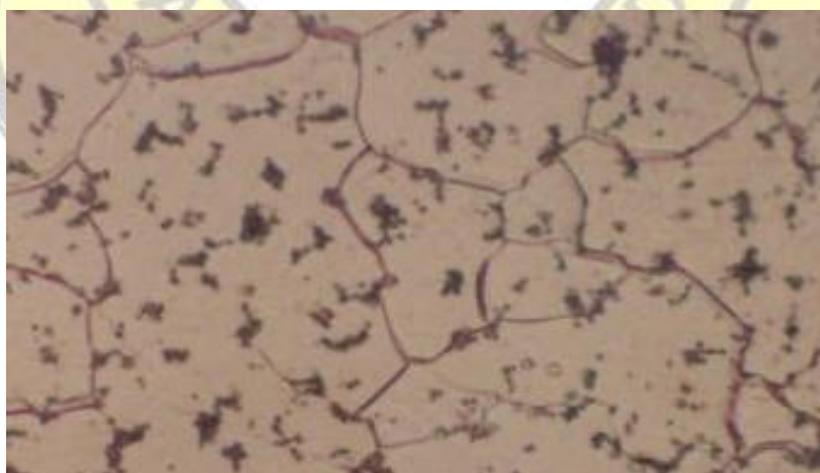
Adanya H₂O dalam BTM dapat membentuk lapisan Oksida dan karena adanya aliran yang terus-menerus dan akan membentuk sumuran korosi atau pitting

4.3. Analisa Fraktografi

Analisa Fraktarografi dilakukan dilakukan untuk melihat jenis korosi yang terjadi dan membandingkan dengan struktur mikro yang terkorosi dengan yang dengan yang tidak korosi.



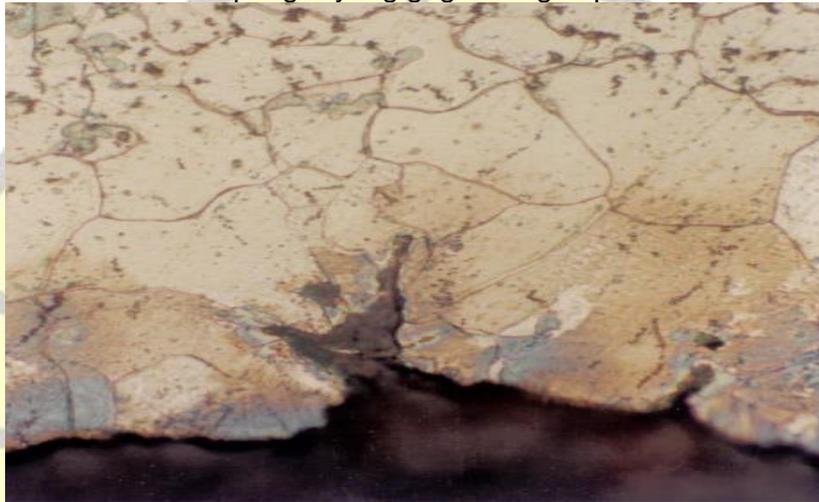
Gambar 16. Penampang tube



Gambar 17. Penampang A yang tidak gagal dengan pembesaran 500 kali



Gambar 18. Penampang B yang gagal dengan pembesaran 500 kali



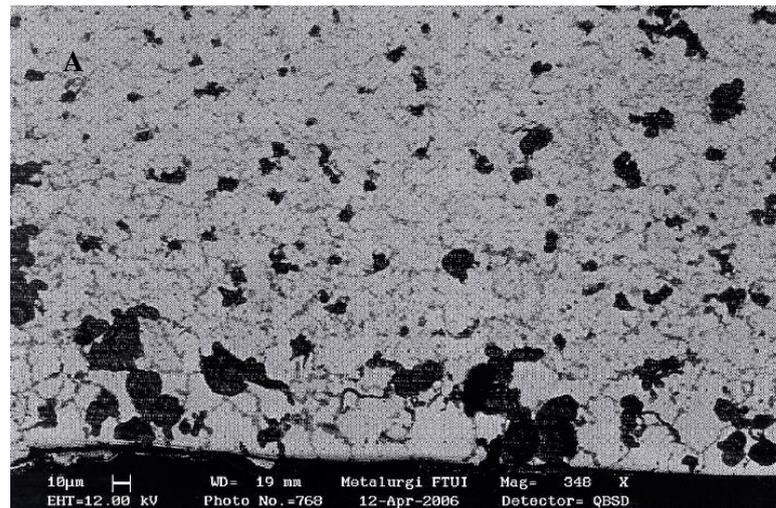
Gambar 19. Penampang C yang gagal dengan pembesaran 500 kali

