

Analisis Mekanisme Kegagalan pada Pipa Boiler Menggunakan Metode Root Cause Failure Analysis (RCFA)

Nadiyah Nurul Aini¹; Candra Damis Widiawaty; Nusyirwan

Program Studi Pembangkit Tenaga Listrik, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta,

Jalan Prof. Dr. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok 16425

¹nadiyahnurulaini@yahoo.co.id

Abstrak

Permasalahan pada Pembangkit X adalah terjadinya kegagalan pada pipa boiler. Kegagalan pipa yang terjadi diketahui dengan indikasi kebocoran pada boiler unit 7 berupa kelainan suara berada pada daerah economiser serta dengan kebocoran berada pada area Soot Blower No 7 – 11 area Secondary Superheater (SSH out) dengan make up water sudah mencapai 20-22 Ton/Jam. Pengamatan di lapangan menunjukkan adanya deformasi dan pecah pada pipa SSH Out. Tujuan dilakukan penelitian ini diharapkan dapat mengetahui penyebab utama dari kegagalan pipa boiler dan mekanisme kegagalannya, serta mengetahui solusi untuk mengatasinya agar kegagalan serupa tidak terjadi lagi. Metode pada penelitian ini menggunakan metode Root Cause Failure Analysis (RCFA).

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kebocoran pipa boiler disebabkan oleh kegagalan pipa berupa long term overheating. Overheating ini diketahui dengan bukti berupa bentuk pecahan pipa seperti fish mouth. Pada pengecekan secara visual serta pengecekan menggunakan boroscope pada permukaan dalam pipa, menunjukkan adanya kerak yang menempel pada permukaan luar dan dalam tube boiler SSH unit 7. Pada pengujian Scanning Electron Microscope (SEM) ditemukan pula kerak hasil proses oksidasi setebal 619 μm . Selain itu, dilakukan pula hasil pemindaian Electron Dispersive Spectroscopy (EDS) (spektrum 9) membuktikan bahwa kerak itu adalah hasil dari proses oksidasi pada temperatur tinggi dengan kadar Fe sebesar 6.2 % berat. Adanya kerak yang melekat pada pipa – pipa mengakibatkan perpindahan panas dari api ke air atau uap di dalam superheater menjadi terganggu. Tidak lancarnya perpindahan panas menyebabkan dinding pipa sangat tinggi temperaturnya dan material melunak sehingga pipa pecah dan bocor.

Solusi agar kegagalan pipa tidak terjadi dengan melakukan pembersihan kerak pada pipa bagian superheater dengan mengoperasikan sootblower secara berkala, melakukan kontrol excess air sesuai Standar Operasional Prosedur (SOP), dan melakukan uji lab.

Kata kunci: kebocoran pipa, kegagalan pipa, overheating, boiler

Abstract

The problem in Plant X is failure of the boiler pipe. The failure of the pipe that occurred is known by the indication of leakage in the boiler unit 7 in the form of sound abnormality in the area of the economiser and with the leak in the area Soot Blower No. 7 - 11 Secondary Superheater (SSH out) area with make up water has reached 20-22 Ton./Jam. Field observations indicate deformation and rupture in the SSH Out pipeline. The purpose of this research is to know the main cause of boiler pipe failure and its failure mechanism, and to know the solution to overcome it so that similar failure does not happen again. The method of this research using Root Cause Failure Analysis (RCFA) method.

The results of this research indicate that the leakage of the boiler pipe caused by the failure of the pipeline in the form of overheating. Overheating is known by the evidence in the form of pipe shapes such as fish mouth. On checking visually as well as checking using a boroscope on the inside surface of the pipe, indicates the presence of a fouling attached to the outer and inside surface of the boiler tube of SSH unit 7. In Scanning Electron Microscope (SEM) testing, there were also 619 μm of oxidation process crust. In addition, an Electron Dispersive Spectroscopy (EDS) scan (spectrum 9) was performed, proving that the crust was the result of oxidation at high temperatures with a Fe content of 6.2 wt%. The presence of a crust attached to the pipes causes the transfer of heat from fire to water or steam in the superheater to be disturbed. No smooth heat transfer causes the pipe wall to be very high in temperature and the material softens so that the pipe rupture and leaks.

The solution to pipe failure does not occur by cleansing the pipe on the superheater pipeline by operating the sootblower periodically, performing the excess water control according to the SOP, and performing the lab test.

