



ANALYSIS CORROSION & PREDICTION MATERIALS AGE REMAINED FIN TUBE SUPERHEATER HRSG PLTGU

Razul Harfi

Fakultas Teknik / Jurusan Teknik Mesin, razul.harfi.depok@gmail.com, ISTN

ABSTRACT

The purpose of this research is to analyse material condition of super heater tube fin that has been operated for 5 years. To realize this work, corrosion variation and corrosion rate that occur in the pipe need to be identified. Corrosion rate is measured with lost weight measurement method. Based on corrosion rate can be determined the remaining material age. Heavy corrosion may outcome stress crescent. Methodology used for the experiment were chemical composition test, metallographic test, corrosion test and hardness test. Results from the research showed that super-heater tube fine had experiment some corrosion and the materials age remained is approximately after 5 years operated is 7,7391 years. This is based on the assured that the corrosion rate is linear

Keywords: PLTGU, HRSG, Fin Tube Super Heater, Flow Corrosion.

ABSTRAK

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis kondisi material sirip tabung pemanas super yang telah dioperasikan selama 5 tahun. Untuk mewujudkan pekerjaan ini, variasi korosi dan tingkat korosi yang terjadi pada pipa perlu diidentifikasi. Tingkat korosi diukur dengan metode pengukuran berat badan yang hilang. Berdasarkan tingkat korosi dapat ditentukan usia material yang tersisa. Korosi berat dapat mengakibatkan bulan sabit stres. Metodologi yang digunakan untuk percobaan adalah uji komposisi kimia, uji metalografi, uji korosi dan uji kekerasan. Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa tabung pemanas super halus telah bereksperimen beberapa korosi dan usia bahan yang tersisa adalah kira-kira setelah 5 tahun kemudian dioperasikan 7.7391 tahun. Hal ini didasarkan pada kepastian bahwa tingkat korosi adalah linier.

Kata Kunci: PLTGU, HRSG, Pemanas Super Tabung Sirip, Korosi Aliran.

1. PENDAHULUAN

Pusat Listrik Tenaga Uap dan Gas PLTGU adalah merupakan combined cycle antara antara Pusat Listrik Tenaga Gas (PLTG) dengan Pusat Listrik Tenaga Uap (PLTU), dengan menggunakannya HRSG sebagai daur ulangnya. Gas buang hasil pembakaran PLTG dengan temperatur yang cukup tinggi sekitar (400 – 425) °C dan tekanan 70 bar dimanfaatkan untuk memanaskan air di dalam pipa ekonomisir serta menguapkannya dalam pipa evaporator dan superheater yang terdapat dalam HRSG. Untuk menghasilkan gas penggerak turbin gas digunakan minyak residu hasil produk destilasi minyak bumi yang mengandung sifat kimia tertentu. Pipa yang digunakan pada HRSG umumnya merupakan baja paduan dengan karbon rendah dengan kadar karbon < 0,8 % dengan unsur pepadu chrom-molibden.

Komponen-komponen HRSG yang dilewati uap dengan temperatur dan tekanan tinggi dalam pemeliharaannya perlu dilakukan inspeksi secara berkala serta dikaji kondisi yang mungkin dapat terjadi dan diidentifikasi tingkat kerusakan atau penurunan kondisi dari bagian peralatan terutama yang dibebani oleh temperatur dan tekanan tinggi dalam waktu yang cukup lama akan terjadi penurunan ketahanan material.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tinjauan Umum Korosi

Korosi adalah proses kerusakan sehingga akan menjadikan penurunan sifat logam karena logam bereaksi dengan lingkungan. Proses perusakan, perubahan penampilan dan sifat yang dialami logam umumnya akibat adanya reaksi kimia atau elektrokimia dengan lingkungannya. Proses korosi merupakan proses yang alamiah, secara termodinamis logam kembali ke bentuk yang stabil di alam yaitu ke bentuk oksidannya karena kecenderungan normal suatu logam untuk kembali ke keadaan normalnya (*natural state*) atau ke bentuk yang lebih stabil, misalnya sebagai mineral, senyawa. Proses ini tidak dapat dicegah, akan tetapi hanya dapat dikendalikan lajunya korosinya. Pengklasifikasian korosi dilakukan dengan berbagai cara, seperti korosi pada temperatur tinggi dan korosi pada temperatur rendah, kombinasi dari keduanya dan korosi elektrokimia, baik secara basah maupun kering. Korosi secara umum dapat digolongkan menjadi 3 (tiga) kategori yaitu; korosi uniform (*general corrosion*), korosi lokal (*local corrosion*) dan *stress corrosion cracking (SCC)*

2.2 Klasifikasi Korosi

Korosi secara umum dapat digolongkan menjadi 3 (tiga) kategori yaitu; korosi uniform (*general corrosion*), korosi lokal (*local corrosion*) dan *stress corrosion cracking (SCC)*.

