

ANALISA STRUKTUR MIKRO, NILAI KEKERASAN DAN ESTIMASI REMAINING LIFE BERDASARKAN THICKNESS PADA PIPA OUTLET SUPERHEATER

Achmad Nur Akhsal¹, M. Syaiful Amri², Rikat Eka Prastyawan³

Program Studi D-IV Teknik Pengelasan, Jurusan Teknik Bangunan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111¹

Email: achmad3akhsal@gmail.com¹

Abstract – A superheater is one of the boiler's components that works by heating wet steam from the boiler into dry steam. The pipes in the superheater have the ability to withstand high temperatures and pressure during the operation of the superheater machine. When lines are exposed to high temperatures and pressures continuously, it causes degradation in the microstructure, reduces the remaining life of the material, and changes the mechanical properties of the pipe, especially its hardness value. In this study, experiments were carried out on the superheater outlet pipe which had worked for 39,312 hours at the Shipbuilding Institute of Surabaya, so that it would analyze the percentage of chemical composition, Hardness value, microstructure, and remaining life of the material. The results of this study, the pipe being used is SA-106 with the chemical percentage shown by PMI in a row, namely the element Iron (Fe) of 98.43%, 0.60% Manganese (Mn), 0.52% Copper (Cu), 0.27% Nickel (Ni), 0.10% Chromium (Cr), 0.047% Lead (Pb), 0.024% Molybdenum (Mo). The remaining life of the front pipe is 8,4 years faster than the rear pipe is 37,05 years. The front of the pipe has a hardness value of 101 HV while the hardness value on the back of the pipe is 110 HV. The microstructure degradation criteria on the front of the pipe belong to stage A while the rear is in stage B. The correlation between the hardness value and the microstructure condition criteria is that the higher the stage of the microstructure condition on the material, the lower the hardness value.

Keyword: In-situ Metalografi, Remaining Life Assessment, Degradasi, Grain size

1. PENDAHULUAN

Kegagalan pada boiler terjadi akibat pemaksaan dan pemakaian suhu yang berlebihan kemudian dilakukan pemadaman paksa pada boiler listrik sehingga diharuskan maintenance, penggantian komponen serta penggantian biaya listrik hingga 5 miliar dollar di Amerika Serikat. Kegagalan pada tabung (*tube*) dikelompokkan menjadi *water wall tubing* sebesar 40 %, *superheater tubes* 30 %, *reheater pipes* 15 %, *economizer pipes* 10 %, *burner pipes* 5 %, (Atanu Saha, et.al, 1997). *Remaining Life Assesment* digunakan untuk memprediksi sisa umur pada suatu struktur atau komponen yang telah beroperasi lama bahkan melebihi umur yang direncanakan. Apabila terjadi degradasi selama perbaikan maupun penggantian komponen, umumnya tetap diganti untuk mengurangi resiko kecelakaan meski pada komponen tersebut memiliki masa pakai. *Remaining Life Assesment* digunakan oleh banyak perusahaan karena dianggap sebagai metode/proses pengurangan biaya dan pengurangan *downtime* (Kavita Shankala et.al, 2019). *Overheating* yang terjadi pada kerja superheater memiliki pengaruh besar pada sifat mekanik material. Pipa yang mengalami kerusakan memiliki nilai kekerasan lebih rendah

daripada pipa yang tidak rusak. Diameter butiran pada struktur mikro pipa rusak lebih besar dari pada butiran pada struktur mikro pipa tidak rusak. Ini membuktikan bahwa terdapat hubungan antara besar butiran struktur mikro dengan nilai kekerasan dimana semakin besar butiran pada struktur mikro maka semakin berkurang nilai kekerasannya, (Sukadi, 2018). Pada penelitian kali ini akan menganalisa estimasi sisa umur, struktur mikro dan nilai kekerasan pada pipa superheater. Pipa ini memiliki *pressure* dan suhu *steam* paling tinggi dibandingkan dengan pipa lainnya. Kerusakan pada komponen boiler berada pada pipa/tube superheater umum terjadi pada industri. Pipa superheater yang diteliti yakni di Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya yang telah ada lebih dari 30 tahun.

