

ANALISA KEGAGALAN SUPERHEATER TUBE PAKET BOILER BERBAHAN BAKAR GAS DENGAN KAPASITAS 22 TON/ JAM

Lantip Catur Kadiyanto^{1*}, Faisal Safa² dan Buchori³

¹ PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang, Palembang

² Ketua BKTII PII 2021-2024

³ Teknik Pertambangan, Universitas Sriwijaya

Corresponding author: lantipck@gmail.com

ABSTRAK: Paket *Boiler* berbahan bakar gas di gunakan sebagai penghasil steam yang di manfaatkan untuk penggerak turbin uap di Pabrik. Paket *Boiler* tersusun dari beberapa *arrangement tube* antara lain *economizer tube*, *boiler tube* dan *superheater tube*. Superheater tube berfungsi untuk mengubah uap jenuh (saturated steam) menjadi *super-saturated steam* yang akan di salurkan ke penggerak turbin di pabrik. Tipe kegagalan *tube* di paket *boiler* yang sering terjadi adalah di area *Superheater tube* dikarenakan di area ini menerima panas yang sangat tinggi sehingga rentan terjadi kegagalan saat beroperasi. Berdasarkan kegagalan *tube* yang terjadi di Paket *Boiler* Pabrik Utilitas-X diketahui terjadi *superheater tube* yang pecah di row nomor 9 dan nomor 10. Agar kegagalan serupa tidak terjadi kembali maka dilakukan Analisa kegagalan terkait dengan kerusakan *Superheater tube* tersebut. Pengujian kekerasan (*hardness*), komposisi material, pengukuran ketebalan *tube* dan pengamatan struktur mikro dilakukan untuk mengetahui bentuk dan penyebab kegagalan. Hasil dari pengujian dan analisa kegagalan *Superheater tube* di paket boiler pabrik utilitas-x diketahui bahwa bentuk kegagalannya adalah *short-term overheating*.

Kata Kunci: Paket Boiler, Superheater Tube, Short-term Overheating

ABSTRACT: The gas-fired boiler package is used as a steam generator that is used to drive steam turbines in the factory. Boiler packages are composed of several tube arrangements, including economizer tubes, boiler tubes, and superheater tubes. The superheater tube serves to convert saturated steam into super-saturated steam, which will be distributed to the turbine drive in the factory. The type of tube failure in the boiler package that often occurs is in the Superheater tube area because this area receives very high heat so it is prone to failure while operating. Based on tube failures that occurred in the Utility-X Plant Boiler Package, it is known that the superheater tube broke in rows number 9 and number 10. So that similar failures do not occur again, a failure analysis is carried out related to the damage to the Superheater tube. Hardness testing, material composition, tube thickness measurement, and microstructure observation are carried out to determine the form and cause of failure. The results of testing and analyzing the failure of the Superheater tube in the boiler package of the x-utility plant show that the form of failure is short-term overheating.

Keywords: Boiler Package, Superheater Tubes, Short-term overheating

PENDAHULUAN

Terdapat beberapa tipe boiler modern saat ini, yakni *Fluidized boiler*, *Oil and gas fired boilers*, *Pulverized coal fired (PCF) boiler*, *Cyclone firing boiler*, *Package boiler*, dan *Recovery boilers*. Paket Boiler merupakan jenis boiler yang sangat umum di gunakan terutama untuk tipe berbahan bakar gas. Di pabrik -x terdapat beberapa Boiler yang digunakan sebagai pembangkitan steam diantaranya adalah bertipe paket boiler berbahan bakar gas. Adapun spesifikasi Boiler yang terdapat di Pabrik utilitas -X ini dapat di lihat dari Tabel 1 dan Tabel 2

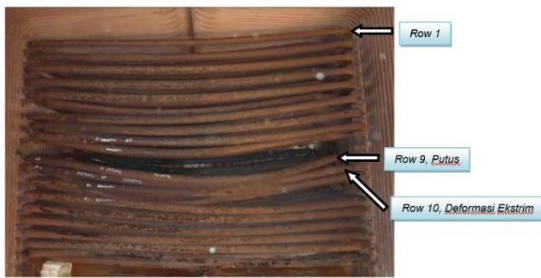
Tabel 1. Spesifikasi Paket Boiler Berbahan Bakar Gas di Pabrik Utilitas-X