2.2.1 Korosi Umum

Korosi uniform merupakan jenis korosi yang sering dijumpai, jenis korosi ini disebabkan oleh reaksi kimia yang menyerang secara uniform dipermukaan logam. Sebagai contoh: sepotong baja atau aluminium dicelup didalam asam atau basa seperti terlihat pada Gambar 2.1. maka terjadi pelarutan baja dengan kecepatan uniform dipermukaannya. Untuk mengetahui korosi uniform ini biasanya mudah namun menentukan penyebabnya biasanya agak sulit.



Gambar 2.1. Gejala Korosi Uniform baja oleh Basa

2.2.2 Korosi Lokal

Korosi lokal yang dialami dapat dibagi seperti :

- a. Korosi Sumur (Pitting Corrosion)
- b. Korosi Celah/Sela/Sel Konsentrasi (krevis)
- c. Korosi Galvanik
- d. Korosi Fretting (Freting Corrosion)
- e. Korosi Tumbukan (Impengement Corrosion)
- f. Korosi Kavitasi (Cavitation Corrosion)

2.2.3 Stress Corrosion Cracking (SCC)

Baja dan paduannya apabila peka terhadap lingkungan korosif tertentu dan pada saat yang sama menerima tegangan tarik, akan mengalami retakan karakteristik yang dikenal dengan *stress corrosion cracking (SCC)*. Gejala “cracking” pada suatu bagian logam tidak terlihat nyata kalau hanya dilihat dengan visual. Tetapi dengan menggunakan alat mikroskopik akan terlihat dengan jelas fenomena cracking tersebut jenis korosi tipe cracking adalah “Statics Corrosion Cracking”, sebagai hasil kombinasi pengaruh dari statics stress dengan korosi. Statics stress dapat berasal dari residual atau service stress. Hasil cracking dapat bercabang dan menjalar pada arah transgranular atau intergranular atau kadang-kadang kedua arah tersebut.

2.2.4. Pengukuran Laju Korosi

Pengukuran laju korosi adalah merupakan suatu hal yang sangat diperlukan dalam menentukan sisa umur dari material. Untuk menentukan laju korosi dari material yang digunakan dalam suatu lingkungan bersifat korosif, maka data laju korosi berbagai macam material dapat dijadikan sebagai patokan dasarnya. Metoda penanggulangan korosi juga diperhitungkan terhadap efektifitas cara yang yang mungkin dapat dilakukan tersebut. Apabila korosi yang terjadi secara merata, laju korosi dapat diukur dengan berbagai cara , seperti :

- a. Metode pengukuran kehilangan berat.
- b. Metode elektrokimia yaitu; metode tafel atau polarisasi linier.
- c. Metode pengukuran perubahan tahanan listrik

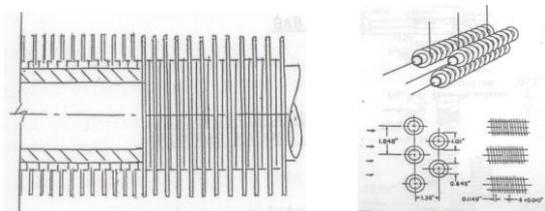
Dalam penelitian ini metode yang digunakan adalah pengukuran kehilangan berat.

2.2.5 Metode Pengukuran Kehilangan Berat

Pengukuran dilakukan dengan jalan mengambil sampel yang telah terkena korosi, kemudian sampel dikikis permukaannya dan lantas ditimbang sisa karat yang masih melekat pada sampel dilarutkan dalam larutan asam chlorida sebesar 5 %. Sebelumnya tebal sampel sebelum dan sesudah dikorosikan diukur ketebalannya.

2.3. Pipa Sirip Panas Lanjut (*Fin Tube Superheater*)

Gas bekas dengan temperatur dan tekanan yang masih cukup tinggi setelah menggerakkan turbin gas digunakan untuk memanaskan uap yang berada didalam pipa panas lanjut. Perpindahan panas terjadi dari dinding luar pipa secara konveksi lantas menyusup kedinding pipa secara konduksi dan selanjutnya memanaskan lanjut uap panas yang berada didalam pipa panas lanjut secara konveksi. Agar permukaan penerimaan panas yang berasal dari gas buang turbin gas bertambah luas, maka permukaan pipa-pipa tube tersebut ditambahkan sirip. Sirip tersebut lebih lazim disebut dengan “Fin”, sirip dipasang dengan jalan pengelasan, seperti terlihat pada Gambar 2.2 .



