

Analisis Korosi Pada Inside Water Wall Tube PLTU Tarahan Unit 3 Lampung

Ammar Asof

Jurusan D3 Teknik Mesin, Sekolah Tinggi Teknik – PLN

Email : eko.sulistyo@gmail.com

Ucok Nelwan P

Jurusan D3 Teknik Mesin, Sekolah Tinggi Teknik – PLN

Abstract

Results of chemical composition analysis and EDS (Energy Dispersive X-ray spectroscopy) on waterwall tube boiler, Unit 3 EVAL Lampung 2x100 MW power plant, has experienced early corrosion, and observed the chlorine element content of 0.48%, which spurred the initial padapermukaan corrosion inside diameter of the tube waterwall. This indicates that there has been a difusitas chlorine on the surface of the waterwall tube diameter, which is the cause of the onset of corrosion on the waterwall tube, after the vines and get in on the inside and spread to the other side. This confirmed the results of an electron microscope photograph with magnification 1000X and 1500X. Most likely the difusitas chlorine process is caused by chlorine dissolved in the raw water boiler.

Keywords: Initial Corrosion, difusitas chlorine, Metallography

1. PENDAHULUAN

Water Wall pada Boiler CFB pada suatu PLTU mempunyai peranan penting, yaitu merupakan media panas yang merubah air baku menjadi uap jenuh, Water Wall ini berupa pipa-pipa air (riser) yang membentuk dinding mengelilingi Furnace secara vertical. Air yang telah dipanaskan oleh Econoimizer dan di pisahkan di Steam Drum kemudian dialirkan melalui Down Comer menuju riser (aliran naik) yaitu water wall untuk di rubah menjadi uap. Apabila terdapat endapan dan korosi pada inside water wall tube akan menyebabkan kehilangan efisiensi yang dapat mengakibatkan kegagalan dalam pipa boiler dan ketidakmampuan memproduksi **steam**. Endapan bertindak sebagai **isolator** dan memperlambat perpindahan panas.

Efek pengisolasian terhadap endapan menyebabkan naiknya suhu logam boiler dan mungkin dapat menyebabkan kegagalan pipa karena pemanasan berlebih. Penelitian permukaan dalam water wall tube yang mengalami kerusakan ini dimaksudkan untuk menelusuri sebab-sebab terjadinya kerusakan, dan hasilnya dapat dipergunakan sebagai pegangan atau referensi atau penelusuran data, sehingga merupakan pedoman program (Program Manual).

Penelitian kerusakan korosi pada inside water wall tube pada PLTU Tarahan Unit 3 Tarahan ini bekerja sama dengan Laboratorium di Pusat Penelitian Metalurgi - LIPI dengan metodologi penelitiannya menggunakan mikroskop optik untuk mengetahui tebal lapisan dan komposisi lapisan deposit dan mikroskop elektron untuk mengamati secara seksama fenomena korosi yang terjadi di water wall tube. Pengujian kehilangan berat, Untuk mengetahui tingkat kerapatan oksida yang terbentuk didalam dinding pipa. Untuk mengetahui atau menduga (memprediksi) penyebab serangan korosi dilakukan analisis senyawa kimia yang mempergunakan EDS (Energy Dispersive Spectroscopy).

2. KAJIAN LITERATUR

Korosi

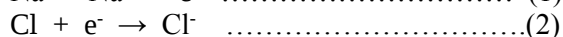
Korosi secara umum didefinisikan sebagai proses oksidasi pada suatu logam dengan waktu proses senyawa kurun waktu yang lama. Suatu logam yang terserang oleh korosi lebih disebabkan karena faktor lingkungan yang menjadikan penggalak dan dimana disitu ada unsur-unsur kandungan senyawa asam yang merupakan pemicu terjadinya proses senyawa oksidasi, karena proses elektrolisa atau pemindahan

elektron, maka disanalisa pada akhirnya terjadilah pada persamaan (2) yang mengambil electron proses korosi pada logam.

