

# INVESTIGASI KEBOCORAN PIPA BOILER PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP 65 MW

Rahmat Wicaksono <sup>1)</sup>, Mochammad Noer Ilman <sup>2)</sup>

<sup>1),2)</sup>Teknik Mesin Universitas Gadjah Mada  
JL. Grafika, No. 2, Bulaksumur, Sinduadi, Mlati, Sleman  
Email : [rahmat\\_wic@yahoo.com](mailto:rahmat_wic@yahoo.com)

**Abstrak.** Kebocoran pipa boiler memerlukan waktu yang panjang dan biaya pemeliharaan yang mahal dalam perbaikannya. Unit pembangkit juga harus shutdown dalam perbaikannya. Sehingga kegagalan pada pipa boiler harus dapat segera diatasi dan dilakukan pencegahan agar jangan sampai terjadi. Untuk itu perlu diketahui penyebab kebocoran pipa boiler. Pengujian yang dilakukan antara lain pengamatan visual, uji tarik, uji komposisi, uji keras dan struktur mikro. Dari penelitian tentang kebocoran pipa waterwall boiler, disimpulkan bahwa pipa waterwall boiler yang bocor disebabkan oleh korosi oksidasi. Pada tahun 2019 diprediksi ketebalan pipa waterwall boiler tinggal 71% dari tebal awal, sehingga perlu segera dipersiapkan untuk retubing.

**Kata kunci :** kebocoran, pipa, boiler, oksidasi.

## 1. Pendahuluan

### 1.1 Latar Belakang

Sebuah pembangkit listrik tenaga uap dengan kapasitas 65 MW mengalami kebocoran boiler pada pipa *waterwall*. Kejadian ini menyebabkan *shutdown* unit pembangkit. Kebocoran tersebut selain menyebabkan *looses* pada boiler dan dapat membahayakan pipa boiler di sekitarnya. *Looses* pada boiler berupa pemakaian air yang boros tetapi *output* uap yang dihasilkan tidak sebanding. Pipa boiler di sekitar lokasi kebocoran juga dapat mengalami kerusakan akibat semburan air dari pipa bocor yang dapat mengenai pipa di sekitarnya.

Kegagalan pada pipa boiler menjadi masalah yang besar karena memerlukan waktu yang panjang dan biaya perbaikan yang mahal, meskipun pipa yang mengalami kegagalan hanya satu buah. Berdasarkan lokasi kegagalan, pipa *waterwall* menduduki posisi kedua yang sering mengalami kegagalan setelah pipa super heater [1]. Waktu yang panjang dan biaya perbaikan yang mahal menyebabkan kejadian kebocoran pada pipa boiler harus segera diatasi.

### 1.2 Rumusan Masalah dan Tujuan Penelitian

Pada makalah ini, rumusan masalah yang diambil adalah bagaimana mengetahui penyebab kegagalan material pipa *waterwall boiler* PLTU dan apa rekomendasi yang diusulkan untuk meminimalisir dan mencegah terjadinya kegagalan yang serupa pada waktu berikutnya. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui penyebab kegagalan pipa *waterwall boiler* PLTU dan untuk mengetahui rekomendasi perbaikan/pencegahannya.

### 1.3 Metodologi Penelitian

Obyek sampel penelitian ini adalah pipa *waterwall boiler* PLTU dengan kapasitas 65 MW. Waktu pengambilan sampel penelitian ini adalah pada Februari 2016. Pengambilan sampel ini dilakukan dengan cara memotong 50 cm pipa *waterwall boiler* lalu bagian pipa yang terpotong dilas dengan pipa baru agar bisa dioperasikan. Potongan pipa *waterwall boiler* inilah yang akan digunakan sebagai sampel penelitian. Instrumen pada penelitian ini adalah beberapa mesin pengujian, di antaranya mesin *spectometry*, mesin uji tarik, mesin uji struktur mikro, mesin uji keras, dan lain-lain. Beberapa pengujian yang dilakukan adalah pengukuran run out, uji komposisi, uji tarik, dan uji struktur mikro.