Gambar 2.2 Fin Tube Superheater

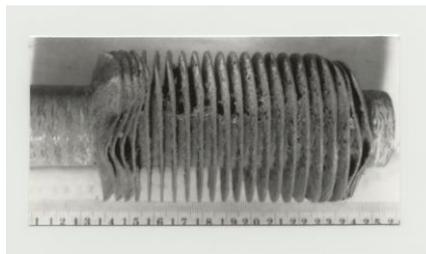
3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Pendahuluan

Metodologi penelitian terhadap analisis korosi serta penentuan sisa umur pipa sirip panas lanjut (fin tube superheater) pada HRSG secara umum merupakan serangkaian kegiatan yang secara simultan meliputi proses pemotongan sampel, pengujian kekerasan, korosi, kimia, dan metallografi. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 3.2 Urutan Pekerjaan Analisa Kerusakan Secara Umum.

3.2. Sampel

Sampel yang digunakan pada penelitian ini adalah fin tube superheater yang telah terkena korosi seperti terlihat pada Gambar 3.1 Sampel dibentuk untuk dilakukan berbagai macam pengujian.



Gambar 3.1. Photo Sampel

3.3. Uji Komposisi Kimia

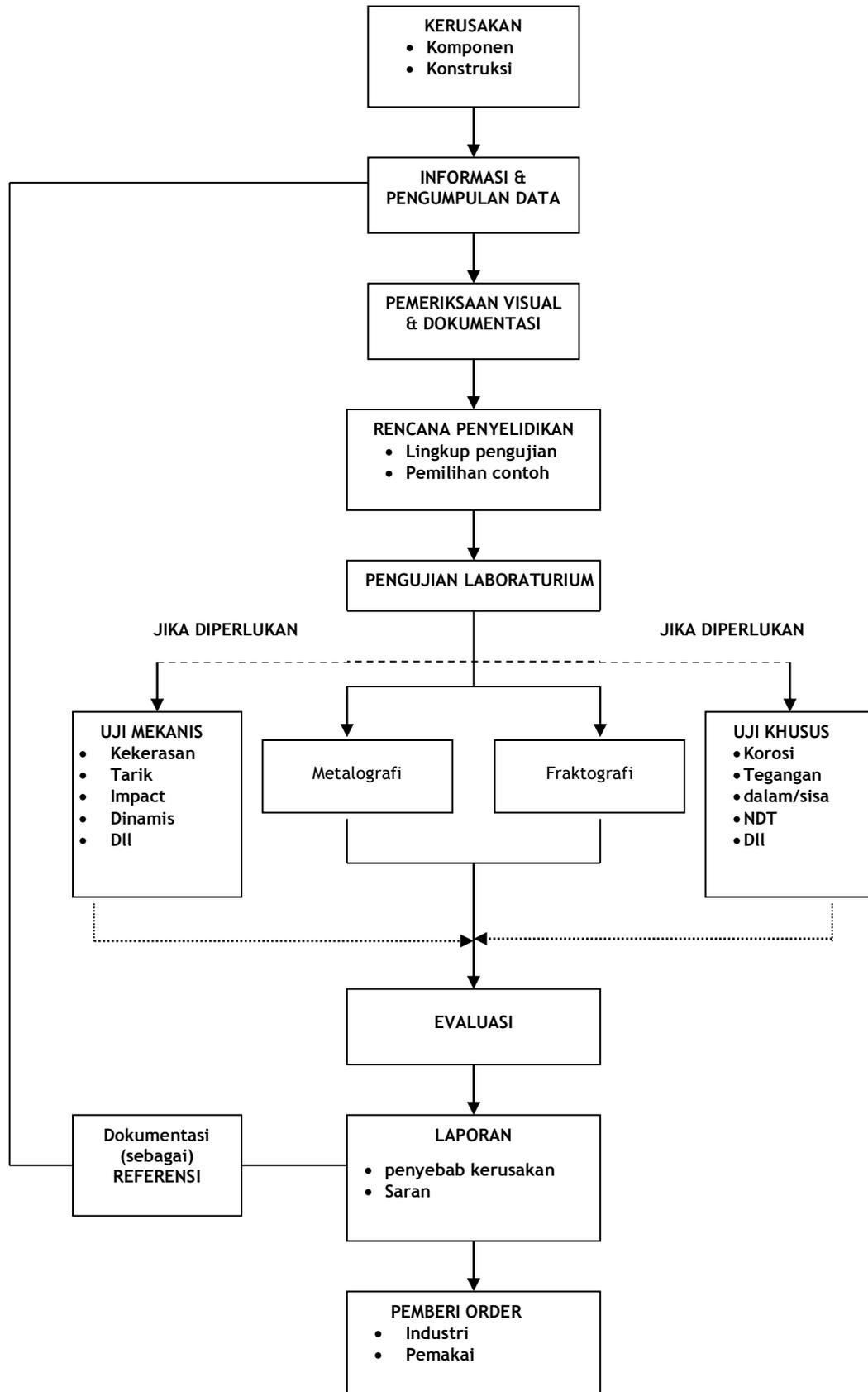
Untuk menentukan unsur yang dikandung dari bahan fin tube superheater dilakukan pengujian komposisi kimia. Pengujian ini se kurang-kurangnya meliputi unsur utama seperti : C, Fe, P, S, Mn, Cr, Mo dan Si. Yang mana . pengujian dilakukan terhadap unsur kimia pipa dan unsur kimia dari korosi yang telah terjadi.

