

# Analisa Kerusakan *Water Wall Tube* Pada *Coal Boiler* (Studi Kasus PT Ecogreen Oleochemicals Batam)

Ade Aryandi Putra<sup>1\*</sup>, Budi Prasajo<sup>2</sup>, PranowoSidi<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Program Studi Teknik Perpipaan, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111

<sup>2</sup> Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111

<sup>3</sup> Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111

\*E-mail: [ade.aryandi.p@gmail.com](mailto:ade.aryandi.p@gmail.com)<sup>1\*</sup>, [budiprasajo1968@gmail.com](mailto:budiprasajo1968@gmail.com)<sup>2</sup>, [pransidi03@gmail.com](mailto:pransidi03@gmail.com)<sup>3</sup>.

## Abstrak

Peranan boiler sangat penting pada pembangkit listrik di PT. Ecogreen Oleochemicals Batam. Salah satu bagian terpenting adalah *water-wall tube panel*. *Water wall tube coal boiler* 1 unit 2 telah beroperasi selama 5 tahun. Dalam kurun waktu tersebut, terjadi kerusakan pada *water wall tube* (Baja karbon GB 3087-10/SA-192) yaitu *short-term overheating* pada *furnace boiler*. Berdasarkan perhitungan *TLMT* kenaikan temperatur *furnace* sebesar 1100 °C mengakibatkan temperatur fluida meningkat sebesar 730 °C dengan tekanan 12,4 MPa dan tegangan 48,2 MPa, dengan kondisi seperti ini *tube* tidak bisa menahan tekanan dan temperatur pada saat *furnace overheating*, perhitungan nilai tegangan temperatur maksimal yang diizinkan tidak lebih besar dari 550 °C dengan *MAWP* 2,3 MPa serta maksimal tegangan yang diizinkan sebesar 12,7 MPa.

Kerusakan diawali dengan *overheating (short term)* pada *furnace boiler* akibat penurunan debit aliran fluida, penyebab utama dari kegagalan sistem yaitu kegagalan fungsi dari *instrument control* dalam mengukur level air pada *steam drum* sehingga informasi yang direkam tidak akurat, dan kelalaian operator (*human error*) dalam menilai dan menganalisa situasi serta kondisi operasi yang tidak normal, serta tidak adanya sistem *emergency control* pada *furnace boiler*, sehingga tidak adanya *control* sistem darurat secara otomatis untuk menangani kondisi jika tidak sesuai operasional.

**Kata Kunci:** Baja Karbon GB 3087-10/SA-192, *short term overheating*, *stress concentration factor*, *MAWP*, *macroscopic*, mekanisme kerusakan.

## 1. PENDAHULUAN

Saat *overhaul* pada tahun 2016, tepatnya di *coal boiler* 1 unit 2, semua *water wall tubes* harus diganti dikarenakan semua sisi *wall tube coal boiler* 1 unit 2 mengalami *bukling* dan satu *tube* terdapat sobekan (*thin edge fish mouth*) dibagian sisi dalam *tube* di elevasi 11 meter dari dasar *furnace boiler*. Kerusakan terjadi pada bulan Agustus tahun 2016 atau setelah mengalami kerja hampir 5 tahun. *Furnace boiler* mengalami *overheat* dikarenakan jumlah debit air yang mengalir turun dari *steam drum* tidak sesuai (kurang) dari desain dan normal operasional pada boiler, akibatnya jumlah panas yang dilepas dari *furnace boiler* tidak seimbang dengan jumlah panas yang diserap oleh air di dalam *tubes* sehingga mengakibatkan *overheat* pada *furnace* sehingga terjadi kerusakan pada *water wall tube*. *Wall tube* tersebut merupakan baja karbon GB 3087-10/SA-192. Untuk mengatasi permasalahan tersebut diperlukannya penelitian tentang mekanisme kerusakan *tubes* dengan melakukan pengamatan visual terhadap kondisi sampel *tubes*, pengamatan bentuk mikro, serta karakter fisik dan mekanis terkait dengan kondisi operasional dari sistem *coal boiler* 1 unit 2. Hasil akhir dari penelitian

ini diharapkan dapat menjadi dasar untuk pencegahan terjadinya jenis kerusakan komponen yang sama di kemudian hari.