## 1.4 Tinjauan Pustaka

### 1.4.1 Kajian Pustaka

Beberapa penelitian terkait kegagalan pada pipa boiler sudah pernah dilakukan. Kegagalan pada pipa boiler sangat bervariasi. Beberapa variasi mekanisme kegagalan dapat terjadi pada boiler karena boiler beroperasi pada temperatur tinggi, tekanan tinggi, dan lingkungan yang abrasif sehingga memungkinkan munculnya variasi mekanisme kegagalan seperti *overheating*, *pitting corrosion*, *creep*, *erosion*, *thermal fatigue*, *corrosion fatigue* dan *stress corrosion cracking* [2].

Dari sekian banyak variasi mekanisme kegagalan, korosi menjadi salah satu penyebab kegagalan pada boiler sehingga pengendalian kontaminan dan *water hardness* menjadi penting agar operasi boiler dalam kondisi aman dalam jangka waktu yang panjang. Selain itu inspeksi pada *tube* untuk mengetahui pengurangan ketebalan pada dinding *tube* sangat penting untuk dilakukan [3].

### 1.4.2. Landasan Teori

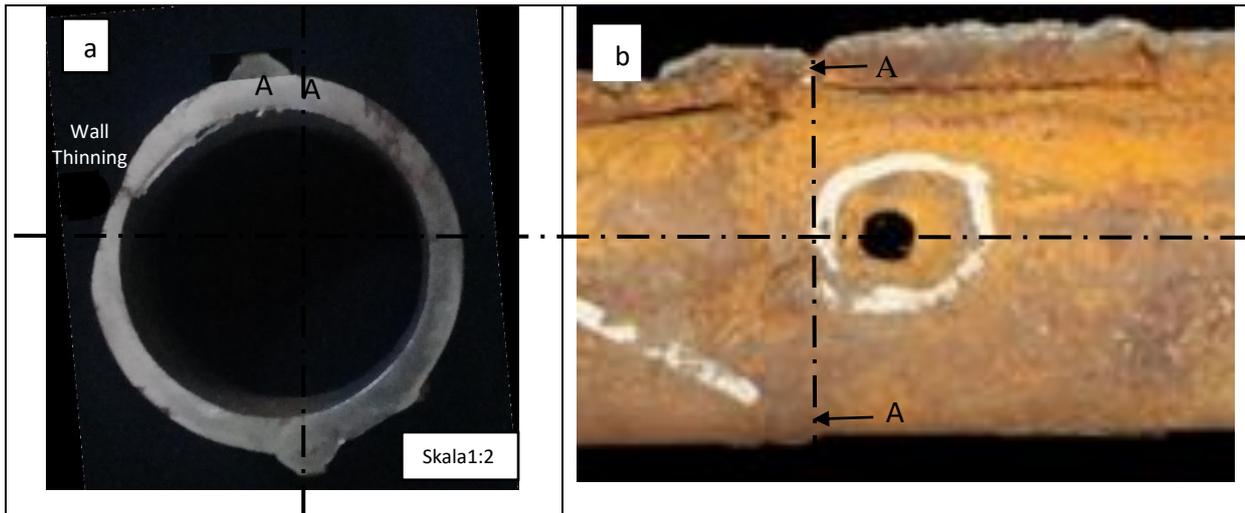
Boiler menghasilkan uap pada tekanan dan temperatur yang diinginkan dengan membakar bahan bakar di ruang bakar [4]. Salah satu mode kegagalan boiler adalah korosi. Korosi adalah perusakan atau penurunan mutu dari material akibat bereaksi dengan lingkungan [5]. Sedangkan penurunan mutu yang diakibatkan interaksi secara fisik bukan disebut korosi, namun biasa dikenal sebagai erosi dan keausan. Masalah korosi pada logam, diperkirakan sekitar 5 % pendapatan industri, dikeluarkan untuk membiayai pencegahan korosi, pemeliharaan atau penggantian peralatan sebagai hasil dari reaksi korosi [6].

