

Pengujian Metalografi dan Kekerasan dalam Penentuan Umur Sisa *Screen Tube Superheater* pada Boiler Batu Bara

Nurdiansyah^{1*}, Ratnawati², Yano Hurung Anoi³ Lukito Dwi Yuono⁴

^{1,2,3}Prodi Studi Teknik Mesin, Sekolah Tinggi Teknologi Industri Bontang
Jl. Brigjhen Khatomso No 40, Bontang Barat, Bontang, Kalimantan Timur
⁴Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Metro
Jl. Ki Hajar Dewantara 15 A Kota Metro, Lampung, Indonesia

*Corresponding author: sttibratna@gmail.com

Abstract

Superheater is one of the main parts of the boiler. One of the problems that often occurs in the superheater screen tube is that the screen bends due to exposure to high temperatures which causes the screen tube to deform. The aging phenomenon (decarburization) will occur over time, which affects the mechanical properties of the tube material, especially its hardness. The research objectives achieved are to determine the actual conditions, feasibility and remaining life of the superheater screen tube experiencing bending. Based on these conditions, it is necessary to conduct testing on the superheater screen tube that has been operating for approximately 11 years (96360 hours) until now. The method used is to conduct direct, macro and micro examinations of the screen tube conditions that experience bending. In situ metallographic testing on each superheater screen tube was carried out to determine the degradation of the effects of high temperatures during operation. In addition to in situ testing, metallographic testing in the laboratory to analyze the microstructure of the tube material during operation. Hardness testing, the chemical composition of the tube was also carried out as an investigation in the process of calculating the remaining life using the Larson Miller Parameter (LMP) approach. The results of the Visual Test obtained that the condition of the screen tube that experienced bending was still suitable for use in accordance with the applicable SOP. Metallographic Test Results, in terms of microstructure, the superheater screen tube has experienced aging (decarburization) with a decrease in hardness value when compared to the hardness of the normal tube (166 HV). The results of the Hardness Test obtained the hardness value of the superheater tube in the range of 126 HV to 139 HV with an average of 133 HV. If operated properly, the superheater screen tube that experiences bending can be operated for up to 2 years 8 months if the Turn Around (TA) program is not carried out until the replacement tube is available for 2 years 10 months still below temperature (6200 C) or below the design temperature. Based on the UTS value results at an ambient temperature of 420.9252 Mpa, the tensile value can be converted to a hardness value (HB) with a value of HB = 119 or ~ 127 HV

Keywords: Superheater, Larson Miller, Harness, Micro Structure.

Abstrak

Superheater merupakan salah satu bagian utama pada boiler. Salah satu permasalahan yang sering terjadi pada screen tube superheater adalah screen mengalami bending akibat terpapar temperatur tinggi yang mengakibatkan screen tube berdeformasi. Fenomena aging (dekarburasi) akan terjadi seiring waktu tube dioperasikan berpengaruh pada sifat mekanikal material tube khususnya pada kekerasannya. Tujuan penelitian yang dicapai mengetahui kondisi aktual, kelayakan dan sisa umur screen tube superheater mengalami bending. Berdasarkan kondisi tersebut perlu dilakukan pengujian pada screen tube superheater yang telah beroperasi selama kurang lebih 11 tahun (96360 jam) sampai dengan saat ini. Metode yang digunakan melakukan pemeriksaan secara langsung, makro dan mikro pada kondisi screen tube yang mengalami bending. Pengujian insitu metalografi pada masing-masing screen tube superheater dilakukan untuk mengetahui degradasi efek temperatur tinggi selama beroperasi. Selain pengujian secara insitu, pengujian metalografi di laboratorium untuk menganalisis struktur mikro material tube selama beroperasi. Pengujian kekerasan, komposisi kimia material tube juga dilakukan sebagai penunjang dalam proses perhitungan umur sisa menggunakan pendekatan Larson Miller Parameter (LMP). Hasil Pengujian Visual didapatkan bahwa kondisi screen tube yang mengalami bending masih layak digunakan sesuai dengan SOP yang berlaku. Hasil Pengujian Metalografi Test, secara struktur mikro screen tube superheater sudah mengalami aging (dekarburisasi) dengan penurunan nilai kekerasan jika dibandingkan dengan kekerasan tube normal (166 HV). Hasil Pengujian Hardness Test diperoleh nilai kekerasan tube superheater berada pada rentang 126 HV samapi dengan 139 HV dengan rata-rata 133 HV. Jika dioperasikan secara tepat screeen tube superheater yang mengalami bending ini dapat dioperasikan sampai 2 tahun 8 bulan jika tidak dilakukan program Turn Around (TA) sampai pengganti tube tersedia 2 tahun 10 bulan masih di bawah temperatur (6200 C) atau dibawah temperatur desain. Berdasarkan Hasil nilai UTS pada temperatur ambient 420,9252 Mpa maka nilai tensile dapat di konversi ke nilai hardnes (HB) dengan nilai HB = 119 atau ~ 127 HV