3.4. Pengujian Metallografi

Dilakukan dengan menggunakan mikroskop cahaya dan seterusnya dilanjutkan dengan pengambilan gambar Pengujian Kekerasan secara makro yang terdapat pada permukaan benda dilakukan dengan alat Frank Finotest menggunakan standar DIN : 50133, dengan hasil Hardness Vickers (VH).

3.5. Prosedure Pengujian Korosi

Pengujian ini untuk mengetahui laju korosi dari sampel yang diuji dengan menggunakan metode pengukuran kehilangan berat, dengan jalan mengikis permukaan sampel yang telah terkena korosi dan ditimbang sedangkan sisanya yang masih melekat dilarutkan dalam larutan asam chlorida sebesar 5 %.



Gambar 3.2 Urutan Pekerjaan Analisa Kerusakan Secara Umum

4. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Penelitian

4.1.1 Komposisi kimia Material

Pada Tabel 4.1 terlihat unsur kimia yang dimiliki dari baja mengandung unsur padamu Chrom dan Molibden dengan persentase yang kecil dan unsur karbon yang juga relatif kecil, sehingga baja ini dikategorikan baja dengan kadar karbon rendah dibawah 0,8 % C, dan paduannya juga dikategorikan paduan rendah dengan Cr<0,5 % dan Mo <0,5 %. Hasil uji komposisi kimia dari material disajikan dalam Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Data hasil uji komposisi kimia pipa HRSG

No	Unsur	Hasil (% w/w)
1	Besi, Fe	99,261
2	Sulfur, S	0,025
3	Posfor, P	0,012
4	Chrom	0,085
5	Molibden, Mo	0,440
6	Manggan, Mn	0,047
7	Karbon, C	0,130

4.1.2 Komposisi Kimia Karat

Hasil uji korosi dari material pipa uap panas lanjut ini juga tidak jauh berbeda dengan material yang dimiliki oleh pipa.

Hasil uji korosi yang terdapat pada sisi pipa seblh luar disajikan dlm Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Data hasil uji komposisi karat fin tube superheater

No	Unsur	Hasil (% w/w)
1	Besi, Fe	99.352
2	Sulfur, S	0.165
3	Posfor, P	0,010
4	Chrom	0,036
5	Molibden, Mo	0,207
6	Manggan, Mn	0,022

4.1.3 Tebal Pipa

Tebal pipa sirip uap panas lanjut (fin tube superheater) pengukuran tebalnya dilakukan secara bertahap sebanyak 8 sampel masing-masingnya baik sebelum karatnya dihilangkan maupun sesudah dihilangkan karatnya. Tahap pertama dilakukan pengukuran terhadap pipa sampel yang sudah terkena korosi/karat, selanjutnya dilakukan pengukuran kembali setelah korosi/karatnya dihilangkan kemudian masing-masing datanya ditampilkan seperti tertera pada Tabel 4.3 dan Tabel 4.4.

Tebal pipa sesudah korosi/karatnya dihilangkan tersaji pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Tebal kondisi pipa tanpa korosi

No Sampel	Tebal kondisi tanpa korosi (mm)				
	1	2	3	4	Rata-rata
1	2,50	2,55	2,60	2,55	2,55
2	2,50	2,45	2,50	2,50	2,49
3	2,60	2,60	2,60	2,60	2,60
4	2,30	2,30	2,40	2,40	2,36
5	2,55	2,55	2,55	2,55	2,55
6	2,50	2,45	2,40	2,40	2,45
7	2,30	2,30	2,35	2,30	2,31
8	2,40	2,45	2,40	2,40	2,41

Tebal pipa dengan korosi/karat yang melekat padanya tersaji pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Tebal kondisi pipa terkorosi