Keywords: pipeline leakage, pipe failure, overheating, boiler

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Permasalahan pada Pembangkit X adalah terjadinya kegagalan pada pipa boiler. Kegagalan pipa yang terjadi diketahui dengan indikasi kebocoran pada boiler unit 7 berupa kelainan suara berada pada

daerah economiser serta dengan kebocoran berada pada area *Soot Blower* No 7 – 11 area *Secondary Superheater* SSH out dengan *make up water* sudah mencapai 20-22 Ton/Jam.

Boiler beroperasi pada tekanan tinggi dan temperatur tinggi. Ketika umur pipa boiler mencapai batasnya akan terjadi kegagalan. Temperatur tinggi pada luar pipa, tekanan tinggi yang ada di dalam, dan juga api yang telah terkontaminasi dengan residu yang bersifat korosif dalam jumlah waktu yang lama akan menyebabkan kegagalan pada pipa [1].

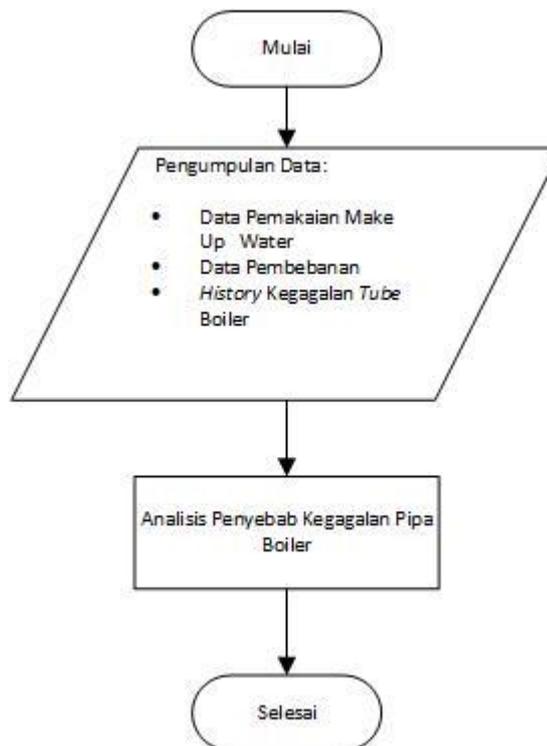
Penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh Erwin Siahaan dengan menggunakan *Root Cause Failure Method*, dan Scanning Electron Microscope (SEM), Optical Emission Spectroscopy (OES), dan Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy, maka diperoleh hasil pengujian bahwa lokasi kerusakan pipa didominasi oleh kandungan unsur oksigen serta berdasarkan *fault-tree analysis* diperoleh, banyaknya kerusakan tertinggi yaitu akibat *creep*, maka mekanisme kegagalan hydrogen embrittlement dan *stress-corrosion cracking* terbukti tidak terjadi. Jadi penyebab kegagalan pada pipa *waterwall* adalah karena mekanisme *long term overheating* atau *high temperature creep* [2].

Mekanisme kegagalan pipa yang terjadi akan dilakukan analisis menggunakan metode Root Cause Failure Analysis Methodology (RCFA). Metode ini dilakukan dengan beberapa tahapan yakni, *reporting an accident or problem, incident classification, data gathering, design review, application/maintenance review, observation and measurement, determining the root cause, cost benefit analysis, report and recommendation, and verify corrective action* [3].

1.2 Tujuan Penelitian

- Mengetahui jenis kegagalan yang terjadi pada pipa boiler pada pembangkit X.
- Melakukan analisis penyebab mekanisme kegagalan pada pipa boiler menggunakan metode RCFA.
- Mengetahui solusi untuk mengatasi kegagalan pada pipa boiler.

II. METODE PENELITIAN



Gambar 2.1 Alur Penelitian

1. Pengumpulan Data

Pengumpulan data berupa design spesifikasi boiler, data material dari *superheater*; data pemakaian *make up water* dan beban 24 jam sebelumnya, *history* kerusakan boiler yang pernah terjadi serta melakukan wawancara pula dengan tenaga ahli yang berhubungan dengan objek yang diamati.

2. Analisis Penyebab Kegagalan pada Pipa Boiler

Setelah melakukan pengambilan dan pengumpulan data, data tersebut dianalisis berdasarkan teori yang berlaku sesuai dengan objek yang menjadi permasalahan.