DOI: <http://dx.doi.org/10.24127/trb.v14i1.4312>

Received Juni 21, 2025; Received in revised form June 27, 2025; Accepted June 29, 2025

Available online June 30,2025



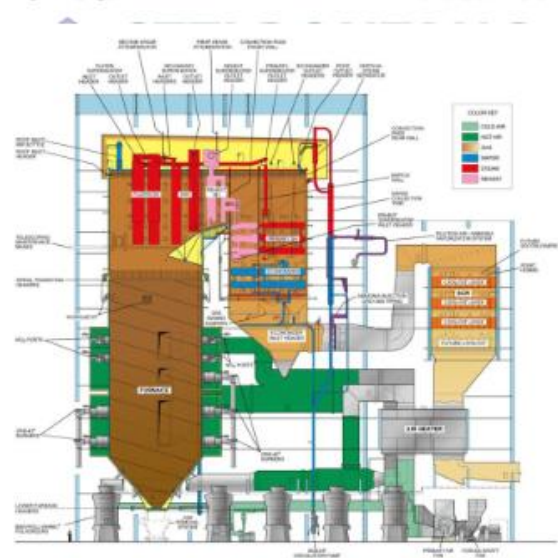
1. Pendahuluan

Pupuk Kalimantan Timur merupakan industri Petrokimia penghasil pupuk urea terbesar di Indonesia. Oprasional pabrik di PT. Pupuk Kalimantan Timur terbagi menjadi 3 unit yaitu utilitas, unit amoniak dan unit urea. Dalam proses proses produksinya PT. Pupuk alimantan Timur membutuhkan steam atau uap panas yang nantinya akan digunakan untuk kebutuhan proses produksi seperti penggerak turbin dan untuk menghasilkan listrik dan lainnya. Pada Tahun 2011 meresmikan pabrik 6 boiler batubara sebagai penyuplai uap untuk kebutuhan proses produksi di pabrik *existing*

Salah satu penunjang aktifitas produksi adalah unit boiler batubara. Untuk meminimalisir terjadinya kegagalan dalam beropasi, PT. Pupuk Kalimantan Timur menerapkan startegi dalam melakukan pemeliharaan peralatan-peralatan pabrik termasuk didalamnya unit boiler batubara yakni dengan metode RCM (*Reability Centrered Maintenace*) sehingga kinerja boiler tetap terus terjaga pada unit *boiler area furnace* dan area *superheater* adalah area yang paling sering mengalami kegagalan korosi dan erosi. Hal ini disebabkan proses yang terjadi pada boiler melibatkan fluida air dirubah menjadi *steam* dari proses pembakaran batubara yang menghasilkan debu panas yang bersirkulasi di dalam *furnance*.

Boiler adalah bejana tertutup dimana panas pembakaran dialirkan ke air sampai terbentuk air panas atau steam. Air panas atau steam pada tekanan tertentu kemudian digunakan untuk mengalirkan panas kesuatu proses. Air adalah media yang berguna dan murah untuk mengalirkan panas ke suatu proses. Jika air dididihkan sampai menjadi steam, volumenya akan meningkat sekitar 1.600 kali, menghasilkan tenaga yang menyerupai bubuk mesin yang mudah meledak, sehingga boiler merupakan peralatan yang harus dikelola dan dijaga dengan sangat baik. Sistem boiler terdiri

dari: sistem air umpan, sistem *steam* dan sistem bahan bakar. Sistem air umpan menyediakan air untuk boiler secara otomatis sesuai dengan kebutuhan steam. [1]



Gambar 1. Sistem sirkulasi boiler

Water wall tube merupakan susunan pipa-pipa yang berada pada sisi dinding sepanjang *furnance* agar tidak terjadi perpindahan panas dari ruang bakar ke air sebagian akan berubah menjadi steam. Pipa-pipa *header* tersebut diisi oleh *downcomer* yang mengalirkan air dari *steam drum* turun ke bawah melalui bagian luar dari ketel dan mengisi *header* bawah. Selama adanya pembakaran air dari pipa-pipa naik ke dalam drum melalui *water wall tube* dan air yang lebih dingin dari drum turun ke bawah melalui *downcomer* mengisi saluran pipa. [2]