No sampel	Tebal kondisi terkorosi (mm)				
	1	2	3	4	Rata-rata
1	2,60	2,65	2,65	2,60	2,63
2	2,50	2,55	2,55	2,55	2,60
3	2,65	2,55	2,70	2,65	2,55
4	2,30	2,40	2,35	2,40	2,36
5	2,60	2,65	2,60	2,60	2,61
6	2,50	2,50	2,55	2,50	2,51
7	2,35	2,40	2,40	2,35	2,38
8	2,50	2,50	2,45	2,45	2,48

4.1.4 Berat Pipa

Berat pipa ditimbang sebelum korosi/karat dihilangkan dan kemudian ditimbang lagi setelah korosi/karatnya dihilangkan dan hasilnya disajikan pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5. Data hasil pipa setelah dan sebelum terkena korosi

No	Berat kondisi terkorosi (gr)	Berat kondisi Tanpa korosi (gr)	Berat Karat (gr)
1	10,2014	10,1576	0,0438
2	12,7391	12,6898	0,0493
3	11,2393	11,1948	0,0445
4	11,1613	11,1139	0,0476

5	10,5650	10,5200	0,0450
6	10,6614	10,6159	0,0455
7	11,7351	11,6889	0,0462
8	12,2262	12,1792	0,0470

4.1.5 Pengukuran tebal dan berat pipa sebelum dan sesudah dikorosikan

Untuk mengetahui laju korosi yang terjadi, dilakukan pengkorosian ulang terhadap pipa dengan jalan memasukkan pipa yang telah dibersihkan dari korosi kedalam lorong gas buang dari Turbin gas / inlet uap panas yang masuk heat recovery steam generator (HRSG). Hasil pengukuran tebal dan berat pipa disajikan pada Tabel 4.6 dan Tabel 4.7.

Tabel 4.6. Data tebal pipa sebelum dan setelah di- korosikan ulang

No	Tebal pipa sebelum di- korosikan (mm)	Tebal pipa sesudah di korosikan (mm)
1	2,63	2,62
2	2,60	2,60
3	2,55	2,54
4	2,36	2,35

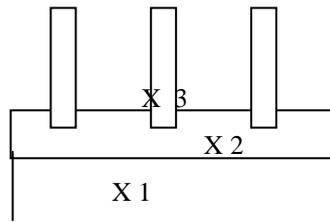
Pengukuran berat pipa sebelum dan sesudah dikorosikan dikorosikan ulang, dapat dilihat seperti tersaji pada Tabel 4.7

Tabel 4.7 Data berat pipa sebelum dan setelah di- korosikan

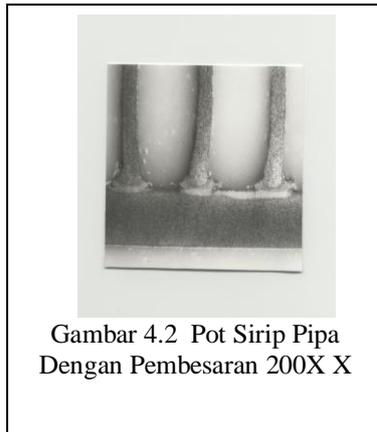
No	Berat pipa sebelum di- korosikan (gr)	Berat pipa sesudah di- korosikan (gr)
1	10,1576	10,1555
2	12,6898	12,6876
3	11,1948	11,1925
4	11,1139	11,1118

4.1.6 Hasil Uji Struktur Mikro

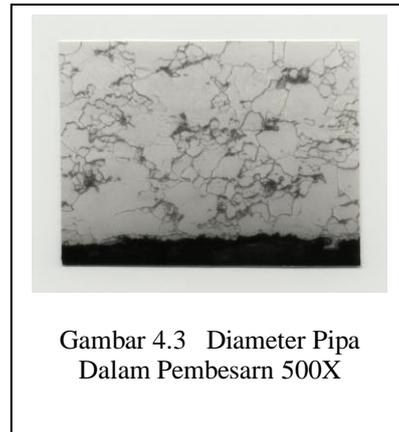
Material *fin tube superheater* adalah material yang mendapat beban dengan temperatur dan tekanan yang relatif cukup tinggi dalam waktu yang relatif cukup lama. Kemungkinan material tersebut akan mengalami penurunan ketahanannya (degradasi) kemampuan sifat mekanis yang dipunyainya, seperti berupa creep, fatigue serta berkurangnya kemampuan mekanis lainnya. Pada pengujian metallografi ini dilakukan pada daerah yang dianggap cukup kritis dan dapat mewakili dari pipa uap dipanaskan lanjut ini. Pengujian dilakukan pada sirip, diameter luar dan dalam fin tube superheater. Foto struktur mikro dari pipa uap panas lanjut pada masing-masing lokasi yang ditinjau diperlihatkan pada Gambar 4.1.