## 2. METODOLOGI

*Short-term overheating* adalah kegagalan di mana ketika kondisi suhu logam *tube* meningkat sehingga *hoop stress* dari tekanan *internal steam* sama dengan kekuatan tarik maksimal material *tube* pada suhu tinggi, kondisi ini bisa mengakibatkan *tube* akan pecah, seperti yang terjadi pada *water wall tube coal boiler* 1 unit 2 di PT Ecogreen Oleochemicals Batam. Mengatasi permasalahan tersebut diperlukannya penelitian tentang mekanisme kerusakan *tubes* dengan melakukan pengamatan visual terhadap kondisi sampel *tubes*, pengamatan bentuk makro, dan perhitungan nilai tegangan, serta karakter fisik dan mekanis terkait dengan kondisi operasional dari sistem *coal boiler* 1 unit 2 di PT Ecogreen Oleochemicals Batam. Bagan lengkap metodologi dapat dilihat pada **Gambar 1**.

KETERANGAN	NILAI						
Temperature °C	450	475	500	525	550	575	730
S Value (MPa)	56.2	44.5	31.9	21.8	12.7	3.6	-54
S Value (Bar)	562	445	319	218	127	36	-540
S Value (psi)	8261.4	6541.5	4689.3	3204.6	1866.9	529.2	-7938
MAWP (psi)	1495.3	1184.0	848.7	580.0	337.9	95.8	1436.7
MAWP (MPa)	10.2	8.1	5.8	3.9	2.3	0.7	9.8
Stress Hoop (Psi)	7371.83	5837.12	4184.091	2859.4	1665.847	472.294	7082.9
Stress Hoop (MPa)	50.1	39.7	28.4	19.4	11.3	3.2	48.2

Gambar 1 Diagram alir penelitian

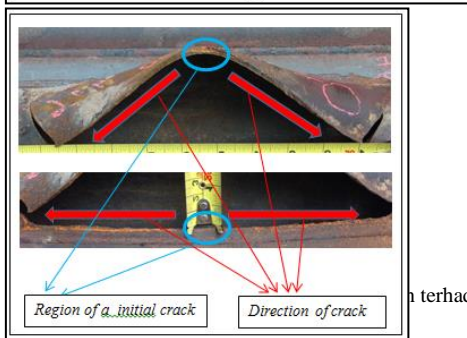
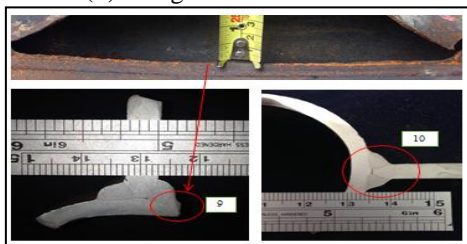
### 3.HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Hasil Pengamatan dan Pengujian Makro

##### (a). Pengamatan Visual



##### (b). Pengamatan Makro



Gambar 2 Hasil Pengamatan visual dan pengujian makro

##### (c). Pengamatan permukaan patahan

Pada pengamatan makro yang ditunjukkan pada Gambar 2(b) terlihat bentuk dari daerah weld metal dan base metal dari spesimen tube normal, deformasi, dan tube rusak. kedalaman penetrasi weld metal terhadap base metal dan fin metal terlihat baik, begitu juga pada spesimen tube rusak. Pada spesimen tube rusak yang ditunjukkan pada titik 9,

patahan terjadi 1 mm diluar weld metal diasumsikan daerah HAZ dari weld metal, hal ini diperkirakan initial crack muncul pada daerah tersebut sehingga timbulnya micro crack dan menghasilkan konsentrasi tegangan di area crack tersebut.

Menurut H.E Boyer 1974, pada permukaan patahan material pada Gambar 2 (c), initial crack terbentuk pada daerah permukaan patahan yang terlihat halus, terbentuknya permukaan yang halus disebabkan oleh perambatan crack yang relatif lambat, dan selanjutnya perambatan crack yang sangat cepat terjadi pada daerah yang permukaan patahannya yang relatif kasar dan acak.