2. METODOLOGI

2.1 Metodologi Penelitian

Pada penelitian ini terdapat beberapa langkah dalam pengujian. Berikut diagram alir untuk menjelaskan secara singkat proses penelitian ini.

2.2 Spesifikasi Superheater

Pada penelitian ini, objek yang diteliti yakni boiler yang ada di kampus Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya yang telah ada selama 36 tahun sebagai objek belajar mahasiswa mengenai mesin

boiler dan komponen. Mesin Ini termasuk dalam Boiler Package dengan desain yang standart dimana dapat menghasilkan power dan pressure kecil, umumnya digunakan perusahaan yang membutuhkan *energy* yang tidak terlalu besar. Superheater merupakan komponen dari boiler yang diteliti pada penelitian ini. Berikut merupakan spesifikasi dari mesin superheater.

Tabel 1: Spesifikasi Mesin Superheater

No	Spesifikasi Mesin Superheater	
1.	Tipe	Singel Coil Independent Oil Fired Superheater
2.	Tanggal Perakitan	1 Desember 1986
3.	Tanggal Selesai	2 Maret 1987
4.	Tekanan Maksimal	10,3 bar
5.	Hydraulic Test Pressure	21 bar
6.	Tekanan Kerja Minimal	5 bar
7.	Temperatur Kerja Maksimal	240°C
8.	Temperatur Maksimal	350°C
9.	Steam Output Maksimal	480 Kg/hr
10.	Ukuran Steam User Pipe	6 Inch
11.	Ketebalan bagian depan pipa (A1)	3,4 mm
12.	Ketebalan bagian kanan pipa (B1)	3,5 mm
13.	Ketebalan bagian belakang pipa (C1)	3,6 mm
14.	Ketebalan bagian kiri pipa (D1)	3,4 mm

2.3 Perhitungan Average Grain Size

Metode yang dipakai merupakan metode intercept dimana dibuat lingkaran dengan diameter tertentu kemudian dihitung jumlah titik perpotongan pada batas butir sesuai rumus pada ASTM E 112. Metode intersep selalu dapat diterapkan untuk menentukan ukuran butir rata-rata. Hasil perhitungan dibawah kemudian dianalisa pada table rata rata butir di standart ASTM E112. Berikut merupakan perhitungan *grain size*.

Rumus mencari grain size :

$$P_L = P_T / L_T / M$$

$$L_3 = 1 / P_L$$

$$G = [-6,6467 \log L_3] - 3,298 \quad (1)$$

2.4 Perhitungan Remaining Life

Analisa perhitungan dengan menghitung $t_{required}$ dari pipa outlet superheater dengan mengetahui internal pressure design dan Outside Diameter. Setelah diketahui tebal design required dan tebal

mill required maka dianalisa kembali pada table 1 standart ASME B36.10M untuk menentukan NPS, SCH dan diameter pada pipa. Berikut merupakan rumus perhitungan dari tebal wajib pada ASME B31.3 tahun 2014 yaitu :

$$t_{required} = t + c$$

$$t = P.D / 2(SEW + PY) \quad (2)$$

2.5 Perhitungan Corrosion Rate (Long Term)

Apabila telah dilakukan pengujian *Ultrasonic Thickness* maka dilakukan perhitungan pada laju korosi dengan memperhatikan tahun perakitan boiler, tahun saat penelitian, tebal awal dan tebal saat ini. Berikut merupakan rumus perhitungan laju korosi pada pipa outlet superheater.

$$Corrosion Rate (LT) = (t_{initial} - t_{actual}) / (y_{actual} - y_{initial}) \quad (3)$$