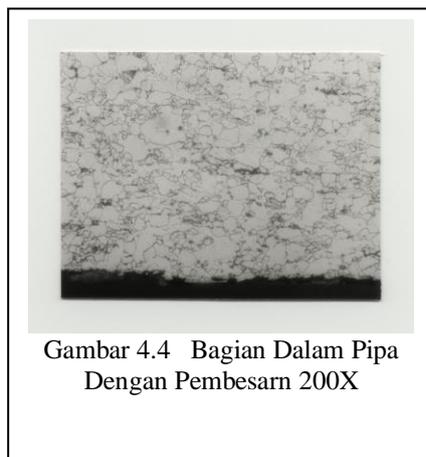
Gambar 4.1 Lokasi Penelitian Pada Fin Tube Superheater HRSG



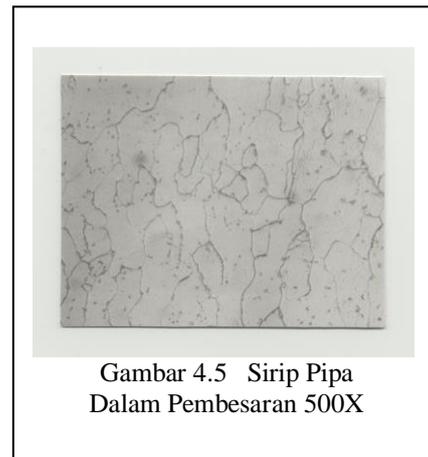
Gambar 4.2 Pot Sirip Pipa Dengan Pembesaran 200X X



Gambar 4.3 Diameter Pipa Dalam Pembesarn 500X



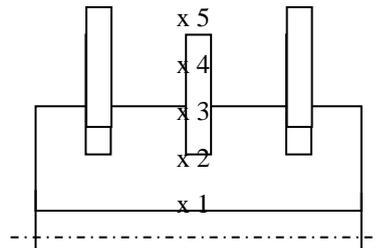
Gambar 4.4 Bagian Dalam Pipa Dengan Pembesarn 200X



Gambar 4.5 Sirip Pipa Dalam Pembesarn 500X

4.1.7 Uji Kekerasan

Hasil uji kekerasan adalah untuk mengetahui sifat mekanis material. Uji kekerasan yang dimaksud adalah uji kekerasan pada permukaan fin tube superheater yang nilainya menunjukkan hasil kekerasan permukaan material tersebut. Metode yang digunakan adalah Vickers hardness yang dilakukan pada lokasi seperti pada Gambar 4.7 sebanyak 5 sampel dengan standar DIN : 50133. dengan hasil terlihat pada Tabel 4.8.



Gambar 4.6 Lokasi Uji kekerasan Fin Tube Superheater

Tabel 4.8 Hasil uji kekerasan Vickers

Sample	Vickers Hardness
1	143
2	131
3	142
4	132
5	127

4.2. Pembahasan

4.2.1. Jenis Material Yang didapat

Dalam menentukan jenis material yang dipakai pada pipa sirip uap dipanaskan lanjut (fin tube superheater) setelah dilakukan penelitian berdasarkan hasil uji komposisi kimia material baja seperti tertera pada Tabel 4.9 yang diutamakan mengandung unsur C, P, S, Mn, Cr dan Mo adalah sebagai berikut :

Tabel 4.9 Data hasil uji komposisi kimia Fin Tube Superheater

No	Unsur	Hasil (% w/w)
1	Besi, Fe	99,261
2	Sulfur, S	0,025
3	Posfor, P	0,012
4	Chrom	0,085
5	Molibden, Mo	0,440
6	Mangan, Mn	0,047
7	Karbon, C	0,130

Dimana fin tube superheater tersebut mengandung unsur chrom dan molibden yang relatif rendah serta unsur karbon yang juga relatif rendah, maka dapat dikategorikan baja tersebut adalah dari jenis baja dengan karbon rendah dengan unsur pemadu Cr dan Mo. Untuk mendapatkan jenis baja yang dipakai, maka hasil dari tabel dicocokkan dengan tabel pada standar Steel - ASTM didapat persamaan pada “ Steel - ASTM A 178 – 51 T “^[12] kondisi material ini masih termasuk dalam kategori baja dengan jenis karbon rendah, dengan unsur pemadu chrom dan molibdenum.

4.2.2 Sifat Mekanik

Baja dengan unsur Mo dan Cr secara bersama-sama akan meningkatkan ketahanan dan ketangguhan terhadap grafitisasi serta juga akan tahan terhadap creep. Unsur Mo dan Cr juga akan menjadikan penguatan larutan padat matrik ferit akibat C, Mo dan Cr.