Boiler merupakan proses terjadinya pembakaran bahan bakar batubara pada bejana tertutup yang digunakan untuk menghasilkan steam. Steam tersebut dapat menggerakkan turbine-generator untuk menghasilkan listrik. Excess air merupakan persentase oksigen didalam fraksi massa yang terkandung didalam udara hasil pembakaran (*flue gas*). Nilai excess air dan efisiensi pada mesin boiler dapat diketahui dengan metode analisa deskriptif dan analisa

perhitungan. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh nilai kalor batubara terhadap nilai efisiensi dan pengaruh nilai kalor batubara terhadap excess air dengan menggunakan metode analisa deskriptif. Prosedur perhitungan diawali dengan menghitung entalpi aktual, low heat value, efisiensi aktual pada variasi nilai kalor batubara dan menghitung Air Fuel Ratio (AFR) aktual, Air Fuel Ratio (AFR) ideal, serta excess air pada mesin boiler. Hasil perhitungan menunjukkan penggunaan batubara dengan nilai LHV lebih besar menghasilkan nilai efisiensi boiler yang lebih tinggi. Penggunaan batubara dengan LHV 31.773 kJ/kg memberikan nilai efisiensi boiler mencapai 57 % dengan nilai excess air sebesar 63,6 %. Sehingga nilai kalor batubara.[3]



Gambar 2. Water wall tube boiler

Kegagalan material pada komponen boiler secara umum 30% disebabkan oleh *creep* [4], dan 35 % disebabkan oleh *overheating* [5]. Pada salah satu pembangkit X kegagalan pipa boiler disebabkan oleh kerak hasil oksidasi yang menempel pada permukaan luar dan dalam pipa sehingga menyebabkan pipa mengalami *long term overheating* [6]. paparan panas terus-menerus mengakibatkan material mengalami perubahan fasa sehingga mempengaruhi kekuatan material sehingga mudah terkorosi [7]. Pelunakan yang terjadi akibat temperatur dan *presusure* yang tinggi menyebabkan material cepat mengalami erosi oleh fluida yang mengalir di dalam pipa sehingga menyebabkan penipisan pada

dinding pipa, berkurangnya ketebalan pada dinding pipa mengakibatkan pipa tidak bisa lagi menahan beban kerja dan akhirnya terjadi kegagalan [8].

Air boiler juga memiliki peran penting terhadap permasalahan pada boiler dimana kualitas air sangat berpengaruh terhadap permasalahan boiler kualitas air yang buruk dapat menyebabkan deposit. Salah satu penyebab terjadinya *overheating* pada pipa menyebabkan laju *steam* terhambat sehingga perpindahan panas jadi lambat [9]

Material ASTM SA-213 T22 merupakan material *alloy steel* yang biasanya digunakan untuk *tube* boiler menurut standar *tube* material ASTM secara umum material *low alloy steel* memiliki nilai kekerasan maksimum sebesar 85 HRB atau 163 HB atau 170 HV dengan nilai komposisi maksimum karbon 0.15% dan adanya unsur *Molybdenum* serta *Chromium* maka ASTM SA-213 T22 bisa dikategorikan sebagai *low alloy steel* dengan kadar karbon antara 0.5-15% pada temperatur kamar adalah *Ferrite* dan *Austenite*. [10]

Tabel 1. Komposisi ASTM SA-213 T22

Unsur	Komposisi
Carbon	0.15% max
Manganese	0.30 - 0.60%
Phosphorus	0.025% max
Sulfur	0.020% max
Silicon	0.50% max
Molybdenum	0.87 - 1.13%
Chromium	1.90 - 2.60%

Sumber: ASME BPVC Sec.II Material Part. A, 2019.

Larson Miller Parameter merupakan suatu persamaan yang menghubungkan antara suhu operasi (T) dengan umur (*time to rupture*, t) dan secara epiris dikemukakan oleh *Larson Miller*. Parameter dapat digunakan untuk menghitung sisa umur material yang dioperasikan pada suhu tinggi dengan cara meng-estrapolasikan data hasil pengujian *eccelerated creep* dan

memotongkan data hasil perhitungan tegangan nominal dalam *master curve* LMP.[11]

Berdasarkan rumus API standard 530/ISO 1374:

$$LMP = T = \frac{P1}{(20 + \log t)} \dots\dots\dots [1]$$

Permasalahan desain pipa baja diatasi dengan acuan menurut hukum *Barlow*.

$$S = \frac{P \times D}{2 \times t} \dots\dots\dots [2]$$

$$t = \frac{P \times D}{2S \times P} + 0.005 + e \dots\dots\dots [3]$$

Penerapan standar uji tanpa merusak untuk menentukan sisa umur pipa ketel uap pada unit pembangkit listrik tenaga uap. Penerapan standar untuk penilaian sisa umur pada tabung boiler unit pembangkit listrik tenaga uap dengan *non-destructive test* (NDT), sehingga saat ini menjadi sangat penting kondisi *tube* boiler yang digunakan pada pembangkit listrik di Indonesia telah mencapai batas desainya dan bahkan beberapa diantaranya telah diganti. penelitian ini menggunakan metode uji tarik tak merusak dengan standar SNI, JIS dan API dan dilakukan pada boiler unit II di Indonesia yang telah beroperasi selama 25 tahun. Metode ini terdiri dari beberapa pendekatan teknik yaitu: metode reflika, uji kekerasan, pengukuran diameter luar (OD) dan pengukuran ketebalan dinding. Setelah dilakukan penilaian dan analisa metode *non destructive test* menunjukkan bahwa sisa umur pakai *tube* boiler adalah 100.000 hingga 120.000 jam oprasi. [12]