2.5 Perhitungan Remaining Life

Setelah dilakukan perhitungan tebal required dan laju korosi kemudian dilakukan analisa perhitungan sisa umur outlet superheater. Berikut merupakan rumus perhitungan remaining life pada outlet superheater:

$$RLA = (t_{actual} - t_{required}) / CR \quad (4)$$

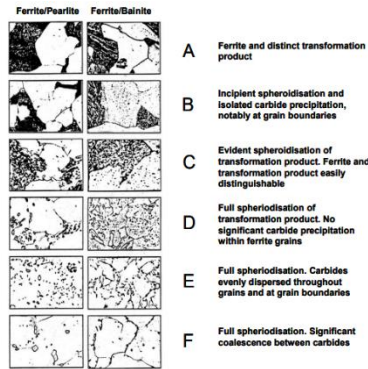
Nomenclature

G	Grain size
P_T	Jumlah titik potong batas butir dengan lingkaran
M	Perbesaran struktur mikro
L_T	Keliling lingkaran Grain size
P	Internal Pressure Design
D	Outside Diameter
S	Allowable Stress
t_{required}	Tebal required pipa
E	Quality Factor
Y	Values of coefficient
W	Weld joint strength reduction factor
t	Pressure design thickness
c	Mechanical, erosion, and corrosion allowance
t_{initial}	Tebal awal pada pipa
t_{actual}	Tebal terkini pada pipa
y_{initial}	Tahun awal perakitan
y_{actual}	Tahun saat penelitian
RLA	Sisa umur material
CR	Laju korosi

2.6 Degradasi Struktur Mikro

Hasil dari pengujian struktur mikro dianalisa dari klasifikasi kondisi struktur mikro pada material uji. Pada klasifikasi ini bisa ditentukan dari hasil pengamatan struktur mikro pada spheroidisasi dan presipitasi karbida yang terisolasi terutama pada

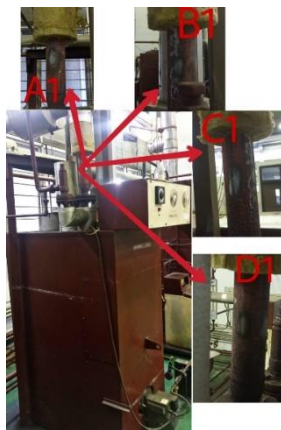
batas butir. Dalam hal ini juga bisa disebut degradasi struktur mikro yakni berkurangnya fasa pada material sehingga akan memengaruhi sifat mekanik pada material tersebut. Metode Analisa menggunakan metode visual sesuai klasifikasi stadium menurut ERA Teknologi. Terdapat 6 stadium pada klasifikasi degradasi struktur mikro. Berikut merupakan gambar klasifikasi degradasi struktur mikro.



Gambar 1. Klasifikasi degradasi struktur mikro berdasarkan ERA Technology

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian pada penelitian ini dilakukan sebanyak 3 jenis dan 1 jenis pengukuran, yakni pengujian Positive Material identification menggunakan PMI XRF, Pengujian In-situ, *Hardness Measurement* menggunakan portabel hardness, pengujian terakhir berupa *In-situ Metallography* dan *Ultrasonic Thickness Test*. Perhitungan *remaining life assessment* dilihat dari ketebalan sisa pada *outlet superheater* melalui *corrosion rate (Long Term)*. Terdapat 2 titik pengujian untuk insitu metallografi, Hardness test dan PMI berada dibagian depan serta belakang pipa outlet sedangkan 4 titik pengukuran untuk *Ultrasonic Thickness*. Keempat titik tersebut berada di depan, kana, belakang dan kiri pada pipa outlet superheater. Berikut merupakan gambar potongan mesin superheater dan lokasi bagian dari pipa outlet.



Gambar 2 Posisi titik pengujian dan pengukuran

Pada gambar diatas merupakan posisi titik pengujian dan pengukuran pada penelitian ini. Berturut turut, posisi A1 berada pada bagian depan pipa, posisi B1 berada pada posisi kanan pipa, Posisi C1 berada pada bagian belakang pipa, dan terakhir posisi D1 berada pada bagian kiri pipa.