Spesifikasi sifat mekanik dari fin tube superheater dengan jenis material Steel - ASTM A 178 – 51 T adalah sebagai berikut [12]:

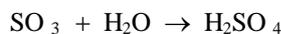
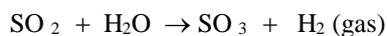
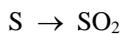
* Tensile strength	= 414 M Pa
* Yield point	= 255 M Pa
* Elongation	= 30 %
* Vickers Hardness (HV)	= 122 HV

4.2.3 Jenis Korosi Yang Terjadi

Berdasarkan hasil foto metalografi tidak terdapat tanda-tanda kerusakan yang parah terhadap material dan tidak ditemui kondisi yang akan menyebabkan material terkikis sampai kelapisan bawah dan juga tidak ada pelobangan (sumuran) terhadap material sehingga dari teori tentang macam-macam korosi yang terjadi pada suatu material baja maka dapat disimpulkan : bahwa, baik secara makro maupun pengamatan secara visual telah terjadi korosi permukaan pada fin tube superheater dengan jenis korosi yang terjadi adalah korosi umum/permukaan.

Penyebab Utama Terjadinya Korosi

Sebagaimana diketahui bahwa sulfur adalah merupakan unsur kimia yang cukup merugikan di dalam material baja. Dimana bila sulfur bergabung dengan besi akan membentuk suatu ikatan sulfida besi (Fe – S) yang akan menjadikan baja tersebut getas, bila dibuat dengan rumusan reaksi kimianya sebagai berikut :



H_2SO_4 adalah asam sulfat yang prosesnya dihasilkan dari pembakaran bahan bakar dan lingkungan pada saat operasi. Asam sulfat tersebut akan menyebabkan kerusakan pada logam, sehingga menjadikan logam tersebut terkorosi.

4.2.4 Corrosion Rate

Dalam pengukuran laju korosi yang terjadi pada pipa sirip uap panas lanjut, dilakukan pengkorosian ulang terhadap material yang sama dengan terlebih dahulu diadakan pengukuran awal dan kemudian diukur ulang setelah dikorosikan terhadap material dan hasilnya diambil hasil rata-rata selanjutnya dilakukan perhitungan sebagai berikut :

- Lama pipa dikorosikan (t) = 21 hari
- Berat pipa sebelum dikorosikan = 11,289 gr
- Berat pipa setelah dikorosikan = 11,2869 gr
- Berat korosi = 0.0021 gr
- Tebal pipa sebelum dikorosikan = 2.535 mm
- Tebal pipa setelah dikorosikan = 2.5275 mm
- Selisih tebal = 0.0075 mm
- Luas permukaan material uji = 1557,5 mm²

$$\text{Kehilangan berat akibat korosi} = 0.0021 \text{ gr} / 21 \text{ hari} = 0.0364 \text{ gr} / \text{tahun}$$

$$\text{Kehilangan tebal akibat korosi} = 0.0075 \text{ mm} / 21 \text{ hari} = 0.1071 \text{ mm} / \text{tahun}$$

Menentukan Tebal Pipa Minimum

Dalam mendapatkan sisa umur yang mungkin terjadi akibat korosi, dilakukan perhitungan terhadap tebal minimum dari pipa yang diizinkan dengan berpatokan terhadap sifat mekanik dari material yang ditentukan yaitu steel A 178-51 T berdasarkan ketentuan dalam ASME sbb.

- * Yield Point (S) = 255 MPa
- * Tekanan desain (p) = 16.5474167 MPa
- * Diameter luar fin tube (D) = 32.02 mm (diukur)

Perhitungan tebal pipa (t) minimum :

$$t = \frac{P \cdot D}{2S + P} = 0,005 \cdot D = 1.166 \text{ mm}$$

4.2.5 Menentukan Sisa Umur (RLA)

Dalam operasionalnya, material mendapatkan tekanan dan temperatur yang cukup tinggi, sehingga terdapat kecenderungan material tersebut mengalami korosi dan creep (peningkatan tegangan). Untuk menentukan sisa umur yang masih mungkin terjadi perlu ditinjau terhadap dua sisi, baik dari segi korosi maupun dari sisi creep.