Salah satu penyebab kegagalan pada *tube* boiler adalah korosi. Prediksi lifetime of *tube* dan efektivitas superheater pada boiler perlu dihitung untuk mengetahui dan memprediksi waktu kegagalan *tube* boiler. Prediksi lifetime *tube* merupakan prediksi waktu kegagalan *tube* superheater pada boiler agar bisa dilakukan retubing. Efektivitas superheater pada boiler merupakan perbandingan laju perpindahan panas *tube* superheater pada boiler. Metode

penelitian yang dipakai adalah *research and development* program komputasi menggunakan proses optimasi. Variabel penelitian ini adalah temperatur masuk steam, metal tube temperature, temperatur keluar steam, temperatur masuk natural gas, mass flow rate natural gas, mass flow rate steam, dan temperatur keluar natural gas. Penelitian ini mengambil studi kasus boiler bagian superheater dari perusahaan. Hasil perhitungan manual prediksi lifetime of *tube* menggunakan kondisi operasi yang terjadi adalah 11 tahun jika menggunakan data sheet boiler dan 14 tahun jika menggunakan data aktual boiler. Efektivitas superheater pada boiler dengan data sheet boiler 56% dan pada data aktual 56%. Hasil optimasi algoritma *particle swarm* adalah prediksi lifetime of *tube* 29 tahun. Efektivitas superheater pada boiler sebesar 86%. [13]

Pemeliharaan atau Perawatan (*maintenance*) merupakan pengertian dari seluruh kegiatan yang dibutuhkan untuk mempertahankan atau menjaga kualitas fasilitas/ mesin dan peralatan yang dimiliki sehingga tetap berfungsi dengan baik seperti kondisi awalnya. [14]

Berdasarkan standar American Petroleum Institute (API) 530, desain material pada komponen yang beroperasi pada temperatur tinggi minimal mampu beroperasi dalam kondisi normal selama 100.000 jam s/d 400.000 jam [10]. Oleh karena itu, penelitian ini menganalisis sejauh mana efek dari kualitas air boiler akibat kebocoran kondenser terhadap *tube* boiler superheater. [15]

2. Metode Penelitian

Penelitian ini bertempat di perusahaan industri kimia di kota Bontang yaitu PT. Pupuk Kalimantan Timur. Objek khusus penelitian ini berlokasi di salah satu pabrik yang ada di PT. Pupuk Kalimantan Timur yaitu pabrik 6 boiler batubara yang mana pabrik 6 boiler batubara memiliki peran penting sebagai penyuplai uap untuk kebutuhan proses produksi.

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah panel atau *screen superheater*

(SH) *tube* boiler batubara dengan material SA-213 T22 dengan spesifikasi tube sebagai berikut:

Tabel 2. Spesifikasi panel/*screen superheater tube* boiler batubara

Material	SA-213 T22
Dimensi (OD X Thickness)	42 x 6
Lokasi	Panel <i>superheater of the furnace</i>
Temperatur Desain	525 ^o C
Tekanan Desain	11.5 Mpa

Adapun prosedur penelitian yang dilakukan adalah:

1. Masalah diidentifikasi dan studi literatur
2. Alat dan bahan disiapkan
3. Sampel *superheater eksisting* dan tube pengganti dipotong
4. Hasil potongan sampel *tube* dibersihkan dan melakukan *visual test*
5. Ketebalan *tube eksisting* dan *spare* serta dimensi *tube* diukur
6. Pengujian penetran test dilakukan
7. Sampel *tube* dipotong untuk dilakukan pengujian metalograf, kemudian dilakukan mounting dengan menggunakan campuran resin dan katalis
8. Dilakukan proses grinding dengan menggunakan kertas amplas grade 80, 120, 150, 300, 500, 800, 1000, dan 1200 serta mesin amplas dengan kecepatan 200 rpm.
9. Dilakukan proses polishing dengan menggunakan DP Nap, DiaPRO Dac 3 μ m dan pelumas serta mesin amplas dengan kecepatan 150 rpm.
10. Dilakukan *etching* yang sesuai ASTM E407-07 dengan menggunakan larutan *Etchant Nital 5%* atau campuran HN03 60 ml dengan HCI 40 ml selama 15 detik
11. Dilakukan metalografi *test* dengan mikroskop metalurgi pada perbesaran 100 x dan 200 x

12. Dilakukan pengujian kekerasan dengan menggunakan *micro vicker* pada sampel *tube superheater*
13. Dilakukan perhitungan umur sisa berdasarkan hasil pengujian metalografi dan kekerasan dengan pendekatan *Larson Miller* Parameter sesuai dengan persamaan 2.1 pada Bab 2
14. Dilakukan analisis data dan pembahasan kemudian membuat kesimpulan dan saran.