- Analisis Mekanisme Kegagalan pada Pipa Boiler
Metode yang digunakan untuk menganalisa kegagalan pipa pada boiler adalah RCFA. RCFA adalah urutan langkah-langkah untuk menemukan akar penyebab suatu masalah melalui proses mengisolasi fakta-fakta seputar suatu peristiwa atau kegagalan. Setelah akar penyebab ditemukan, analisis secara sistematis menentukan tindakan terbaik yang akan menyelesaikan acara dan memastikan bahwa itu tidak terulang [3].
- Analisis Kondisi Pipa
Mengetahui kondisi pipa yang mengalami kegagalan dengan melakukan proses pemotongan pipa. Pipa yang telah dipotong tersebut, diidentifikasi berdasarkan ciri – ciri fisik pipa tersebut.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Data Spesifikasi Tube Superheater

Tabel 3.1 Design Boiler Unit 5-7

Design Boiler Unit 5-7	
Manufacture	Babcock Wilcox
Type	Radian
Pressure Drum / Superheater outlet	184 kg / cm ²
Flow Steam	1.168 Ton / jam
Temperature Superheater dan Reheater outlet	540 °C
Pressure Reheater outlet	38 kg / cm ²
Flow Reheater Outlet	1.022 Ton / jam
Coal / oil burner	36 pcs

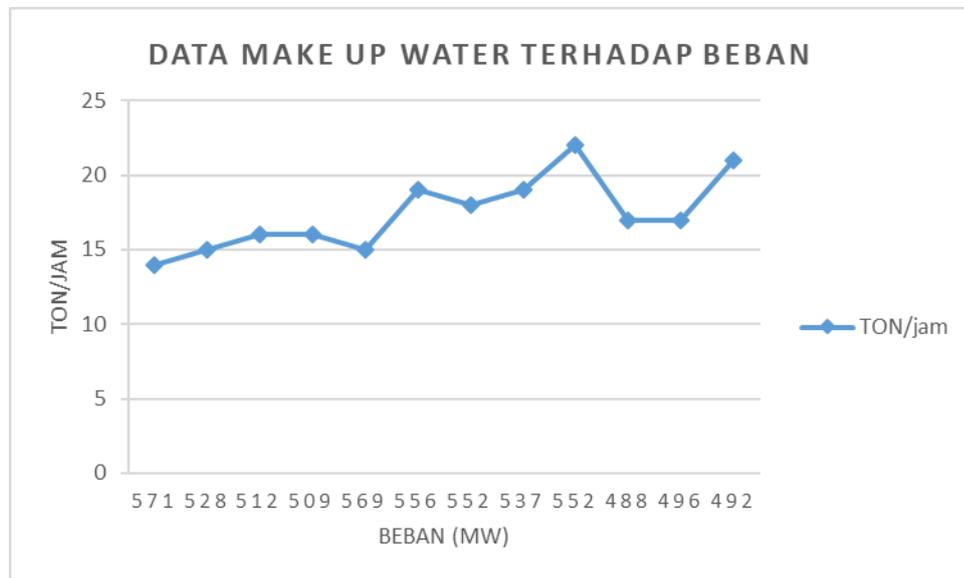
Tabel 3.2 Design Economiser

Design ECONOMISER MIN THICK : 8 MM		
Material	SA 213 T22	
OD	2"	50,8 mm
Thickness	0.3 – 0,4 "	8 – 11,5 mm

3.2 Indikasi Awal Terjadinya Kebocoran

Boiler beroperasi secara terus menerus untuk menghasilkan uap sesuai kebutuhan, bagian-bagian boiler bekerja terberat adalah *tube-tube*. *Economiser* mendapat panas dari pembakaran batu bara secara konveksi sama dengan *superheater*, *reheater* sedangkan *wall tube* mendapatkan panas secara radiasi. Pada bulan september tahun 2017, diketahui adanya kebocoran pada *tube* boiler dengan indikasi awal berupa kelainan suara pada daerah *economiser* serta diketahui dengan pemakaian *make up water* sudah mencapai 20-22 ton/jam. Pada tanggal 13 September 2017 dilakukan pengambilan data *make up water* yang terlihat pada gambar 3.1 membentuk grafik pemakaian *make up water* terhadap beban yang dihasilkan, berdasarkan grafik tersebut menunjukkan bahwa pemakaian *make up water* pada *range* beban 571-569 masih mengalami

pemakaian secara normal yakni 14-16 ton/jam. Tetapi setelah itu pada *range* beban yang tidak jauh beda bahkan beban yang semakin turun pemakaian *make up water* meningkat sampai dengan 22 ton/jam di luar batas normalnya. Adanya pemakaian *make up water* di atas batas normalnya, menjadi indikasi terjadinya kebocoran.