<i>Manufactured</i>	: Keystone
<i>Design Steam Pressure</i>	: 700 PSIG
<i>Operating Steam Pressure</i>	: 750 PSIG
<i>Operating Steam Temperature</i>	: 750 °F
<i>Water Holding Capacity At normal level</i>	: 50.000 pounds (weight) = 22 ton/hour

Tabel 2. Spesifikasi Tube Boiler Berbahan Bakar Gas di Pabrik Utilitas-X

Tubes	Number	Outside Ø (OD)	Wall thickness
Furnace	544 EA	2"	0.120" & 0.135"
Superheater	17 EA	2 1/2"	0.165"
Convection Section	916 EA	2"	0.105"
Economizer	238 EA	2"	0.105"

Kegagalan yang sering terjadi di paket boiler berbahan bakar gas di Pabrik Utilitas-X adalah superheater tube, selama pabrik beroperasi dalam kurun waktu 11 tahun sudah dilakukan 2 kali pergantian unit baru superheater tube. Seringnya terjadi kegagalan di superheater tube dikarenakan di area superheater tube mendapatkan paparan panas temperatur tinggi sehingga desain material untuk material tube di superhetaer memeiliki grade high temperature alloy. Kegagalan superheater tube yang terjadi di Pabrik Utilitas-X dapat dilihat di gambar 1 dan 2.



Gambar 1. Konfigurasi susunan superheater tube yang mengalami kegagalan.



Gambar 2. Fracture area di superheater tube yang gagal.

Pembahasan Analisa Kegagalan ini penting dilakukan agar dapat diketahui penyebab kegagalan sehingga bisa dilakukan antisipasi jangan sampai kejadian serupa terulang kembali dimasa yang akan datang. Adapun pengujian dan pemeriksaan yang dilakukan adalah Pengujian kekerasan material (hardnees) di gunakan untuk mengetahui apakah terdapat fasa keras yang terbentuk selama oeprasional, pengukuran outside diameter (OD) dan ketebalan pipa untuk mengetahui apakah telah terjadi perkembangan creep, analisa komposisi kimia material untuk mengetahui apakah ada

terjadi karburisasi di tube dan analisa dan pemeriksaan struktur mikro untuk mengetahui apakah secara visual terdapat fasa keras yang sudah terbentuk.

METODE PENELITIAN

1. Material Superheater tube yang mengalami kegagalan operasional.

Material superheater tube yang rusak yang akan di analisa dapat dilihat dari tabel 3, dimana material tersebut termasuk material low alloy steel yang tahan terhadap temperature tinggi.

Tabel 3. Spesifikasi Material Superheater tube yang mengalami kegagalan operasional

C	Mn	P	S	Si	Cr	Mo
0.15 Maximum	0.30 To 0.60	0.025 Maximum	0.025 Maximum	0.25 To 1.00	8.0 To 10.0	0.90 To 1.10
Tensile Strength		Yield Strength		Elongation		Hardness
415 min		205 min		30 min		179 max

2. Pengujian Kekerasan

Nama Alat : Portable Hardness (EQUOTIP)

Material Uji : A 213 - T22 (2.25Cr-1Mo steels)

Standar kekerasan yang diijinkan Maksimum 163 HB (ASTM, A 213 T22)

Pengukuran dilakukan tim dari Laboratorium Teknik.

3. Pengukuran Expansion Creep

Nama Alat : Outside Diameter scale

Material Uji : Pipa superheater tube row 9 dan row11

Pengukuran dilakukan tim dari Laboratorium Teknik.

4. Pengukuran Ketebalan Tube

Nama Alat : Panametric NDT

Material Uji : A 213 - T22 (2.25Cr-1Mo steels)

Ketebalan Awal : 4.19 mm

Pengukuran dilakukan tim dari Laboratorium Teknik

5. Pengamatan Struktur Mikro

Untuk melihat perubahan struktur mikro yang terjadi pada superheater coil package boiler ini, maka perlu dilakukan pengamatan struktur mikro pada beberapa bagian. Pengambilan sampel dilakukan pada bagian tube yang pecah, pada bagian tube yang masih utuh (tidak pecah) yang diperkirakan strukturnya masih normal. Serta pada bagian yang terdeformasi ekstrim

dan telah mengalami *bulging* tetapi belum pecah. Lokasi pengambilan benda uji (sample ditunjukkan pada gambar 3 dan detail deskripsinya dapat dilihat di tabel 4.