Tabel 3. Parameter Pengamatan Penelitian

Bahan Penelitian	Objek Pengamatan	Parameter Pengamatan	Pengujian Laboratorium
<i>Screen tube Superheater</i> yang Mengalami bending material <i>tube</i> A-213 T22	Bentuk, tampilan dan lokasi komponen yang mengalami bending	Uji Visual (Makroskopik)	Uji Komposisi Kimia
	Ketebalan Minimum pipa	Pengukuran ketebalan	Uji Metalografi
	Unsur komposisi kimia	Uji komposisi kimia	
	Fasa, bentuk dan Struktur mikro	Uji insitu Metalografi	Uji kekerasan
	Distribusi Nilai kekerasan	Uji kekerasan	

3. Hasil dan Pembahasan

a. Data Oprasional dan Histori Alat

PT. Pupuk Kalimantan Timur memiliki 2 unit boiler batu bara yang mulai dioperasikan pada tahun 2013 dengan kapasitas produksi 2 x 280 ton steam/jam. *Screen tube superheater* sebagai salah satu komponen utama dalam boiler batubara sangat rentan mengalami kegagalan dalam beroperasi. Dari data laporan perbaikan dan pemeliharaan boiler batubara modus kegagalan pada *tube screen superheater* adalah penipisan akibat erosi serta *stress fracture* akibat *fatigue* (lelah).

Tabel 4. Sejarah kegagalan *screen tube superheater*

Boiler Design Data	
Rated output sistem	280 tn/h
Rated steam pressure	9.81 Mpa (GAUGE)
Rated steam temperature	540°C
Feed water temperature	158°C
Exhaust gas temperature	140°C
Desigend efficiency (on uhv)	91%
Desigend pressure	115 Mpa
Pressure of hydraulic test	17.25 Mpa
Design temperature high temp part	560°C
Design temperature low temp part	525 °C
Design temperature inet header	406°C
Design temperature outlet header	483°C

Tabel 5. Tube Superheater

Tube Superheater	
Material	SA-213 T22
OD Tube	42 mm
Thlcnees tube	6 mm
Design Pressure	116,25 kg/cm ² G
Design Temperature	525°C

Tabel 6. Jenis Kegagalan

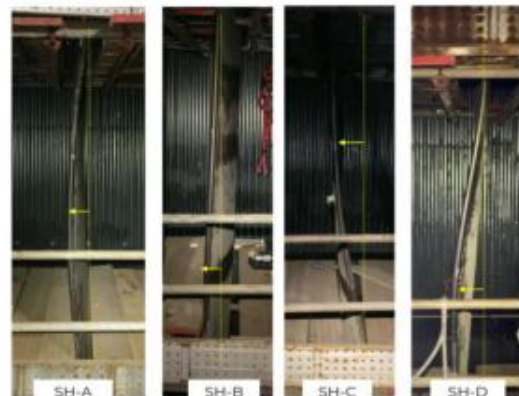
No	Tahun	Jenis Kegagalan
1	2018	Tube Superheater crack di area lasan
2	2019	Tube Superheater mengalami bocoran pin hole di area lasan pada saat proses hydrustatic test
3	2020	Tube Superheater mengalami penipisan akibat abrasi karna profil lasan (capping weld) yang tidak rata memicu turbulansi meningkat

b. Pengamatan Visual

Pengamatan secara langsung dilakukan pada *screen tube superheater* yang mengalami bending sejak tahun 2020.

Dari hasil pengamatan kondisi *screen superheater* [D] mengalami bending yang sangat parah pengambilan sampel pengujian

metalografi akan diambil pada sisi *screen tube superheater* [D]



Gambar 3. Screen A B C Dan D *tube superheater* bending



Gambar 4. *Tube screen* D yang akan dijadikan sampel pengujian

c. Pengujian Metalografi

Pengujian insitu metalografi dilakuna pada keempat *screen tube superheater* yang mengalami bending di ketinggian yang berbeda-beda.

Screen A dilakukan insitu metalografi pada tube nomor 6 di elevasi 34000 diketahui bahwa sudah mengalami dekarburasi akibat terpapar yang tinggi dalam waktu yang lama hal ini terbukti dengan struktur *ferrite* (terang) dengan ukuran butir yang cukup kecil dan jumlah *pearlit* (gelap) sangat sedikit. *Screen B* dilakukan insitu metalografi pada tube nomor 19 di elevasi 26000 secara umum kondisi struktur mikro pada *screen B* terlihat normal dengan struktur *ferrite* (terang) dan *pearlite* (gelap) yang masih merata. *Screen*

C dilakukan insitu metalografi pada *tube* nomor 3 di elevasi 25000 diketahui bahwa *screen* sudah mengalami dekarburasi akibat terpapar temperatur yang tinggi dalam waktu yang lama hal ini terbukti dengan struktur *ferrite* (terang) dengan ukuran butir yang cukup kecil dan jumlah *pearlite* (gelap) sangat sedikit. *Screen D* dilakukan insitu metalografi pada *tube* nomor 1 di elevasi 25000 dari hasil pengujian diketahui bahwa *screen* sudah mengalami dekarburasi akibat terpapar temperatur yang tinggi dalam waktu yang lama hal ini terbukti dengan struktur *ferrite* (terang) dengan ukuran butir yang cukup kecil dan jumlah *pearlite* (gelap) sangat sedikit.