Gambar 3.1 Grafik Pemakaian Make Up Water terhadap Beban Yang Dihasilkan

3.3 Data *History* Kerusakan Tube Boiler

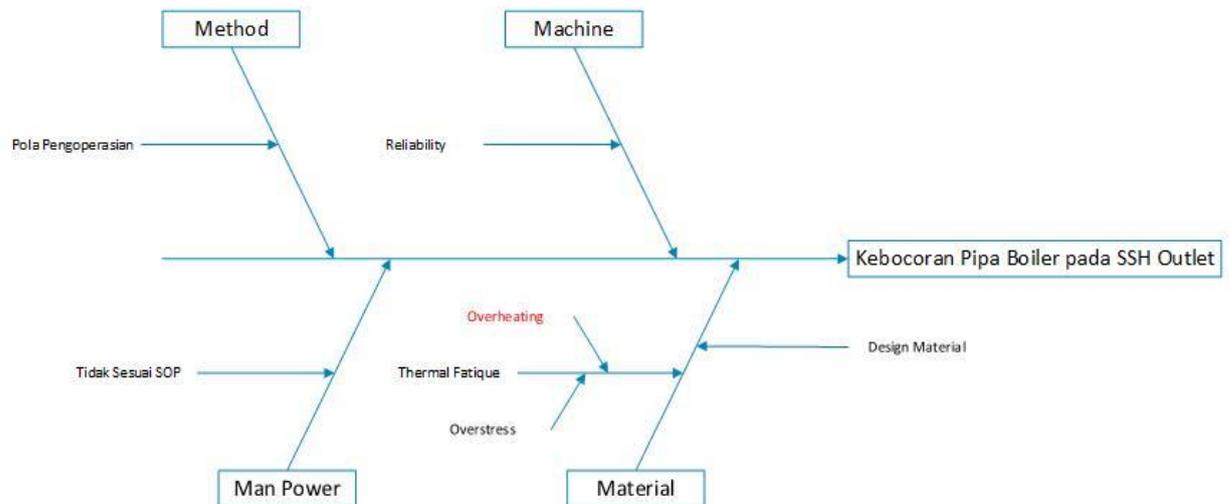
Tabel 3.3 History Kerusakan Tube Boiler 2015-2017

No	Tanggal Terjadi Kegagalan Pipa Boiler	Lokasi Terjadi Kegagalan Pipa Boiler	Penyebab Kegagalan Pipa Boiler
1.	16 Januari 2015	Walltube Opening Sootblower	Erosi
2.	31 Mei 2016	Tube Boiler Area 135	Erosi

Berdasarkan *history* kerusakan boiler yang terjadi pada pembangkit X untuk kegagalan pipa yang pernah terjadi sejak tahun 2015 sampai 2017 baru terjadi 2 kali kegagalan yang diakibatkan oleh erosi. Sedangkan kegagalan pipa yang terjadi pada tahun 2017 ini, diperikarakan mengalami jenis kegagalan yang berbeda dari tahun sebelumnya. Oleh karena itu, fenomena berupa kegagalan pipa ini harus dilakukan tindak lanjut agar mengetahui jenis kegagalan apa yang terjadi.

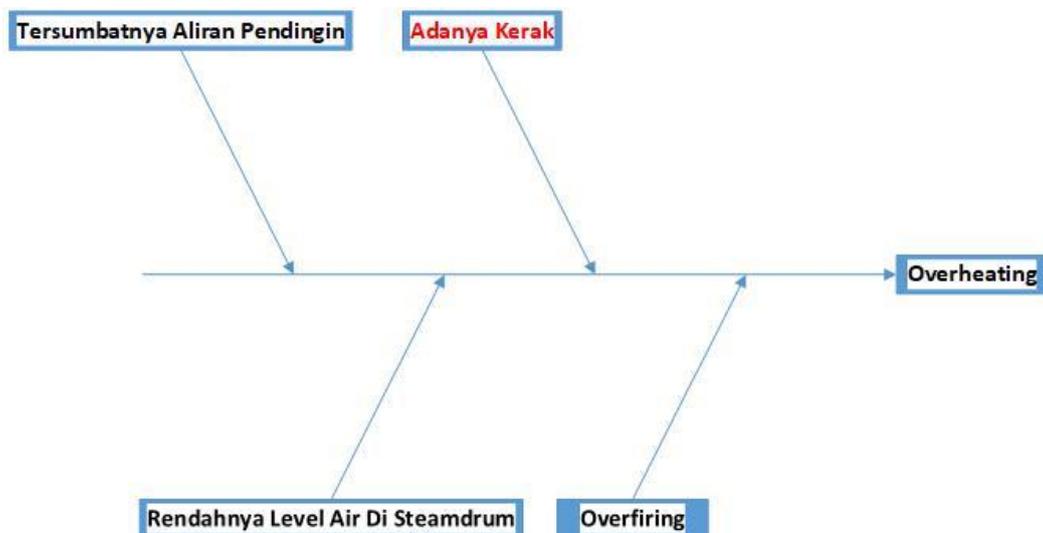
3.4 Analisis Penyebab Terjadinya Kegagalan Pipa Boiler