## 2. Pembahasan

Beberapa pengujian dilakukan pada penelitian ini. Pada penelitian ini dilakukan pengukuran run out dengan hasil pemeriksaan seperti yang ditunjukkan pada gambar 1. Pada gambar 1.a ditunjukkan bahwa pada sisi pipa mengalami penipisan ketebalan dari sisi luar. Pada gambar 1.b ditunjukkan bahwa pada sisi yang mengalami kebocoran terdapat pada bagian pipa yang mengalami penipisan ketebalan dan di sekitar lubang, pipa juga mengalami korosi.

Selanjutnya uji yang dilakukan adalah uji komposisi material. Pada uji komposisi ini, diperoleh data sebagaimana yang ditunjukkan pada tabel 1. Dari tabel 1 ditunjukkan bahwa komposisi kimia pipa *waterwall boiler* masuk kriteria pipa SA210 *grade* A1 karena prosentase unsur-unsurnya berada dalam standar pipa SA210 *grade* A1. Material SA210 *grade* A1 biasanya dibuat dalam bentuk pipa tanpa sambungan las (*seamless*) yang banyak digunakan untuk pipa boiler.

Pengujian yang selanjutnya adalah uji tarik. Pada uji tarik ini, diperoleh data yang ditunjukkan pada tabel 2. Dari tabel 2 diperoleh hasil bahwa pipa *waterwall* memiliki  $\sigma$  *Ultimate Tensile Strength* (UTS) dan  $\sigma$  *yield* yang lebih besar daripada standar  $\sigma$  UTS dan  $\sigma$  *yield* SA 210 *Grade* A1. Hal ini menunjukkan bahwa pipa *waterwall boiler* masuk dalam kriteria pipa SA 210 *Grade* A1 dan belum mengalami perubahan kekuatan tarik yang besar.



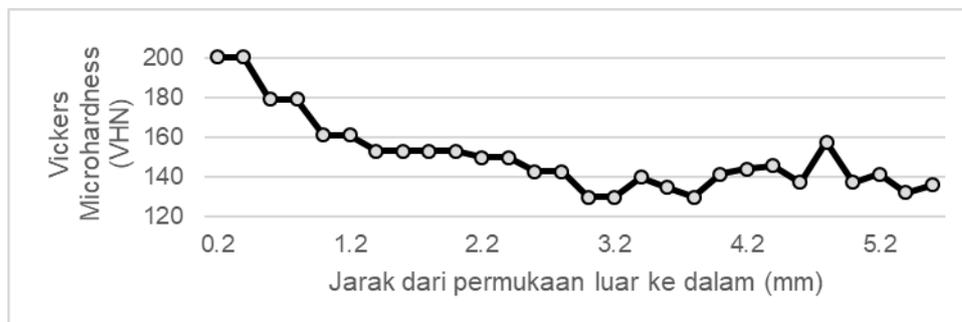
Gambar 1 (a). Potongan melintang pipa *waterwall boiler*. (b). Gambar pipa *waterwall* yang bocor.

Tabel 1. Perbandingan komposisi kimia material pipa *waterwall boiler* dengan pipa SA 210-A1

Pipa	Komposisi (wt %)				
	C	Mn	P	S	Si
Pipa SA 210 <i>Grade</i> A1	0,27 max	0,93 max	0,035 max	0,035 max	0,1 min
Pipa <i>Waterwall</i>	0,2102	0,7187	0,0211	0,0147	0,1931