Dari pengujian insitu metalografi yang dilakukan pada keempat *screen tube superheater* tidak ditemukan adanya indikasi *crack*, *fissure*, ataupun *void* pada struktur mikro *screen A/B/C* dan *D* masih dalam kondisi normal tetapi sudah mengalami aging yang ditandai dengan struktur mikro *pearlite* yang telah terurai

d. Pembahasan

1) Visual

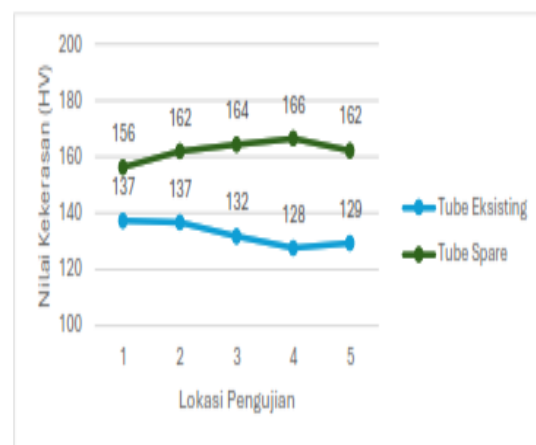
Dari hasil pemeriksaan secara visual pada *screen tube superheater* diketahui kondisi keempat *screen tube* sudah mengalami bending yang cukup parah. Dimana hal ini sudah diketahui sejak pemeriksaan di tahun 2020 kondisi *screen tube* yang bending sangat dikawatirkan akan mempengaruhi proses produksi dan distribusi *steam* ke unit pabrik yang lainnya. Kemungkinan terjadinya kegagalan saat beroperasi sangatlah besar . hal ini diperparah dengan umur pakai boiler sudah terpenuhi dan sudah memasuki masa penggantian

2) Metalografi Test

Dari hasil pemeriksaan struktur mikro material *tube superheater* baik yang dilakukan secara insitu ataupun pengujian di laboratorium hasil menunjukkan kondisi *tube* sudah mengalami *aging* (dekarburasi) . distribusi *fase ferrite* pada struktur mikro *tube* bagian sisi luar lebih dominan jika

dibandingkan dengan *fase pearlite*. Hal ini dikarenakan oleh material *tube superheater* sudah terpapar temperatur tinggi dalam waktu yang cukup lama. Namun tidak ditemukan adanya perubahan ukuran butir struktur mikro secara masif pada material serta tidak ditemukan tanda-tanda terjadinya *void*, *fissure* atau *crack* . struktur mikro pada *tube* yang mengalami bending juga terkonfirmasi dengan adanya struktur mikro *tube* yang berbentuk elongasi atau pipih akibat dari bending.

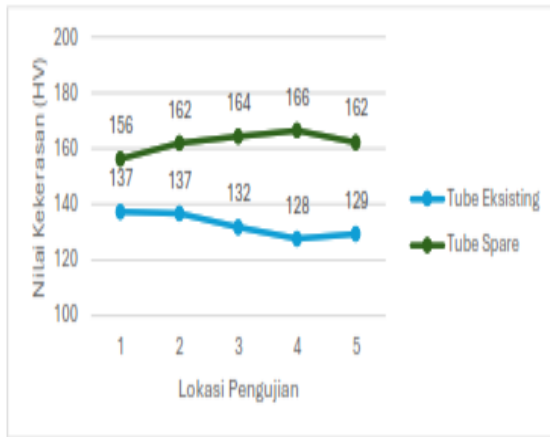
3) Uji Kekerasan (Hardness Test)



Gambar 5. Pengujian kekerasan *tube superheater* (insitu)

Dari hasil pengujian kekerasan material *tube* baik yang dilakukan pada proses insitu ataupun pengujian yang dilakukan dilaboratorium diperoleh nilai kekerasan *tube superheater* berada pada rentang 126 HV samapi dengan 139 HV dengan rata-rata 133 HV dapat dibuatkan dalam grafik gambar 6.

Dari grafik gambar 6 dapat dilihat bahwa telah terjadi penurunan nilai kekerasan *tube eksting* jika dibandingkan dengan nilai kekerasan *tube spare* (normal) perhitungan nilai kekerasan minimum material SA-213 T22 dapat dihitung menggunakan rumus yang mengacu pada standar ASME Section 1 dengan menggunakan data teknis material dan data operasi yang telah diperoleh sebelumnya berikut perhitungan minimum kekerasan material *tube superheater*.