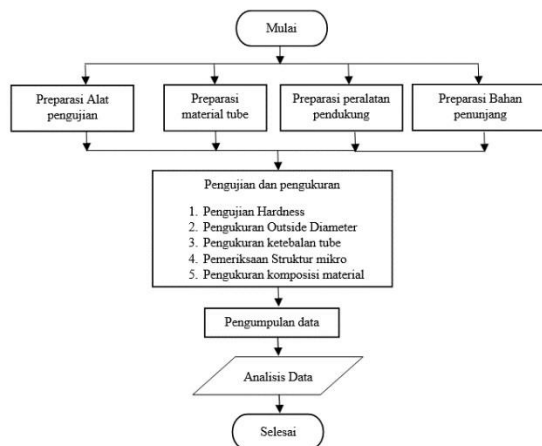
Gambar 3. Lokasi pengambilan sample untuk pengamatan struktur mikro

Tabel 4. Detail lokasi pengambilan sample untuk pengamatan struktur mikro.

Sample 1	Benda uji yang diambil pada bagian sisi tube yang masih utuh, jauh dari sisi tube yang pecah dan tidak tampak adanya perubahan warna tube yang terlalu mencolok. Sample ini dianggap masih dalam keadaan baik.
Sample 2	Benda uji yang diambil pada bagian sisi tube yang pecah (row 9 baris ke 3)
Sample 3	Benda uji yang diambil pada bagian sisi tube yang terdeformasi ekstrim (row 10 baris ke 4). Bagian ini sudah mengalami bulging tetapi belum pecah

Persiapan Pengujian : Potongan benda uji di mounting dan setelah itu permukaannya diampelas, dipoles dan dietsa. Dengan menggunakan Nital 2%. Pengamatan dengan mikroskop optik pembesaran 400x.

- 6. Pengukuran komposisi kimia
Alat uji : Portable Optical Emission Spektrograph (Oxford Technology)
- 7. Diagram alir penelitian (Gambar 4)



Gambar 4. Diagram Alir Penelitian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

- 1. Hasil Pengukuran kekerasan material (*hardness*)
Adapun hasil pengukuran kekerasan material dengan menggunakan alat portable hardness Equatip dapat dilihat di tabel 5.

Tabel 5. Hasil Pengukuran Kekerasan Material

Kolom	Row 9	Row 10	Row 11	Row 12
1	188	203	165	197
2	239	207	164	164
3	341	226	165	160
4	363	264	202	197
5	219	261	167	183
6	231	239	-	-
7	184	212	-	-

- 2. Hasil pengukuran outside diameter dan perhitungan persentase creep.
Berdasarkan hasil perhitungan diameter dan outside diameter superheater tube maka kemudian dilakukan penghitungan expansion creep di row 9 yang pecah tersebut dengan menggunakan formula yaitu

$$E_c = \frac{k_i - k_0}{k_0} \times 100\% \dots\dots\dots(1)$$

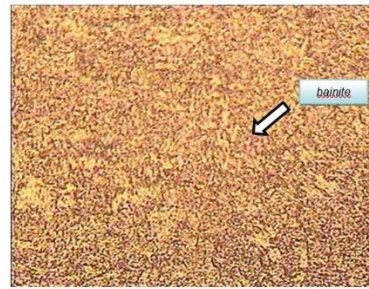
E_c = Ekspansion Creep
 k_i = keliling diameter luar tube hasil pengukuran dan diambil yang terpanjang
 k_0 = keliling diameter luar tube sebelum digunakan atau dioperasikan
 $k_0 = \pi \cdot d_{std} = \pi \cdot 63.5 \text{ mm} = 199,39 \text{ mm}$

Dari hasil penghitungan dapat diketahui besaran creep di superheater tube row 9 dapat dilihat di Tabel 6.

Tabel 6. Hasil penghitungan besaran persentase creep superheater tube row 9

Section	k _i	k _o	k _s	k _o	%Creep
1	65.40	63.5	205.54	199.57	2.99
2	67.80	63.5	213.08	199.57	6.77
3	69.43	63.5	218.20	199.57	9.33
4	67.98	63.5	213.65	199.57	7.05
5	67.20	63.5	211.2	199.57	5.82
6	66.20	63.5	208.05	199.57	4.25
7	64.80	63.5	203.65	199.57	2.04

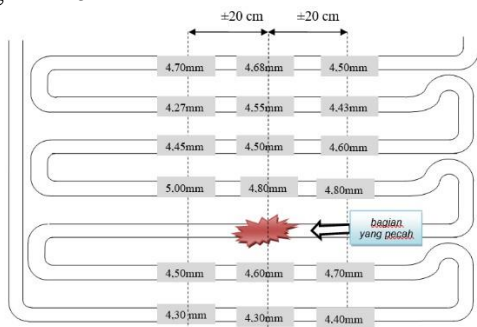
←
Bagian yang pecah.