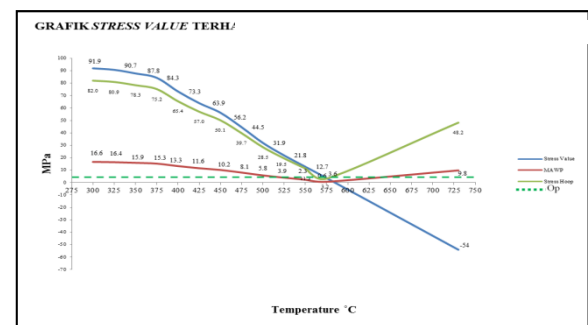
#### 3.2 Perhitungan Nilai Tegangan dan MAWP

##### Tabel

1. Perhitungan nilai tegangan dan MAWP pada setiap kenaikan temperatur

KETERANGAN	NILAI						
Temperature °C	300	325	350	375	400	425	450
S Value (MPa)	91.9	90.7	87.8	84.3	73.3	63.9	56.2
S Value (Bar)	919	907	878	843	733	639	562
S Value (psi)	13309.3	13332.9	12906.6	12392.1	10775.1	9393.3	8261.4
MAWP (psi)	2445.1	2413.2	2336.0	2242.9	1950.2	1700.1	1495.3
MAWP (MPa)	16.6	16.4	15.9	15.3	13.3	11.6	10.2
Stress Hoop (Psi)	12054.5	11897.05	11516.6	11057.5	9614.7	8381.7	7371.7
Stress Hoop (MPa)	82.0	80.9	78.3	75.2	65.4	57.01	50.1

Tabel 2. Perhitungan nilai tegangan dan MAWP pada setiap kenaikan temperature (lanjutan)

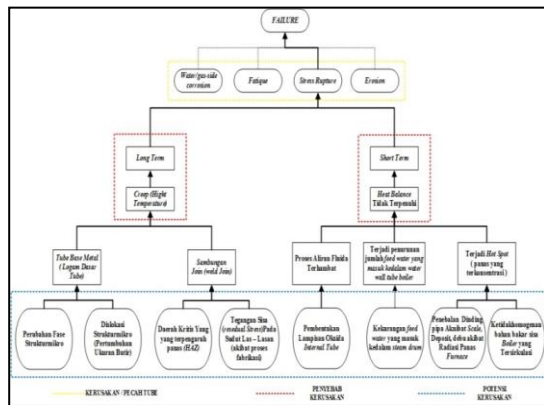


Pada Gambar 3 ketika terjadi kenaikan temperatur menyebabkan menurunnya nilai s value material, begitu juga nilai MAWPnya. Pada temperatur 450 °C nilai MAWPnya lebih besar dari pada tekanan operasionalnya 4,9 MPa dengan nilai tegangan 50,1 MPa, pada kondisi tersebut, tube masih dalam kondisi aman operasional. Ketika kenaikan temperatur 730 °C, s value material akan hilang dan dengan kenaikan temperatur 730 °C menyebabkan meningkatnya tekanan internal sebesar 12,4 MPa dengan tegangan 48,2 MPa.

### 3.3 Mekanisme Kerusakan Water Wall Tubes (Damage Mechanism)

Ada beberapa hal yang harus diverifikasi dalam menganalisis kondisi yang terjadi di dalam boiler diantaranya yaitu kondisi operasional, kelayakan setiap equipment, serta instrument control. Untuk itu di perlukanya analisis terhadap permasalahan yang terjadi. Mekanisme kerusakan water wall tubes dijelaskan secara diagramatis pada

Gambar 4.



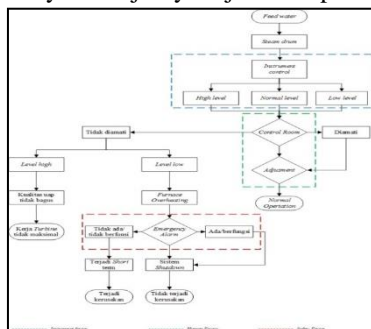
Gambar 4 Diagram mekanisme kerusakan fungsi pada water wall tube

Pemicu terjadinya kegagalan adalah korosi dan penipisan pada dinding serta microcrack pada material yang terdegradasi akibat high temperature long time exposure.. Pertumbuhan dari microcrack akibat kondisi operasi dan korosi lebih lanjut menyebabkan material mengalami kerusakan.