Gambar 6. Pengujian kekerasan tube superheater (insitu)

4) Parameter:

- Material
- UNS No
- P o/Group
- Strenght pada temperatur kamar (40 C) 118 Mpa
- Strenght pada temperatur oprasi (525 C) 64 Mpa (9282 psi)
- Ultimate Tensile Strenght pada temperatur kamar (40 C) 415 Mpa
- Desain temperatur = 525 C
- Desain Pressure (P) = 11,5 Mpa (1668 psi)
- Diameter tube (D) = 42 mm (1,65 inch)
- Maximum Allowable Stress (Sw) = 64 Mpa (9282 psi) pada temperatur (525 C) Strenght weld € = 0 berdasar ASME Sec. I PG -27.4.4
- Weld joint strenght reduction factor sesuai dengan ASME BPVC Sect I.PG.26 (W) = 0,74
- Desain pressure (P) = 116,25 KG/cm G = 11,5 Mpa = 1668 psi

Menentukan tabel minimum tube. Persamaan (2.3)

$$t = \frac{P \cdot D}{2S_w + P} + 0,005D + e$$

$$t = \frac{1668 \times 1,65}{2 \times (9282) + 1668} + 0,005 \times 42 + 0$$

$$t = \frac{2752,2}{20232} + 0,00825$$

$t = 0,14$ inch atau 3,6 mm + (1mm) safety factor

Dari hasil perhitungan minimum ketebalan tube superheater untuk menahan tekanan 11,5 Mpa adalah 4,6 mm.

Menentukan nilai minimum kekerasan material tube.

$$S = \frac{\left(\frac{PD}{t - 0,005 D - e} \right)}{2W}$$

$$S = \frac{\left(\frac{11,5 \times 42}{4,6 - 0,005 \times 42 - 0} - 11,5 \right)}{2 \times 0,74}$$

$$S = \frac{96,072}{1,48}$$

S = 64,914 Mpa atau 9414,964 Psi

Dari parameter diatas perlu diketahui safety faktor (SF) untuk material logam baja karbon atau paduan berdasarkan ASME BPVC Sec II adalah 3,5 Namun pada perhitungan kali ini safety faktor menggunakan hasil pembagin strenght pada temperatur ruang yaitu :

$$SF = \frac{S_{t \text{ kamar}}}{S_{t \text{ oprasi}}}$$

$$SF = \frac{118 \text{ Mpa}}{64 \text{ Mpa}}$$

$$SF = 1,84375 \text{ Mpa}$$

Berdasarkan nilai UTS pada temperatur ambient 420,9252 Mpa maka nilai tensile dapat di konversi ke nilai hardnes (HB) dengan persamaan

$$HB = \frac{UTS_{\text{ambient}}}{3,55 \text{ Mpa}}$$

$$HB = \frac{420,9252 \text{ Mpa}}{3,55 \text{ Mpa}}$$

$$HB = 119 \text{ atau } \sim 127 \text{ HV}$$

5). Perhitungan umur sisa

Pengujian kekerasan dilakukan perhitungan umur sisa menggunakan pendekatan Larson Miller Parameter seperti yang dijelaskan sebelumnya bahwa nilai kekerasan 127 HV akan digunakan sebagai dasar batas nilai terendah yang bisa diterima material tube superheater selama beroperasi pada temperatur yang diberikan.

$$H \text{ (HV)} = 961,713 - 2,0669 \times 10^2 P$$

$$P_1 = \frac{961,713 - H}{2,0669 \times 10^{-2}}$$

$$P_1 = \frac{961,713 - 133}{2,0669 \times 10^{-2}}$$

$$P_1 = 40094,5$$

Umur sisa adalah 23943,9 jam atau 2,7 tahun (2 tahun 8 bulan) tana dilakukan program *shutdown/turn around*, atau 2,9 tahun (2 tahun 10 bulan) jika dilakukan program *shutdown / turn around*.

Tabel 7. Umur sisa tube

Mencari Nilai T Berdasarkan Kekerasan Tube Pada Saat TA			
Umur Boiler saat ini	L1	963	Hours
		60	
Kekerasan tube saat ini	H1	133	HV
Mencari LMP saat ini	P1	409	
		4,49	
Mencari tube metal temperature	T	161	Deg R
		0,22	(621 ⁰ C)
Mencari Umur Sisa Berdasarkan Minimum Hrdnes			
Nlai kekerasan minimum	H2		
Mencari LMP saat kekerasan minimum	P2		
Log umur tube saat mencapai kekerasan min	Log		
	l2		
Umur tube saat mencapai min hardness	L2		
		239	
		43,8	
		5	
Umur sisa tube	RL	2,73	Tahun
		317	Tanpa TA
		2,9	Tahun
		809	Dengan TA
		1	

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pemeriksaan struktur mikro tube screen superheater, kondisi aktual tube yang bending memberikan pengaruh pada bentuk struktur mikro pada permukaan tube akibat dari deformasi plastis pada tube, tetapi tidak memberikan pengaruh pada sifat mekanik tube. Tetapi tidak memberikan pengaruh pada sifat mekanik tube. Kondisi tube sudah mengalami *aging* (dekarburasi) akibat dari

tube superheater yang terpapar suhu tinggi dalam waktu yang lama saat beroperasi.