1. Analisis Menggunakan Metode RCFA



Gambar 3.2 Fishbone Diagram Kebocoran Pipa Boiler

Berdasarkan *fishbone diagram* di atas, menunjukkan faktor penyebab terjadinya kebocoran pada pipa boiler yang disebabkan oleh *thermal fatigue* pada material yakni, *overheating*. Untuk membuktikan bahwa kebocoran pipa boiler karena *overheating* pada material pipa, maka dibutuhkan analisis lebih lanjut. Berikut analisis menggunakan *fishbone diagram*:

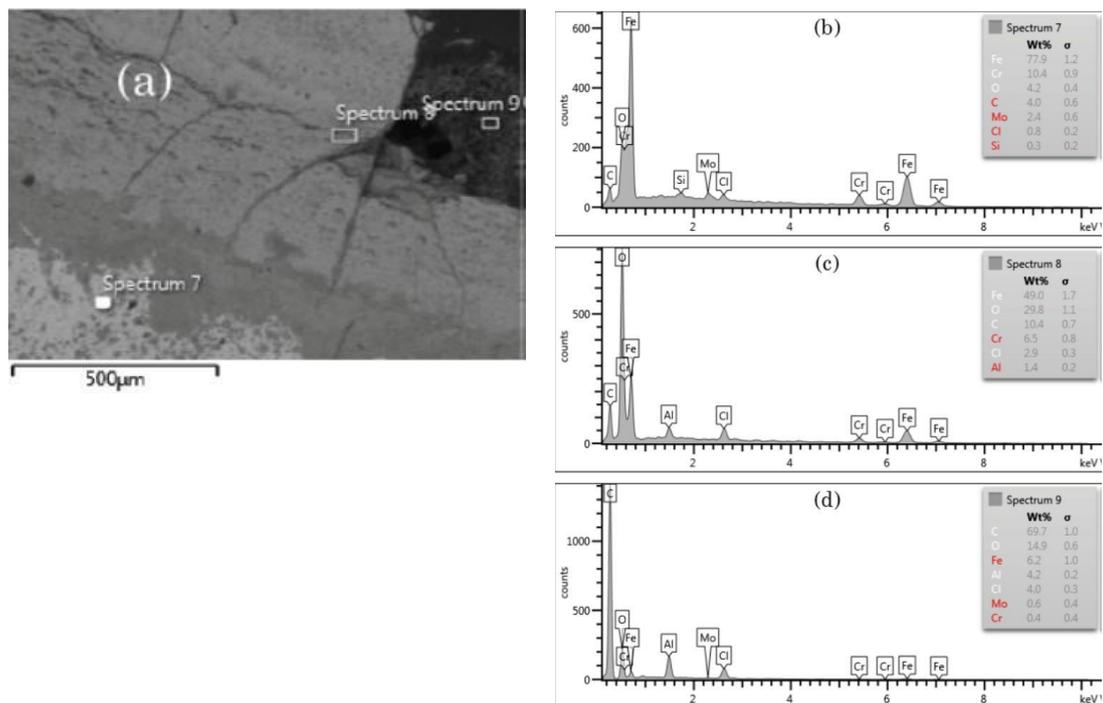


Gambar 3.3 Fishbone Diagram Overheating

Berdasarkan *fishbone diagram* di atas, penyebab terjadinya *overheating* pada pipa boiler karena adanya kerak. Untuk mengetahui alasan adanya kerak pada pipa boiler maka dilakukan analisis lebih lanjut.