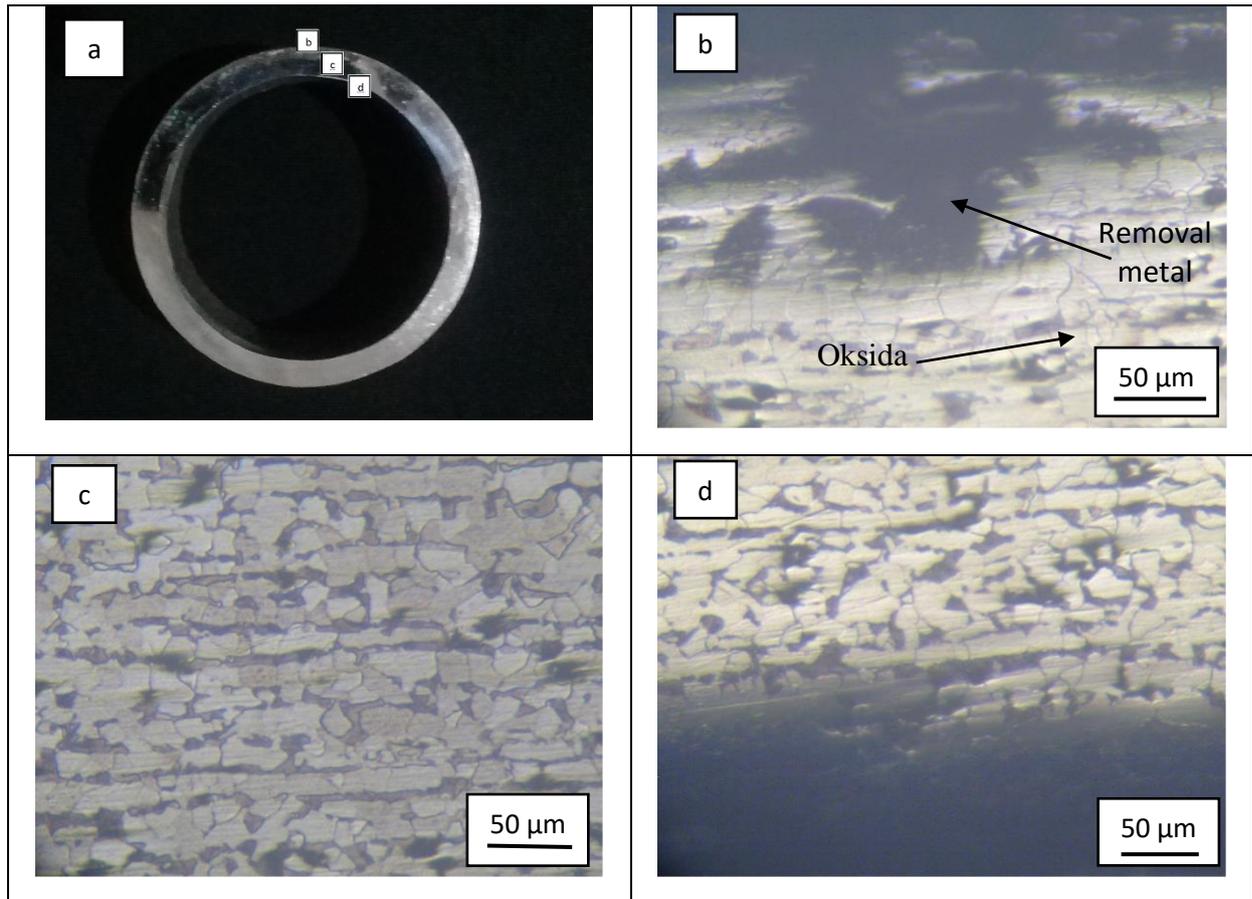
Tabel 2. Perbandingan  $\sigma$  UTS dan  $\sigma$  *yield* pipa *water wall boiler* dengan pipa SA 210-A1

Pipa	$\sigma$ UTS (MPa)	$\sigma$ <i>yield</i> (MPa)
Pipa SA 210 <i>Grade</i> A1	415 (min)	255 (min)
Pipa <i>Waterwall</i>	482	309



Gambar 2. Hasil Uji Kekerasan

Pengujian berikutnya adalah uji keras. Pada uji keras ini diperoleh data yang ditunjukkan pada gambar 2. Dari hasil uji kekerasan diperoleh bahwa permukaan luar pipa memiliki nilai kekerasan yang lebih tinggi daripada permukaan dalam. Hal ini dapat disebabkan oleh proses oksidasi yang terjadi pada permukaan luar pipa. Proses oksidasi menyebabkan terbentuknya lapisan oksida pada pipa bagian luar sehingga permukaan pipa menjadi lebih keras.