3.1 Chemical Composition

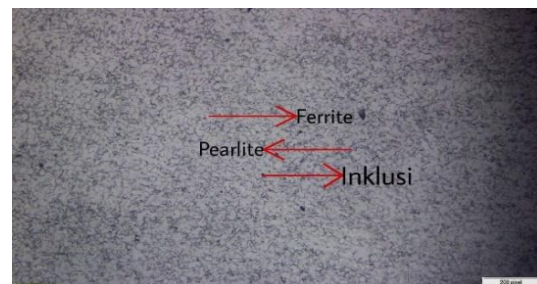
Pada pengujian PMI (Positive Material Identification) telah dilakukan sebanyak 4 kali tembakan guna memaksimalkan hasil dari pengujian PMI. Ada beberapa tipe alat PMI, pada penelitian ini menggunakan alat PMI tipe XRF. Tujuan menggunakan tipe ini adalah dari segi fleksibilitas untuk menguji pada pipa outlet yang berada diatas mesin superheater. Tabel rata rata hasil pengujian PMI kemudian disesuaikan presentase chemical-nya menurut standar data identifikasi chemical material yang terdapat pada ASME BPVC II part A1/ A2. Identifikasi chemical yang ditunjukkan sesuai dengan spesifikasi material A-106/SA-106, berikut merupakan table rata rata hasil pengujian PMI.

Tabel 2: Rata – rata hasil pengujian PMI

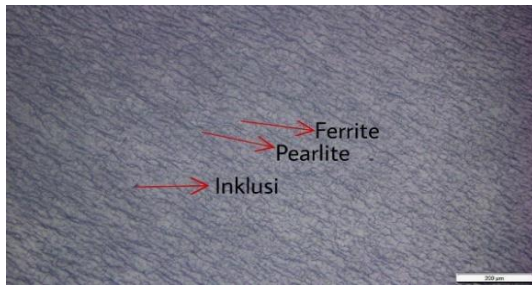
Percentage Chemical Composition (%)	
Fe	98,43
Mn	0,6
Cu	0,52
Ni	0,27
Cr	0,10
Pb	0,047
Mo	0,024

3.2 Pengujian Insitu Metalografi

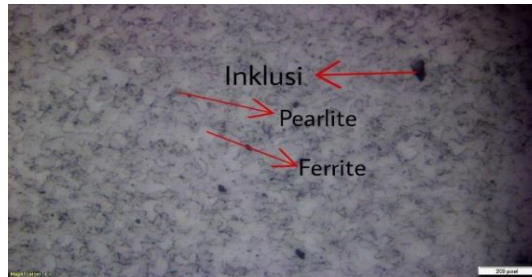
Prinsip dasar aplikasi insitu metallografi yakni proses penyalinan struktur mikro dari objek uji kepada plastik replika sehingga analisa degradasi dan kondisi bisa diketahui. Terdapat 2 jenis plastik replika untuk menyalin struktur mikro. pada penelitian ini menggunakan plastik replika jenis *transcopy*. Hasil struktur mikro dianalisa dari fasa ferrite, fasa pearlite dan karbida/inklusi tergantung dari materialnya. dibawah ini merupakan observasi dan gambar struktur mikro pada pipa outlet superheater yang ada di Kampus PPNS sebagai berikut.



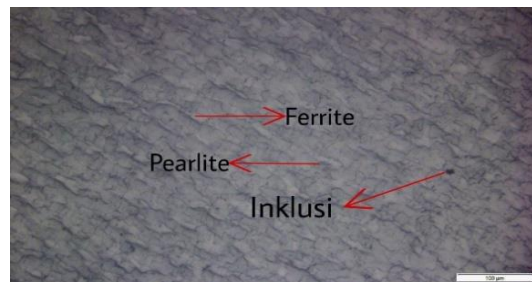
Gambar 5. Struktur Mikro Posisi A1 perbesaran 100x



Gambar 6. Struktur Mikro Posisi C1 perbesaran 100x



Gambar 7 Struktur Mikro Posisi A1 perbesaran 200x



Gambar 8. Struktur Mikro Posisi C1 perbesaran 200x

Pada proses analisa pada degradasi struktur mikro dilakukan secara visual pada hasil in-situ metalografi. Pada Tabel 2 berikut merupakan hasil analisisnya.