Ada dua macam istilah korosi pada logam suhu tinggi. Pertama korosi yang disebabkan suhu (temperatur) tinggi yaitu pada suhu tinggi laju oksidasi logam-logam meningkat atau unsur-unsur pencetus korosi seperti klor, nitrogen, atau unsur pembentuk asam mudah bereaksi dengan logam yang mempunyai ketahanan korosi tinggi, seperti nikel, chromium, aluminium, titanium dan lain-lain.

Kedua adalah korosi panas (*hot corrosion*), yaitu kombinasi antara oksidasi dan reaksi-reaksi dengan belerang, natrium, nitrogen, klor dan pengotor-pengotor lain pencetus korosi, baik udara yang dihisap maupun yang berasal dari bahan bakar, atau larutan media yang lain.

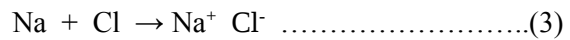
Korosi panas pada logam yang beroperasi pada suhu tinggi melibatkan dua faktor gabungan, yaitu unsur (zat) dan energi. Zat atau senyawa yang paling berpeluang menimbulkan korosi panas salah satunya adalah natrium-klorida. Senyawa ini apabila dilarutkan dalam air atau uap air akan menghasilkan suatu medium korosi yang sangat agresif, sama agresifnya dengan air laut. Zat yang terbentuk bila natrium logam bereaksi dengan gas klorin yang beracun ini tidak berbahaya, berwarna putih, berbentuk padat dan yang sering dikenal dengan sebutan garam dapur. Atom-atom natrium dan klorin telah menjadi ion-ion dan reaksi antara keduanya mengungkapkan suatu kenyataan penting tentang semua ion, yakni sesudah bermuatan listrik, ion-ion mempunyai sifat-sifat berbeda dari atom-atom asal masing-masing. Menggunakan tata (nama) penulisan kimia dimana natrium dituliskan dengan Na, klorin dengan Cl, dan electron dengan e^- , kita dapat menuliskan reaksi-reaksi yang menggambarkan pembentukan garam dapur sebagai berikut:



Persamaan (1) menyatakan bahwa sebuah atom natrium menyerahkan sebuah electron untuk membentuk ion natrium bermuatan positif (+). Sedangkan persamaan (2), menyatakan bahwa sebuah atom klorin menerima sebuah electron untuk membentuk ion klorida ber muatan negative (-). Reaksi seperti pada persamaan (1) yang mengeluarkan electron disebut reaksi-reaksi oksida. Sementara reaksi-reaksi seperti

disebut reaksi-reaksi reduksi. Semua reaksi korosi tergolong reaksi-reaksi oksidasi.

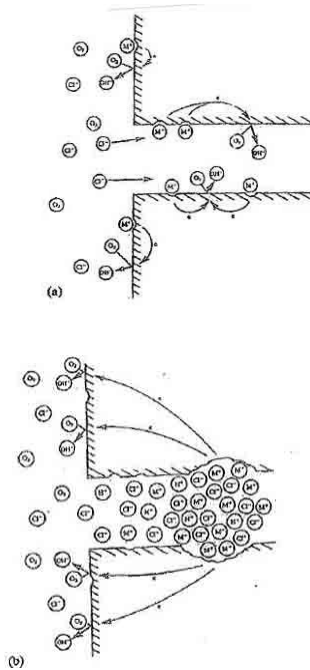
Dari peristiwa diatas, terdiri dalam dua persamaan terpisah, dan bisa juga dituliskan persamaan yang merupakan penjumlahan persamaan (1) dan (2), yaitu:



Dalam bentuk seperti ini, persamaan (3) tidak ada petunjuk langsung tentang pertukaran-pertukaran elektron yang telah terjadi, walaupun dedukasinya lebih mudah. Seperti dalam semua persamaan, ruas kiri dan ruas kanan harus seimbang. Persamaan kimia harus selalu seimbang dalam hal massa maupun listrik. Dalam beberapa hal penulisan natrium klorida sebagai NaCl tidak memberikan makna khusus. Ion-ion dalam kristal yang tersusun beraturan dan besar memerlukan sebuah rumus, $(\text{NaCl})_n$, tetapi dalam perhitungan-perhitungan rumus NaCl terasa lebih mudah.