Gambar 8. Sampel 3 menunjukkan fase bainite, nital 2%, 400x

3. Hasil Pengukuran ketebalan tube

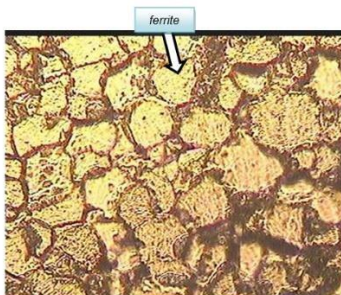
Berdasarkan hasil dari pengukuran ketebalan tube diketahui hasil dari pengukuran dapat dilihat di gambar 5.



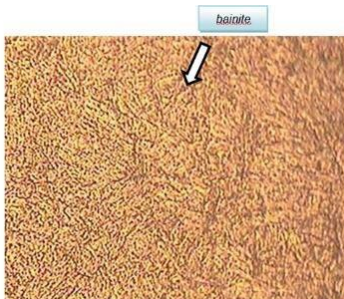
Gambar 5. Hasil Pengukuran ketebalan tube superheater row 9 yang pecah.

4. Hasil pengamatan struktur mikro material superheater tube

Berdasarkan hasil pengamatan struktur mikro diketahui beberapa hasilnya yang dapat dilihat dengan jelas di gambar 6, gambar 7, dan gambar 8.



Gambar 6. Sampel 1 menunjukkan fase perlitte, nital 2%, 400x



Gambar 7. Sampel 2 menunjukkan fase bainite, nital 2%, 400x

5. Hasil pengukuran komposisi kimia

Berdasarkan hasil dari komposisi kimia yang di ukur di dapat hasil yang dapat dilihat di gambar 9.

Element	Block 1	Block 2	Block 3	Block 4	Block 5	Block 6	Average
Fe %	99,7	99,3	99,7				99,2
C %	0,123	0,126	0,116				0,122
Si %	0,359	0,361	0,351				0,357
Mn %	0,627	0,620	0,643				0,630
Cr %	2,39	2,37	2,45				2,41
Mo %	0,992	0,985	1,01				0,997
Al %	0,0815	0,0767	0,0781				0,0789
Al %	0,0831	0,0893	0,0377				0,0567
Cu %	0,0070	0,0060	0,0065				0,0065
Cu %	0,0118	0,0441	0,0431				0,0430
Nb %	0,0068	0,0072	0,0069				0,0070
Ti %	0,0030	0,0023	0,0039				0,0030
V %	0,0061	0,0071	0,0075				0,0070
W %	0,0250	0,0230	0,0250				0,0250
Pb %	0,0100	0,0100	0,0100				0,0100

Gambar 9. Komposisi kimia superheater tube yang gagal.

Dari pengujian komposisi kimia didapatkan hasil komposisi kimia yang terkandung dalam material superheater, maka dapat dihitung nilai carbon equivalent untuk material superheater coil. Rumus untuk menghitung carbon equivalent berdasarkan persamaan "Dearden and O'neill" adalah sebagai berikut :

Diketahui :

- %C = 0.12
- %Mn = 0.63
- %Cr = 2.4
- %Mo = 0.99
- %V = 0.007
- %Cu = 0.04

%Ni = 0.07

$$CE = \%C + \frac{\%Mn}{6} + \left[\frac{\%Cr + \%Mo + \%V}{5} \right] + \left[\frac{\%Cu + \%Ni}{15} \right]$$

$$= 0.12 + \frac{0.63}{6} + \left[\frac{2.4 + 0.99 + 0.007}{5} \right] + \left[\frac{0.04 + 0.07}{15} \right]$$

$$= 0.12 + 0.105 + 0.679 + 0.007$$

$$= 0.911\%$$

Jadi nilai carbon equivalent untuk superheater sebesar 0.911%. maka dapat diketahui transformasi fasa penuh menjadi austenite terjadi pada temperatur ± 760°C, sedangkan inti austenite mulai ada pada temperatur 723°C.