Menentukan Sisa Umur (RLA) Berdasarkan Korosi

Diasumsikan umur desain HRSG secara umum adalah = 25 tahun

Efektif beroperasi peralatan biasanya = 20 tahun

Sudah beroperasi = 5 tahun

Laju korosi pertahun = 0,1071 mm/tahun

Tebal pipa minimum yang diizinkan = 1.116 mm

Tebal pipa sebelum dikorosikan = 2,535 mm

- Operasi 5 tahun ($OP_{5\text{thn}}$)

$$OP_{5\text{thn}} = (5 \times 0.1071) + T \text{ pipa minimum} = 1,7015 \text{ mm}$$

- Tebal pipa tersisa (t_s)

$$T_s = 2.535 \text{ mm} - 1,7015 \text{ mm} = 0,8335 \text{ mm}$$

- Sisa Umur (RLA)

$$RLA = \frac{0,8335 \text{ mm}}{0,1071 \text{ mm/thn}} = 7,7391 \text{ tahun}$$

Jadi sisa umur fin tube superheater yang tertinggal berdasarkan perhitungan terhadap korosi adalah 7.7391 tahun, hal ini didasarkan bila dianggap korosi yang terjadi adalah bersifat linier.

4.2.6 Stuktur Mikro Baja

Hasil pengujian metalografi yang berupa foto mikro struktur dan foto makro digunakan untuk dapat mengetahui struktur bahan logam serta melihat kondisi material apakah terkena cacat serta melihat ukuran butiran dan terjadinya keretakan atau retak yang disebabkan korosi dapat dilihat dari gambar tersebut. Berdasarkan hasil foto secara metallografi dan hubungan antara grafitisasi dan spheroidisasi berdasarkan temperatur dan waktu dapat dikatakan bahwa : pipa uap panas lanjut (fin tube superheater) berkecenderungan terjadinya grafitisasi. Gambar 1. Foto struktur mikro fin tube superheater kondisi tanpa etsa.

Dengan operasional yang telah dilakukan sekitar 5 (lima) tahun luas grafit belum menunjukkan tanda yang berarti sehingga belum mengurangi kekuatan material secara signifikan.

Struktur material fin tube superheater HRSG terdiri dari struktur ferrite dan pearlite dengan kondisi dominan struktur ferrite dengan kondisi normal/tidak terdapat indikasi cacat.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis dan pembahasan data hasil pengujian dari penelitian ini dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Material *fin tube superheater* relatif tidak mengalami grafitisasi maupun adanya spheroidisasi perlit dan ferit. Untuk sirip terdapat kemungkinan terjadinya karburisasi disebabkan penampangnya yang terlalu tipis sehingga menimbulkan oksidasi karbon. korosi yang terjadi pada fin tube superheater didominasi oleh general corrotion (korosi umum), kondisi tersebut adalah merupakan salah satu indikator dalam menentukan sisa umur fin tube superheater.
2. Dengan beroperasi pada temperatur dan tekanan yang cukup tinggi menyebabkan terjadinya perubahan sifat mekanis yang cenderung meningkat, mempertimbangkan faktor-faktor tersebut diatas serta penelitian terhadap laju korosi yang terjadi berdasarkan metode pengukuran berat, adalah merupakan faktor utama dalam menentukan sisa umur fin tube superheater.
3. Dengan melakukan perhitungan terhadap laju korosi yang terjadi maka sisa umur material fin tube superheater didapat adalah 7,7391 tahun.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. ----- "*Corrosion Source Book*", Editor K.Coburn, ASM, NACE 1984.
- [2]. ----- "*Process Industri Corrosion*", NACE 1975
- [3]. ----- "*Combine Cycle Power Plant*", ABB, Text Book 1990.
- [4]. R. Kholer, "*Combined Cycle Gas & Steam Turbine*", The Fairmont Press tahun 1991.
- [5]. ----- "*HRSG Flow Diagram*", Cockeril Mechanical Industries, Belgium, 1994.
- [6]. W.M. Kay S "*Compact Heat Exchangers*", second edition McGraw-Hill Book Company 1970
- [7]. William F. Smith, "*Principles of Material Science and Engineering*", Mc Graw-Hill Book Company, 1996.
- [8]. D.N.Friend, "*Metallurgical Failures in Fossil Fired Boiler*", John Wily & Sans, Inc. 1993.
- [9]. Bab Cock & Wilcock, "*Steam its Generation and Use*", a McDermot Company 40 th edition, 1992.
- [10]. ----- "*ASME Hand Book First edition*", McGraw-Hill Book Com,pany, Newyork, Toronto, Kanada.
- [11]. ----- "*Larson Miller Parameter*" Standar Api 530.
- [12]. **Razul Harfi**, "*Analisa Korosi Dan Prediksi Sisa Umur Pipa Sirip Uap Panas Lanjut Hrgs Pltgu*", "**Tesis Pasca Sarjana Teknik Mesin ISTN, Jakarta, 2003**