Apabila bahan ionic dilarutkan kedalam air maka ion-ionnya memisahkan diri dan menyebar secara acak diantara molekul-molekul air. Berapapun banyaknya garam yang digunakan untuk membuat larutan, banyak ion natrium selalu sama dengan banyaknya ion klorida. Pernyataan ini lebih penting dari yang semula kita perkirakan dan lebih baik bila disebut prinsip elektronetralitas. Jadi, setiap kali ada sebuah ion positif terbentuk, sebuah ion negative juga terbentuk pula.

Gambar 1 adalah teori Mekanisme Greene pada rambatan korosi suhu tinggi, yang menggambarkan pada Gambar 1 (a) adalah saat kondisi awal atau disebut serangan awal, korosi terjadi diseluruh permukaan logam dalam bentuk bercak-bercak atau bintik-bintik lubang halus. Dan kemudian, pada tahap berikutnya terjadi perambatan korosi. Korosi secara bertahap merambat masuk pada barier yang lebih dalam dan meluas. Yang pada akhirnya, Gambar 1(b) pada pelarutan logam terjadi hanya disebelah dalam celah. Karena apa? Karena pada celah (korosi) disitulah keasamannya meningkat dan terutama konsentrasi ion klorida, sehingga reaksi selanjutnya mampu merambat, menembus dan berjalan secara mandiri.



Gambar 1 : Mekanisme-Greene pada rambatan korosi

- Kondisi awal: Korosi terjadi diseluruh permukaan logam
- Kondisi akhir: Pelarutan logam terjadi hanya disebelahdalam celah

Pada *Water Wall* Boiler CFB Unit 3 di gunakan jenis pipa sebagai berikut :

- Jenis material pipa
SA 210 A1
 - Kadar Carbon
 - Diameter luar
 - Ketebalan
 - Diameter dalam
 - Jumlah pipa pada *Water Wall*
 - Sisi kanan (Barat)
 - Sisi depan (Selatan)
 - Sisi kiri (timur)
 - Sisi belakang (utara)
- Jumlah keseluruhan

Waterwall tube yang digunakan pada konstruksi boiler berdasarkan standard ASTM menggunakan material yang memiliki sifat mekanik dan komposisi kimia seperti yang ditunjukkan pada table dibawah ini :

Tabel 1. Komposisi Kimia dan Sifat Mekanik Material SA 210 A1

Alloy	Product form	ASME or ASTM specification	Grade	Minimum tensile strength, ksi	Minimum yield strength, ksi	Composition, %							
						C	Mn	P	S	Si	Ni	Cr	Mo
Intermediate strength	Tubes	SA-210	A-1	60	37	0.27	0.93	0.035	0.035	0.10	n		

Berikut adalah data spesifikasi maksimum temperatur pada penggunaan material SA 210 A1 sesuai standard :

Tabel 2. Maksimum Temperatur Material SA 210 A1

ASME SPECIFICATION	ASME SECTION II D	BABCOCK & WILCOX	ALSTOM	RILEY
SA 210 A1	1000°F/538°C	950°F/510°C	850°F/454°C	850°F/454°C

Material SA 210 A1 ini sesuai digunakan sebagai material *waterwall tube* pada boiler CFB, karena temperature dinding material tersebut pada saat boiler beroperasi sekitar $\pm 425^{\circ}\text{C}$, suhu tersebut masih dibawah standard maksimum temperatur sesuai tabel diatas.