Pada Gambar 17 untuk sampel yang belum gagal, besar butir masih hampir sama namun sudah terlihat adanya bintik hitam yang merupakan penyebab terjadinya korosi. Sedangkan pada Gambar 18 dan Gambar 19 yang sudah mendekati lubang kebocoran *tube* terlihat bahwa bintik hitam semakin besar dan batas butir juga semakin besar dan menjadi penyebab terjadinya kebocoran. Pembesaran butir dan perubahan struktur mikro seperti pada Gambar 17 dan Gambar 18 karena adanya perubahan kekerasan, adanya butir yang besar dan kecil menimbulkan perbedaan potensial, sisi anoda dan katoda menjadi diam. Hal ini menjadi pemicu terjadinya korosi.

Difusi karbon termasuk penyebab terjadinya korosi terutama pada temperatur tinggi, pada kasus HE-XXX, dengan melihat Tabel 2 temperatur tidak terlalu tinggi, namun terjadi korosi, hal ini kemungkinan disebabkan adanya kenaikan temperature secara tiba tiba.

4.4 Analisa SEM-EDAX

Analisa SEM-EDAX dilakukan terhadap sampel dengan membandingkan butir-butir yang terlihat pada gambar SEM, seperti pada Gambar 20 SEM.



Gambar 20. Bentuk penampang hasil SEM

Tabel 5. Unsur-unsur pada sampel hasil Analisa EDAX

No	Jenis Sampel	Unsur	Titik 1 (Small Grain) Wt%	Titik 2 (Big Grain) Wt%	Titik 3 (Black spot) Wt%
1	Sampel terkorosi	C	0.37	0.51	0.68
2		Si	0.81	-	-
3		O	-	-	34.16
4		Fe	98.82	99.49	65.16
Total			100	100	100

Dari Tabel 5 pada titik 3 (Black Spot) terlihat adanya 34% unsur O dan 68%, unsur C, yang memicu terbentuknya oksida dan karbida sebagai penyebab terjadinya korosi yang menyebabkan kegagalan bahan.

Jika dibandingkan dengan Tabel 3 Komposisi standar ASTM A 179 terlihat bahwa untuk kondisi normal tidak ditemukan perbedaan spesifikasi yang signifikan dengan kondisi actual yaitu unsur Fe tetap diatas 95%. Hasil analisa ini menunjukkan bahwa spesifikasi material *tube* yang dipakai sesuai dengan spesifikasi standar.

4.5 Analisa Vickers

Analisa Vickers pada sampel yang terkorosi dan yang tidak terkorosi . dilakukan dengan beban uji (P) sebesar 500 gram.

Tabel 6. Hasil uji kekerasan vickers

Jenis Sampel	Indentasi	d(Micron)	Hardness Vickers (H V)
Sampel	1	66	212.8
Tidak korosi	2	66	212.8
	3	66	212.8
	4	65	219.4
	5	66	212.8

Rata-rata			214.12
Sampel	1	64	226.3
Korosi	2	60.5	253.2
	3	60.1	256.6
	4	57.0	285.3
	5	60.2	255.7
Rata-rata			255.42
Deviasi			41.3

Terlihat adanya perbedaan nilai Vickers Hardness (HV) antara sampel yang terkorosi dengan yang tidak terkorosi. HV sampel terkorosi lebih tinggi 41.3 dengan sampel yang tidak terkorosi. Hal ini dikarenakan pada sampel terkorosi terbentuknya oksida pada permukaan sampel.

4.6 Analisa Spectro

Analisa spectro adalah merupakan salah satu metode untuk menentukan komposisi unsur pada suatu material seperti terlihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Unsur-unsur pada sampel hasil Analisa Spectro

No	Unsur	% Wt		
		Titik 1	Titik 2	Rat-rata
1	C	0.10722	0.10912	0.10817
2	Si	0.19543	0.20374	0.19959
3	Mn	0.51440	0.52787	0.52114
4	P	0.02447	0.02277	0.02362
5	S	0.01090	0.00949	0.01020
6	Cr	0.01961	0.02020	0.01991
7	Ni	0.00623	0.00570	0.00597
8	Cu	0.00930	0.00986	0.00958
9	Mo	0.00426	0.00424	0.00425
10	V	0.00121	0.00158	0.00140
11	W	0.00016	0.00008	0.00012
12	Al	0.03108	0.03281	0.03195
13	Ti	0.00002	0.00036	0.00019
14	Sn	0.00068	0.00075	0.00072
15	B	0.00004	0.00004	0.00004
16	Nb	0.00091	0.00142	0.00117
17	Pb	0.00058	0.00166	0.00112
18	Fe	99.07350	99.04831	99.06091
	Total	100.00000	100.00000	100.00000

Dari tabel diatas terlihat bahwa komposisi unsur sampel yang paling tinggi adalah Fe 99.06% kemudian diikuti oleh Mn, Si dan C.