2. Pengecekan Secara Visual

Berdasarkan hasil inspeksi visual terlihat pecahan pipa dalam arah circumferential. Pecahan pipa menonjol ke arah luar dan berbentuk seperti *fish mouth*, bentuk pecahan seperti ini menjadi salah satu ciri-ciri terjadinya kegagalan pipa berupa *overheating* [4]. Selain itu ditemukan pula kerak yang menempel pada permukaan luar dan dalam pipa.



Gambar 3.7 Citra mikroskop electron SEM (a), spectrum EDS daerah 7 (terang), 8 (antara terang dan gelap), dan 9 (gelap) dari oxide scale pada pipa pecah pada bagian tengah

Berdasarkan hasil pemeriksaan struktur mikro dengan menggunakan mikroskop electron (SEM) perbesaran 50 x untuk kerak pada pipa pecah bagian tengah ditemukan kerak hasil proses oksidasi setebal 619 µm. Hasil pemindaian EDS (spektrum 9) membuktikan bahwa kerak itu adalah hasil dari proses oksidasi pada temperatur tinggi dengan kadar Fe sebesar 6.2 % berat. Komposisi unsur karbon sebesar 69 % yang berada di bagian permukaan merupakan kerak dari hasil pengendapan garam-garam di permukaan dalam pipa atau penempelan abu cair dari gas buang.

Berdasarkan hasil pengujian EDS *tube boiler*, logam mengalami oksidasi pada semua suhu, laju oksidasi meningkat dari nilai yang sangat kecil pada suhu ruang hingga nilai yang sangat tinggi pada suhu tinggi dengan cara difusi unsur Fe. Terjadinya oksidasi dibuktikan oleh hasil pemindaian komposisi lokal (EDS) kerak oksida pada spektrum nomor 9. Pada spektrum itu tercantum komposisi Fe = 6.2 % berat, yaitu jumlah unsur besi yang berdifusi dan teroksidasi pada kerak.

Adanya bukti berupa kerak yang ada pada permukaan pipa ini menjadi penyebab utama terjadinya kebocoran pipa boiler yang disebabkan oleh *overheating* [5]. Kerak yang ada mengakibatkan perpindahan panas dari api ke air atau uap di dalam pipa *superheater* menjadi terganggu. Tidak lancarnya perpindahan panas menyebabkan proses pengubahan uap jenuh menjadi uap yang dipanaskan lanjut tidak efisien. Disamping itu dari pengamatan terhadap potongan pipa terlihat terjadinya penipisan dinding atau pengurangan ketebalan pada bagian dekat pecahan, yang mengindikasikan adanya fenomena mulur (Creep) [6].

IV. KESIMPULAN

- Berdasarkan analisis yang telah dilakukan menggunakan metode *fishbone diagram*, kegagalan yang terjadi di pipa boiler adalah *long term- overheating*
- Berdasarkan hasil pengecekan visual, pengujian dengan *Scanning Electron Microscope* (SEM) dan pengujian dengan *Electron Dispersive Spectroscopy* (EDS), terbukti bahwa penyebab utama terjadinya kegagalan pada pipa boiler berupa *long term overheating* yang diakibatkan oleh kerak yang menempel pada permukaan pipa baik di dalam maupun luar pipa. Kerak yang ditemukan hasil proses oksidasi setebal 619 µm. Hasil pemindaian EDS (spektrum 9) membuktikan bahwa kerak itu adalah hasil dari proses oksidasi pada temperatur tinggi dengan kadar Fe sebesar 6.2 % berat.
- Solusi agar kegagalan pipa tidak terjadi dengan melakukan pembersihan kerak pada pipa bagian *superheater* dengan mengoperasikan *sootblower* secara berkala, melakukan kontrol *excess air* sesuai SOP, dan melakukan uji lab.

V. DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. Adrian, L. Noerochim and B. A. Kurniawan, "Analisa Kerusakan Superheater Tube Boiler Tipe ASTM A213 Grade T11 pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap," *Jurnal Teknik*, vol. 5, p. F148, 2016.
- [2] E. Siahaan, "Karakteristik Sifat Mekanis Kerusakan Pipa Water Tube Boiler," 2015.
- [3] R. K. Mobley, *Root Cause Failure Analysis*, 1943.
- [4] B. Prakash, *Boiler Tube Failures*, 2013.
- [5] EPRI, *Boiler Condition Assessment Guideline*, 2006.
- [6] NALCO An Ecolab Company, *Boiler Tube Failure*.