Waterwall tube ini memiliki karakteristik : Medium Steel Carbon, kekuatan, tahan temperatur dan tekanan uap tinggi. Tetapi komponen ini memiliki potensi untuk mengalami kerusakan yang disebabkan oleh bed material didalam ruang bakar yaitu fenomena terjadinya keausan dalam hal ini erosi. Terjadinya keausan pada *waterwall tube* karena adanya aliran turbulen pada saat pembakaran didalam furnace. Aliran turbulensi ini terjadi karena adanya aliran udara primer dari bagian bawah furnace, sehingga partikel material bed material bergerak dan menggesek outer diameter *waterwall tube*. Pada boiler CFB, keausan *waterwall tube* cenderung terjadi pada bagian transisi atas setelah *refractory*.

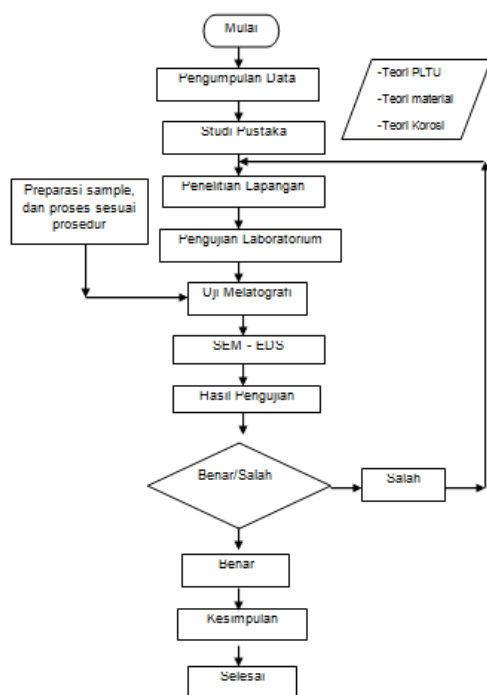
Analisis komposisi kimia dilakukan untuk mengetahui kandungan komposisi kimia pada material SA 210 apakah sesuai karakter penggunaannya pada temperatur dan tekanan tinggi. Dari hasil pengujian komposisi kimia tersebut akan disesuaikan dengan standar komposisi kimia ASTM untuk material SA 210 A1. Berdasarkan spesifikasi material SA 210 A1 (ASME Specification) merupakan seamless

medium carbon steel boiler tube. Berikut adalah tabel hasil pengujian komposisi kimia material SA 210 A1 :

Tabel 3. Unsur komposisi kimia

Benda Uji / Specimen	Hasil / Result	
	Unsur / Elemen	(Wt %)
Material waterwall tube	Fe	98.42
SA 210 A1	C	0.132
	Si	0.253
	Mn	0.684
	Cr	0.113
	Ni	0.061
	Mo	0.020
	S	0.010
	P	0.002
	Cu	0.238
	Al	0.030

3. METODE PENELITIAN



Gambar 2. Diagram alir penelitian

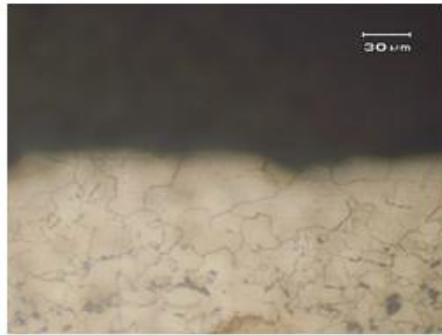
4. ANALISA DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan ASTM, spesifikasi komposisi kimia utama yang terkandung dalam material SA 210 A1 adalah : **Carbon (C)** 0.27%, berdasarkan komposisi kimia kadar karbon (C) adalah 0.13% yang berarti material SA 210 A1 yang digunakan