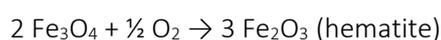
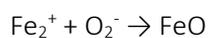
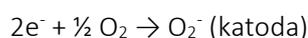
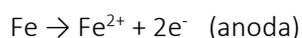
Gambar 3. Hasil Uji Mikro Struktur Pipa *Waterwall Boiler* (a) potongan pipa (b) struktur mikro permukaan luar pipa, (c) struktur mikro permukaan tengah pipa (d) struktur mikro permukaan dalam pipa

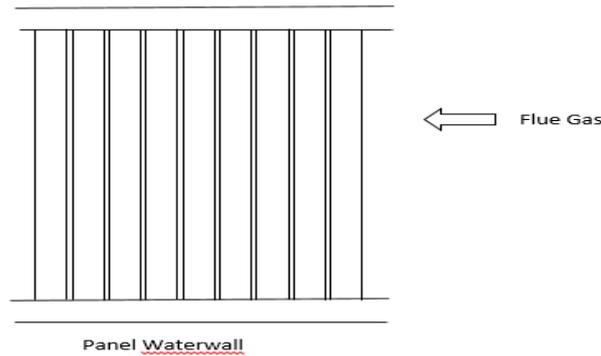
Pengujian terakhir adalah uji struktur mikro. Hasil uji struktur mikro ditunjukkan seperti pada gambar 3. Gambar 3.a menunjukkan potongan pipa dan titik yang diamati struktur mikronya. Gambar 3.b menunjukkan struktur mikro pada permukaan pipa *waterwall* bagian luar. Pada permukaan luar pipa terdapat cekungan yang disebabkan terlepasnya butiran (*removal material*) oleh produk korosi yang menempel di permukaan. Lepasnya butiran (*grain*) pada bagian permukaan dapat disebabkan oleh oksidasi.

Dari kelima pengujian di atas, dapat disusun penyebab kebocoran sebagai berikut:

Gas buang hasil pembakaran mengalami kontak dengan permukaan luar pipa *waterwall boiler*, seperti pada gambar 4. Reaksi kimia antara material pipa dengan gas hasil pembakaran/gas buang mempengaruhi terjadinya korosi pada dinding luar pipa *waterwall boiler*.

Reaksi kimia korosi temperatur tinggi:





Gambar 4. Ilustrasi Kontak Antara *Flue Gas* Dengan Pipa *Waterwall*

Permukaan dinding pipa *waterwall* bagian luar terlihat berwarna oranye. Fenomena yang terjadi pada dinding pipa *fire side* adalah terjadinya korosi temperatur tinggi atau korosi oksidasi. Warna oranye pada pipa merupakan produk korosi (karat). Produk korosi menempel pada permukaan dinding pipa *waterwall* bagian luar.

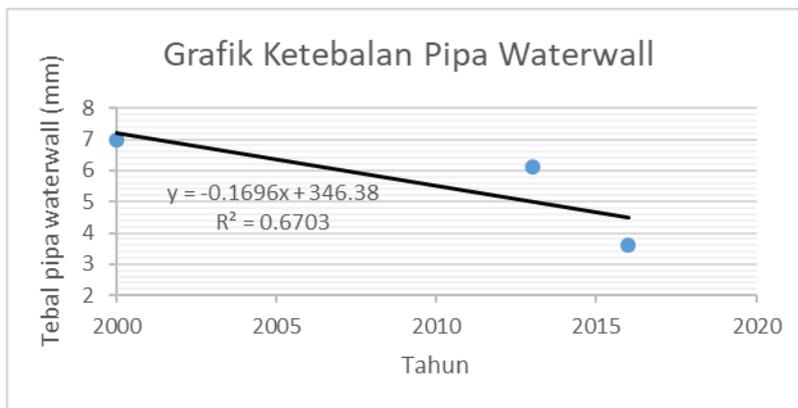
Adanya cekungan yang disebabkan oleh terlepasnya butiran material oleh produk korosi yang menempel di permukaan. Lepasnya butiran pada bagian permukaan dinding pipa dapat disebabkan oleh oksidasi [7]. Hal tersebut ditunjukkan pada hasil uji kekerasan dan struktur mikro. Oksidasi dimulai dari lepasnya Fe menjadi  $Fe^{2+}$  karena bereaksi dengan lingkungan. Ion elektron  $2e^-$  bereaksi dengan oksigen sehingga membentuk ion  $O^{2-}$ . Lalu  $Fe^{2+}$  akan beroksidasi dengan  $O^{2-}$  membentuk senyawa FeO (lapisan pertama oksidasi). Selanjutnya FeO akan bereaksi dengan oksigen maka akan menjadi  $Fe_3O_4$  (lapisan kedua oksidasi) dan  $Fe_2O_3$  (lapisan ketiga oksidasi).