### 3.4 Faktor Yang Mempengaruhi Terjadinya Kerusakan Pada Water Wall Tubes Boiler

#### Kerusakan Pada Water Wall Tubes Boiler

Kerusakan pada water wall tubes merupakan hal yang paling tidak diinginkan pada sistem pembangkit, disamping itu terjadinya kerusakan pada water wall tubes juga dipengaruhi oleh beberapa faktor yang berperan penting terjadinya kerusakan water wall tubes, diantaranya faktor keamanan, instrument control, dan faktor manusianya selanjutnya dijelaskan pada



Gambar 5 Diagram pengaruh sistem operasional terhadap kerusakan water wall tubes

Dalam kasus ini beberapa penyebab utama dari kegagalan sistem yang pertama yaitu kegagalan fungsi dari instrument control dalam mengukur level air sehingga informasi yang direkam tidak akurat, dan kelalaian operator dalam menilai dan menganalisa situasi serta kondisi operasi yang tidak normal, serta tidak adanya sistem emergency control pada furnace boiler, sehingga tidak ada control sistem darurat secara otomatis untuk menangani kondisi jika tidak sesuai operasional

### 4. KESIMPULAN

a. Kenaikan temperatur furnace sebesar 1100 °C mengakibatkan temperatur fluida meningkat sebesar 730 °C dengan tekanan 12,4 MPa serta dengan nilai tegangan 48,2 Mpa

b. Penyebab utama dari kegagalan sistem yang pertama yaitu kegagalan fungsi dari instrument control dalam mengukur level air sehingga informasi yang direkam tidak akurat, dan kelalaian operator (human error) dalam menilai dan menganalisa situasi serta kondisi operasi yang tidak normal, serta tidak adanya sistem emergency control pada furnace boiler, sehingga tidak adanya control sistem darurat secara otomatis untuk menangani kondisi jika tidak sesuai operasional serta Pemicu terjadinya kegagalan adalah korosi dan penipisan pada dinding material yang telah mengalami degradasi akibat high temperature long time exposure dan ditambah dengan adanya tekanan operasi yang tinggi serta kondisi material yang telah terdegradasi menimbulkan microcrack pada sisi yang SCFnya lebih besar yaitu sudut las-lasan. Pertumbuhan dari microcrack akibat kondisi operasi dan korosi lebih lanjut menyebabkan material mengalami kerusakan.

### 5. DAFTAR NOTASI

- TLMT = Log mean temperature
- $T^1$  = High temperature (C°)
- $T^2$  = Low temperature (C°)
- ln = Logaritma
- MAWP = Maximum allowable working pressure
- S = Stress value (MPa)

### 6. DAFTAR PUSTAKA

1. ASME. 2010. ASME Section 1, Rules for Construction of Power Boilers, Section 1, The American Society of Mechanical Engineers, U.S.A.
2. ASME. 2010. ASME Boiler & Pressure Vessel Code, Part A-Ferrous Material

*Specifications*, The American Society of Mechanical Engineers, U.S.A

3. Adit A, H, Kuntari, Hafid. (2009) *Analisa Kegagalan Pipa Superheater Boiler di Industri Kelapa Sawit*
4. Shields, 1961, *Terminology of boiler and specification*, U.S.A
5. Neubauer, B dan Wedel, U. 1983. *Restlife Estimation of Creeping Components by Means of Replicas, in Advances Prediction methods*, Ed. Woodford and Whitehead. *The American Society of Mechanical Engineers*,

$t$  = Thickness (Inch)

$D_o$  = Outside diameter (Inch)

$D_1$  = Inside diameter (Inch)

$R_1$  = Inside radius (Inch)

$R_o$  = Outside radius (Inch)

$R_2$  = Average radius (Inch)

U.S.A.

6. Sanford, R.J., *Principles of Fracture Mechanic*, 2003, Prentice Hall, Isbn p-13-192992-1
7. W.D Calilister. *Fundamental of material science and engineering/ an interactive e*. 2001, Jhon Willey & Sons, Inc., New York, ISBN 0-471-3955-x