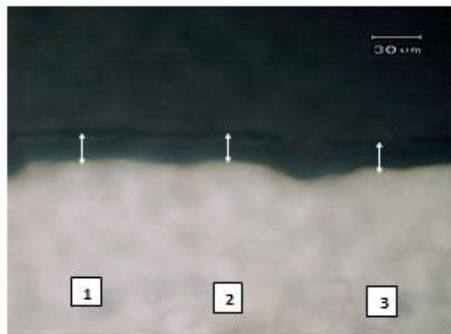
merupakan baja karbon rendah, yang berarti material ini tidak terlalu keras tetapi memiliki keuletan yang baik. Material waterwall tube tersebut tidak sesuai spesifikasi, karena menurut standard material SA 210 A1 ini merupakan baja karbon menengah. **Silikon (Si)** 0.10% min, dari hasil pengujian, kandungan Si 0.25%. Silikon ini dapat meningkatkan kekuatan baja pada suhu tinggi tanpa mengakibatkan penurunan terhadap keuletan. Unsur Si ini juga berfungsi sebagai deoksidasi. **Mangan (Mn)** 0.93%, hasil pengujian kandungan mangan sebesar 0.68%, berarti kandungan mangan tidak sesuai spesifikasi standard. Mangan ini dapat mencegah kegetasan pada suhu tinggi. **Chrom (Cr)** 0.11%, chrom dapat meningkatkan ketahanan korosi dan oksidasi, chrom juga dapat meningkatkan kekuatan pada suhu tinggi. **Nikel (Ni)** 0.06%, nikel dapat meningkatkan ketangguhan dan kekuatan terhadap beban impact. **Molybdenum (Mo)** 0.020%, unsur ini dapat menguatkan fasa ferit dan menaikkan kekuatan baja tanpa kehilangan keuletan. **Sulfur/Belerang (S)** 0.035%, dari hasil pengujian kandungan sulfur 0.010%. kandungan sulfur 0.010% cukup baik, karena sulfur dapat menurunkan keuletan dan kekuatan pada baja. **Phosphor (P)** 0.035%, hasil pengujian kandungan phosphor sebesar 0.002%, phosphor ini merupakan impuritas yang dapat menurunkan keuletan dan kekuatan pada baja, tetapi phosphor berguna untuk membersihkan material tube dari unsur penyebab korosi.

Tabel 4. Chemical Analysis Deposits

Element	Outer Deposits (wt %)	Inner Deposits (wt %)
Zn	0.57	1.01
Cu	2.62	18.23
Ni	2.61	9.43
Ti	0.1	<0.001
Mg	0.57	0.6
Ba	0.31	0.07
Fe	57.06	38.32
Ca	2.81	<0.001
Mn	0.21	0.48
Cr	0.42	0.14
Si	1.76	<0.001
Al	0.11	<0.001
P	0.29	1.49
Cl	0.1	0.48
S	0.02	<0.001
O	Balance	Balance

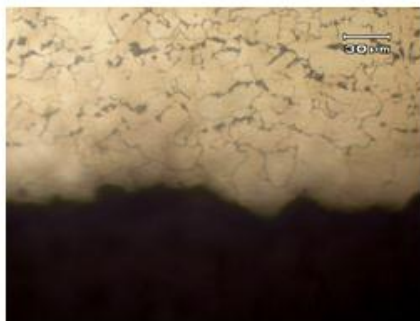


(a)

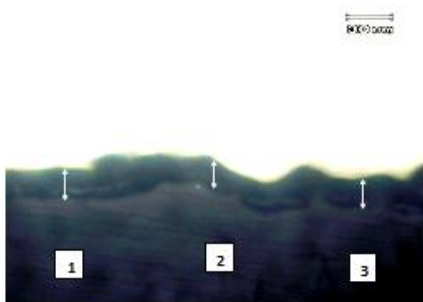


(b)

Gambar 3. Struktur mikro sampel 1 "area hot stage (sisi api) ID" posisi melintang. Etsa Nital 2%



(a)



(b)

Gambar 4. Struktur mikro sampel 1 "area cold stage (sisi dinding) ID" posisi melintang. Etsa Nital 2%.