Pada bagian pipa yang mengalami kebocoran terdapat di daerah pipa yang mengalami penipisan ketebalan dan di sekitar lubang, pipa juga mengalami korosi. Hal ini semakin membuktikan bahwa kebocoran disebabkan oleh korosi oksidasi.

Data ketebalan pipa dari sejak pengoperasian tahun 2000 hingga tahun 2016 dikumpulkan dan diplot menjadi bentuk grafik, yang ditunjukkan pada gambar 6, kemudian dapat diketahui persamaannya. Persamaan yang diperoleh adalah

$$y = -0,17x + 346,38 \dots \dots \dots (1)$$

Dari persamaan tersebut dapat diprediksi bahwa pada tahun 2019 maka tebal pipa adalah 3,96 cm atau sekitar 71% dari tebal pipa awal. Oleh karena itu perlu segera dilakukan *retubing* agar tidak mengalami kegagalan akibat penipisan ketebalan pipa.



Gambar 6. Grafik Ketebalan Pipa *Waterwall*

Untuk mencegah terjadinya korosi oksidasi beberapa hal dapat dilakukan antara lain: pengaturan *excess air*, SOP pengoperasian dan pemeliharaan boiler dilaksanakan dengan baik, cek dan kalibrasi sensor temperatur di boiler secara rutin, cek kondisi pipa boiler saat *overhaul*, dan lain-lain.

### 3. Kesimpulan

Dari penelitian tentang kebocoran pipa *waterwall boiler*, disimpulkan bahwa pipa *waterwall boiler* yang bocor disebabkan oleh korosi oksidasi. Untuk mencegah terjadinya korosi oksidasi beberapa hal dapat dilakukan antara lain: pengaturan *excess air*, SOP pengoperasian dan pemeliharaan boiler dilaksanakan dengan baik, cek dan kalibrasi sensor temperatur di boiler secara rutin, cek kondisi pipa boiler saat *overhaul*, dan lain-lain. *Retubing* perlu segera dilakukan karena diprediksi pada tahun 2019 ketebalan pipa *waterwall boiler* tinggal 71% dari ukuran desain awal pipa tersebut.

### Daftar Pustaka

- [1]. Sanjay, P.S, Mandloi, Dr.R.K, 2016. A Failure Analysis and Remaining Life Assessment of Boiler Water Wall Tube, *International Journal of Advanced Engineering Research and Science (IJAERS)*, Vol-3, Issue-7, July- 2016 ISSN: 2349-6495(P) | 2456-1908(O).
- [2]. Duarte, C.A, Espejo, E, Martinez, J.C, 2017. Failure Analysis of the Wall Tubes of a Water-Tube Boiler, *Engineering Failure Analysis*, 79 : 704-713.
- [3]. Daneshvar-Fatah, F, Mostafaei, A, Hosseinzadeh-Taghani, R, Nasirpouri, F, 2013. Caustic Corrosion in a Boiler Waterside Tube: Root Cause and Mechanism, *Engineering Failure Analysis*, 28 : 69-77.
- [4]. Nag, P.K, 2008. *Power Plant Engineering*, Third Edition, Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited, New Delhi.
- [5]. Fontana, M.G, 1987. *Corrosion Engineering*, Third Edition, McGraw-Hill Book Company, London.
- [6]. Callister Jr, W.D, 2014. *Materials Science and Engineering An Introduction 9E*, Wiley, New Jersey.
- [7]. Jones, D.A, 1992. *Principles and Prevention of Corrosion*, Mac Millan, United States of America.