Dibandingkan dengan Tabel 4.2 Komposisi standar ASTM A 179, sebagai bahan *tube* ternyata masih sesuai dengan spesifikasi

4.7 Analisa XRF

Analisa XRF yang telah dilakukan pada sampel ditemukan 6 komposisi unsur pada sampel material *tube* seperti terlihat seperti pada tabel 8.

Tabel 8. Komposisi unsur penyusun hasil XRF

No	Unsur	Wt (%)	at Mole (%)
1	Al	1.2742	2.5433
2	Si	1.8505	3.5484
3	S	0.2952	0.4958
4	Ca	0.7174	0.9640
5	Cr	0.0566	0.0586
6	Fe	95.8061	92.389

Dari tabel 8 terlihat bahwa unsur komposisi terbesar adalah Fe yaitu 95.8061. Dibandingkan dengan Tabel 4.2 Komposisi standar ASTM 179, sebagai bahan *tube* ternyata masih sesuai dengan spesifikasi.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah penulis lakukan, maka penulis menyimpulkan :

1. Material *tube* HE-XXX adalah ASTM A 179, berdasarkan hasil komposisi dengan Analisa SEM-EDAX, Spectro dan XRF komposisi unsur *tube* sesuai dengan standar ASTM A 179
2. Perubahan kekerasan yang disebabkan oleh perubahan struktur dan perbedaan besar butir yang menimbulkan beda potensial sehingga akan membentuk sisi anoda dan katoda adalah merupakan salah satu pemicu terjadinya korosi. Hal ini dimungkinkan karena adanya Difusi karbon, walaupun pada data standar operasi temperature operasi 121.1 C, dan tidak menyebabkan difusi namun melihat efek yang ditimbulkan menunjukkan terjadinya kenaikan temperature operasi melebihi standar operasi
3. Dari hasil EDAX terlihat bahwa produk korosi oksidasi disebabkan adanya kandungan air dan CO₂ yang terlarut dalam BTM dan membentuk lapisan oksida. Lapisan oksida yang terbentuk akan terkelupas akibat aliran fluida, sehingga akan membentuk sumuran korosi atau korosi pitting.
4. BTM bersifat asam karena PH=5, disebabkan adanya CO₂ yang terlarut sehingga membentuk asam karbonat, yang dapat menjadi pemicu terjadinya korosi
5. Hasil analisa Hardness Vickers membuktikan adanya oksida dan karbida sehingga pada sampel terkorosi lebih keras dibandingkan dengan sampel yang tidak korosi.

5.2 Saran

Untuk untuk mencegah dan mengurangi laju korosi pada tube heat exchanger

jenis HE-XXX hendaknya :

1. Meningkatkan kemurnian BTM yang digunakan
2. Menggunakan Inhibitor yang sesuai.

DAFTAR PUSTAKA

1. Ernes E. Ludwig, 1993, ***Applied Process Design For Chemical and Petrochemical Plants, Volume 3, Second Edition***,
2. Rebert H Perry and Dong Green, 1999, ***Perr's Chemical Engineer Handbook, Eight Edition***, McGraw-Hill International
3. Rakesh Kaul, N.G Muralidharan, T.Jayakumar, K.V Dayal, V.R. Raju Kasiviswanathan and Baldev Raj, 1995, ***Failure Analysis of carbonate Reboiler, Heat exchangers***, Journal, Division for PIE & NDT Development, Indira Gandhi Centre for Atomic Research Lalpakkam 603 102, India
4. H. Uelig, 1999, ***Principle Prevention of Corrosion, Second Edition***, McGraw-Hill International
5. Betz, 1991, ***Betz Haand Book of Industrial of Industrial Water Conditioning, Ninth Edition***, McGraw-Hill Book Company
6. Denny A. Jones, 1996, ***Principles and Prevention of Corrosion, Second Edition***, Prentice Hall International, Inc
7. John Chamberlain, 1991, ***Korsi untuk Mahasiswa dan Rekeyasa***, PT Gramedia Pusaka Utama, Jakarta