Tabel 3. Tebal Lapisan Deposit area hot stage

Posisi	Tebal Lapisan Deposit	
	Tebal dari Foto	Tebal sebenarnya
1	6,91	$6,70 \text{ mm} \times 30 \mu\text{m} = 20,11 \mu\text{m}$ 10 mm
2	6,51	
3	6,69	
Rata-rata	6,70	

Tabel 4. Tebal Lapisan Deposit area cold stage

Posisi	Tebal Lapisan Deposit	
	Tebal dari Foto	Tebal sebenarnya
1	7,11	$6,74 \text{ mm} \times 30 \mu\text{m} = 20,22 \mu\text{m}$ 10 mm
2	6,51	
3	6,60	
Rata-rata	6,74	

Tabel 5. Kerapatan Deposit

Sampel	Massa, mg			Area, cm ²	Kerapatan Deposit	
	Awal	Akhir	Selisih		mg/cm ²	g/m ²
Area cold stage (sisi dinding)	46572,5	46501,2	71,3	3,25 x 3,10	7,077	70,77
Area hot stage (sisi api)	27696,0	27651,8	44,2	2,55 x 2,80	6,190	61,90



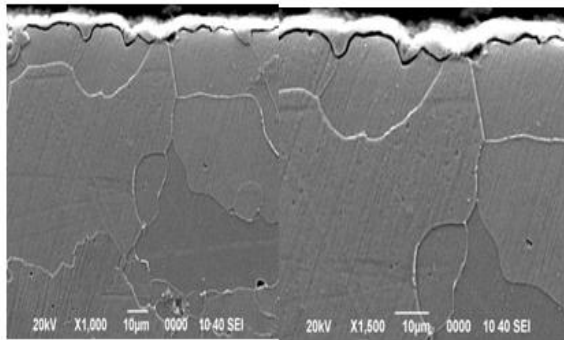
Gambar 5. Area hot stage (sisi api) mikroskop optik

(a). Pembesaran 200X

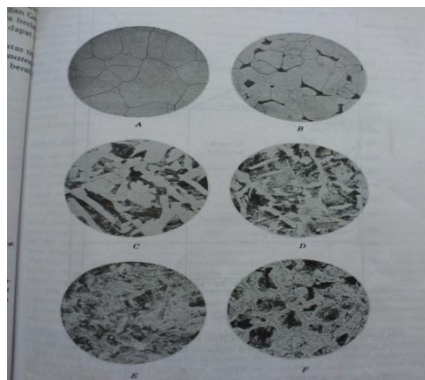
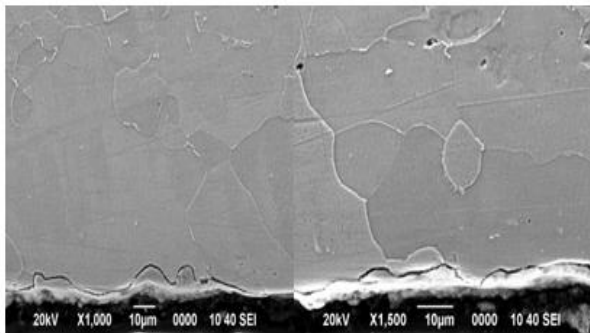
(b). Pembesaran 500X

Untuk mengetahui terjadinya korosi awal (Initial Corrosion), Difusitas klorin dipermukaan dinding dalam pipa waterwall tube terlihat jelas pada foto mikroskop optik dengan pembesaran 200X dan 500x, terdapat lubang-lubang yang bila kita amati secara visual menunjukkan bintik-bintik lubang halus, kenyataannya adalah korosi sudah sangat meluas dan cenderung sudah pada tingkat penyusutan lebih lanjut.

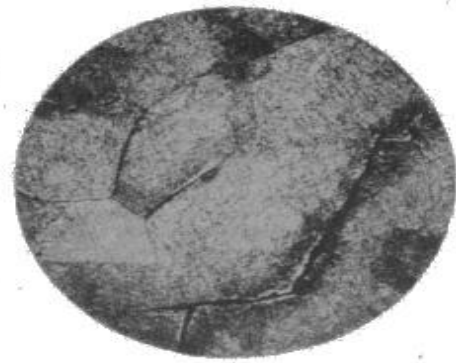
Hasil SEM – EDS Area Cold Stage
Foto permukaan Elektron Microscope
(perbesaran 1000& 1500 x)



Hasil SEM – EDS Area Hot Stage
Foto permukaan Elektron Microscope
(perbesaran 1000& 1500 x)