Dari hasil pengamatan struktur mikro tube row 9 dan row 10, terlihat struktur bainite. Perubahan struktur mikro ini tidak hanya terjadi pada superheater coil row 9 yang

kehilangan aliran pendingin akibat adanya rupture, tetapi juga terjadi pada row 10 yang tidak pecah dan masih memiliki aliran pendingin. Hal ini membuktikan bahwa pada bagian *superheater coil* ini telah mengalami pemanasan yang tinggi, melebihi temperatur pembentukan inti austenit (723°C). Superheater coil ini telah mengalami proses austenisasi kemudian mengalami pendinginan yang relatif cepat. Pendinginan yang relatif cepat ini menyebabkan terbentuknya fasa bainite yang memiliki nilai kekerasan yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan struktur perlit.

Overheating yang terjadi pada tube ini termasuk kategori *short – term overheating* yang dibuktikan dengan perubahan struktur mikro pada tube tersebut. *Short – term overheating* dapat diidentifikasi dengan pemeriksaan metalografi untuk memperoleh tampilan mikroskopik tube tersebut. Teknik identifikasi yang lain kurang efektif untuk menganalisa *short-term overheating*. Tube yang mengalami *short-term overheating* ujung pecahannya mungkin tumpul dan tetap mempertahankan sebagian besar ketebalan dinding tube nya atau secara bertahap lancip ke bibir pecahan (*knifelike*) . peristiwa pecahnya tube dapat terjadi sangat keras, terkadang peristiwa ini membengkokkan tube hampir dua kali lipat.

Port menyebutkan, Ada beberapa hal yang dapat menyebabkan terjadinya *overheating* diantaranya *over firing*, pola aliran flue gas yang tidak baik, aliran pendingin yang terbatas (terdapat deposit yang sangat signifikan atau dalam skala besar), dan komposisi paduan logam yang tidak tepat... (*the nalco guide to boiler failure analysis - Robert D. Port* (1991). Pada kejadian ini, tidak terdapat deposit yang sangat signifikan, serta komposisi paduan logam sudah tepat sesuai dengan standar ASTM A213 T22 (dibuktikan dengan hasil pengukuran komposisi kimia paduan). Kemungkinan terbesar penyebab terjadinya *overheating* yang mengakibatkan kegagalan disebabkan oleh *over firing* atau oleh pola aliran *flue gas* yang tidak baik.

Pada superheater dan reheater yang dioperasikan 30 sampai 85 °C (50 sampai 150 °F) melebihi temperatur normal operasi steam dalam tube, fluks panas yang tinggi menyebabkan tingginya temperatur dinding tube. Hal ini dapat menyebabkan tube mengalami *overheating*. *Fracture* utama biasanya memiliki tampilan *fishmouth* dan bisa berupa *thin-lip* atau *thick lip rupture* (ASM, *Metal Handbook*, 2002)

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Kegagalan tube superheater coil kemungkinan terbesarnya diakibatkan oleh peristiwa short term overheating.

Saran

1. Perlu segera menyiapkan spare superheater coil dengan konstruksi seperti asli nya (original design oleh Zurn, USA).
2. Perlu dihindarinya siklus termal (start – stop) Karena dapat mempengaruhi umur. Start-stop yang terlalu sering perlu dihindari.
3. Perlu untuk memperhatikan temperatur dan beban yang bekerja pada tube, karena hal itu dapat mempengaruhi rate creep tube. Secara umum, peningkatan temperature sekitar 25⁰F (12⁰C) atau peningkatan 15% stress dapat mengurangi setengah sisa umur bahkan lebih, dari umur pakai tube tersebut.
4. Perlu dilakukan pengecekan terhadap *burner* agar api yang dihasilkan baik.
5. Perlu diyakinkan untuk setiap start – up agar mengikuti prosedur yang ada.
6. Perlu dilakukan evaluasi *support system* agar tidak menyebabkan tube turun dan melengkung.

DAFTAR PUSTAKA

- Robert D.Port.(1991). the nalco guide to boiler failure analysis: 47-48.
- ASM metal handbook Volume 11. (2002). Overheating fracture. 2612.
- Inspection Report Departemen Inspeksi Teknik PT. Pusri Palembang. (2018). Kegagalan Tube Superheater Paket Boiler.