Berdasarkan kondisi aktual tersebut screen tube superheater masih layak digunakan dengan menjaga parameter oprasi sesuai dengan standarnya.

Dari hasil pengujian kekerasan tube superheater yang mengalami bending jika dibandingkan dengan kekerasan tube normal (166 HV) nilai kekerasan tube eksisting (133 HV) sudah mengalami penurunan kekerasan akibat kondisi tube yang sudah mengalami *aging* (dekarburasi) nilai kekerasan ini masih diatas nilai kekerasan minimum yang diijinkan (127 HV) pada temperatur oprasi 620⁰C dengan menggunakan pendekatan persamaan *Lerson Mille* Parameter nilai kekerasan tube superheater dapat digunakan untuk memperkirakan umur sisa oprasi tube superheater dari hasil perhitungan tersebut didapatkan hasil umur sisa screen tube superheater tersisa dua (2) tahun delapan (8) bulan jika tidak dilakukan program *Turn Around* (TA) sampai tube pengganti tersedia dan tersisa dua (2) tahun sepuluh (10) bulan jika dalam rentan waktu tersebut dilakukan program *Turn Around* (TA) dengan catatan temperatur pada area screen superheater masih dibawah temperatur (620⁰C) atau dibawah temperatur desain.

Referensi

- [1] Sugiharto, & Agus. (2016). Tinjauan Teknis pengoperasian dan Pemeliharaan Boiler. Forum Teknologi, 06(2), 56–68
- [2] Kriswana, Deni. (2013). Definisi dan fungsi Boiler. Surabaya Jurusan Teknik Sistem Perkapalan.
- [3] Wawan, G., & Bambang, A. (2020). Studi Efisiensi Boiler Terhadap Nilai Kalor Batubara Pada Boiler Jenis Pulverizer Coal Kapasitas 300 T/H (STUDI KASUS PT XYZ). *InTent*, 3, 122-130.

- [4] Jones, D. R. H. (2004). *Creep failures of verhead Boiler, Superheater and reformer tubes. Engineering Failure Analysis*, 11(6), 873-893.<https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2004.03.001>.
- [5] Shokouhmand, H., Ghadimi, B., & Espanani, R. (2015). *Failure analysis and retrofitting of superheater tuber in utility Boiler. Engineering Failure Analysis*, 50,20-28. <https://doi.or/10.1016/j.engfailanal.2015.01.003>
- [6] Aini, N. N., Damis, C., & Nusyirwan, W.; (n.d.). Analisis Mekanisme Kegagalan pada Pipa Boiler Menggunakan Metode Root Cause Failure Analysis (RCFA)
- [7] Antono, V. (2014). Analisa Kegagalan Platen Tube Superheater PLTU Teluk Sirih Power Plant,6
- [8] Fahrizal. (2013). *Analisa Penyebab Kegagalan Pipa Superheater PT. Rohul Sawit Indah*. 5, 71-78
- [9] Permana, R. H. (2014). Analisa Kerusakan Superheater Tube Pada Boiler 31F-28 Pt Badak. *Jurnal Teknik Pomist*, 1(2). <http://diglib.its.ac.id/public/ITS-paper-31958-2107100074-paper.pdf>
- [10] ASME. (2019). *Boiler & Pressure Vessel Code Section II Material* New York : The American Society of Mechanical Engineers
- [11] Hazer, Eben. (2016). *Studi Kasus Kegagalan Riser Wall Tube Nomor 3 ASTM A210 Grade A-I Pada Pltu Unit 2 PT X*. Surabaya: ITS Surabaya.
- [12] Supardi (2008). *Penerapan Standar Uji Tanpa Merusa Untuk Menentukan Sisa Umur Pipa Ketel Uap Pada Unit Pembangkit Listrik Tenaga Uap*. Indonesia: Jurnal Badan Standarisasi Nasional.
- [13] Reza, S., Vera, P., & Sugeng, R. (2021). Optimasi Umur Pakai dan Efektivitas Boiler Akibat Korosi Menggunakan Algoritma Particle Swarm. *Serambi Engineering*, VI, 1647-1654.
- [14] Sihombing, A. J. (2018). Analisa Dan Rekayasa Produktivitas Proses Produksi Pabrik Kelapa Sawit Terhadap Efektivitas Kerja Boiler Di PTPN III PKS Sei Mangkei. *Skripsi*.
- [15] API Standar 530. *Calculation of Heater-Tube Thickness in Petroleum Refineries*. (2001)