Gambar 6. Mikro paduan besi – karbon yang merupakan efek pertambahan karbon atas struktur logam. A . Besi murni ; B. 0,12%C , C ;0,40%C, D ;0,62% C, E 0,79% C, F ; 1,41%



Gambar 7. Pemisah Kristal dan butiran yang sangat besar. Pembesaran 300x

Dari hasil analisis senyawa kimia pada daerah inner deposit seperti pada Tabel 4.1.2 teramati adanya unsur penggalak atau pencetus korosi dipermukaan dinding dalam waterwall tube, yaitu **Klor** sebesar 0,48%Cl. Jumlah ini sangat tinggi, karena batas kandungan klorin yang disyaratkan dalam uap turbin kurang dari 0,02%.Klor yang terkandung didaerah korosi awal (0,48%Cl) ini biasanya terjadi karena dua faktor penunjang, yaitu pertama berasal dari sumber air ketel uap yang belum ternetralisis kandungan klorinnya atau kedua karena proses penyuntikan klorin untuk usaha mentralkan pHnya, yaitu sekitar 7. Alhasil dari kandungan klorin yang terlarut dalam air baku ketel uap atau pada proses penyuntikan klorin dalam ketel uap secara tidak langsung menjadi sumber terjadinya fenomena atau kejadian korosi awal (Initial Corrosion) pada permukaan dinding dalam waterwall tube.

Karena klor dalam hal ini berfungsi sebagai penggalak atau pencetus awal korosi. Pada suhu yang sangat tinggi ($>425^{\circ}\text{C}$) maka cukup adanya energi yang cukup tinggi atom-atom klor untuk merubah menjadi ion-ion yang bermuatan listrik negatif (anion) atau membentuk ion klorida. Ion-ion klorida ini secara reaktif mengikat Fe yang membentuk fero klorida (FeCl) dan demikian pula pada krom akan membentuk kromium klorida (CrCl) dengan bentuk kristal tipe spinal pada permukaan korosinya.

Kesimpulan

1. Kerusakan material water wall tube disebabkan oleh terakumulasinya panas atau overheating yang terjadi pada dinding material water wall tube dikarenakan adanya

deposit yang melapisi sisi dalam water wall tube sehingga memicu terjadinya kerusakan.

2. Yang menjadi penyebab utama kerusakan material water wall tube yaitu proses perpindahan panas yang dialami oleh material water wall tube pada inside diameter(ID), tidak sempurna karena terhalang oleh deposit. Sehingga kekuatan material tube tidak mampu menahan panas yang terakumulasi atau overheating, Pada akhirnya terjadi deformasi diameter tube (menggelembung) pada permukaan water wall tube yang menyebabkan pecahnya tube.
3. Kemungkinan besar terjadinya proses difusitas klorin disebabkan karena klorin terlarut dalam air baku ketel uap.

Daftar Pustaka

Ansory Kamil, *Sistem Udara Pembakaran*, PT. PLN (Persero) Sektor Pembangkitan Tarahan, 2006.

Bambang Isti Eddy, *Bahan Kuliah Mesin Konvensional*, 2012.

Boiler Tube Thickness unit3&4.ppt, PT. PLN (Persero) Sektor Pembangkitan Tarahan, 2009.

Elektro Blog, *Teknologi Boiler CFB*, 2010
KR. Trethewey and J. Chamberlain, *Korosi untuk mahasiswa & rekayasawan*. Gramedia Jakarta 1991.

Sugiarto, *Bahan Kuliah Analisa Kerusakan*, STT PLN, 2010.

Migas_Indonesia@yahoogroups.com,
Kelemahan dari CFB, 2010
<http://www.box.net/shared/umnf5srd40> ;
didownload pada 12 mei 2012, jam 14:30
[Http://prosesproduksilistrik-methadhee.blogspot.com/](http://prosesproduksilistrik-methadhee.blogspot.com/) ; dikutip pada 22 juni 2012, jam 14:25