Tabel 3: Rata – rata hasil pengujian PMI

Posisi Bagian Pipa	Observasi Struktur Mikro	Kekerasan Pipa
Bagian Depan Pipa (A1)	Pada posisi A1 (bagian depan pipa) masuk pada klasifikasi kelas B, dimana Spherodisasi masih baru jadi dan inklusi mulai terlihat banyak	101 HVN
Bagian Belakang Pipa (C1)	pada posisi C1 (bagian belakang pipa) terklasifikasi pada kelas A dimana jumlah persebaran inklusi sedikit dan masih sedikit degradasi struktur mikro pada C1 terutama koagulasi ferritenya	110 HVN

Titik titik hitam pada struktur mikro bukan termasuk karbida, melainkan inklusi sesuai dengan jurnal milik A.H.V Pavan et al yang berjudul “*Metallurgical analysis of SA-106 Gr. B pipe failuler during hot bending*” dimana Inklusi terjadi karena pemanasan secara cepat diikuti dengan pendinginan sedang.

3.2 Analisa Remaining Life Pipa Outlet

Perhitungan sisa umur pipa outlet superheater dianalisa pada selisih ketebalan pipa dan laju korosi selama 36 tahun. Terdapat 4 titik perhitungan sisa umur material berturut turut dari depan pipa, kanan pipa, belakang pipa dan kiri pipa. Berikut merupakan perhitungan sisa umur di keempat titik pipa outlet superheater.

Diketahui,

$$P = 10,3 \text{ bar} = 1,03 \text{ Mpa}$$

$$D = 60,3 \text{ mm}$$

$$t = 3,91 \text{ mm}$$

$$S = 16,0 \text{ ksi} = 110,3 \text{ Mpa}$$

$$E = 1$$

$$Y = 1$$

$$W = 1$$

$$C = 3 \text{ mm}$$

$$t_{\text{required}} = (P.D / 2(SEW + PY)) + c \quad (5)$$

$$= (1,03 \cdot 60,3 / 2(110,3 \cdot 1 \cdot 1 + 1,03 \cdot 0,4)) + 3$$

$$= 3,281 \text{ mm}$$

Setelah diketahui hasil dari t_{required} kemudian menghitung laju korosi beserta sisa umur pada tiap bagian pipa.

Tabel 3: Perhitungan Remaining Life

Sisa Umur Bagian Depan Pipa (A1)	
Corrosion Rate	CR = 3,91 - 3,4/2023 - 1987 = 0,01416 mm/tahun
Remaining Life	RLA = 3,4 - 3,281/0,01416 = 8,4 tahun
Sisa Umur Bagian Kanan Pipa (B1)	
Corrosion Rate	CR = 3,91 - 3,5/2023 - 1987 = 0,01138 mm/tahun
Remaining Life	RLA = 3,5 - 3,281/0,01138 = 19,24 tahun
Sisa Umur Bagian Belakang Pipa (C1)	
Corrosion Rate	CR = 3,91 - 3,6/2023 - 1987 = 0,00861 mm/tahun
Remaining Life	RLA = 3,6 - 3,281/0,00861 = 37,05 tahun

Sisa Umur Bagian Kiri Pipa (D1)	
Corrosion Rate	CR= 3,91 - 3,4/2023 - 1987 =0,01416 mm/tahun
Remaining Life	RLA = 3,5 - 3,281/0,01416 = 8,4 tahun

3.3 Rata Rata Grain Size

Metode yang dipakai merupakan metode intercept dimana dibuat lingkaran dengan diameter tertentu kemudian dihitung jumlah titik perpotongan pada batas butir sesuai rumus pada ASTM E 112. Metode intersep dan planimetrik selalu dapat diterapkan untuk menentukan ukuran butir rata-rata. Berikut merupakan perhitungan dari rata rata grain size.

Tabel 4: Perhitungan Grain Size A1 dan C1

Lingkaran Pertama A1	
Diketahui	$P_T = 49$ titik potong $M = 100x$ D Lingkaran = 46 mm $L_T = 144,5$ mm
Jawab	$P_L = P_T / (L_T / M)$ $= 49 / (144,5 / 100)$ $= 33,9$ $L_3 = 1 / P_L$ $= 1 / 33,9$ $= 0,029$ $G = [-6,6467 \log L_3] - 3,29$ $= [-6,6467 \log 0,029] - 3,29 = 6,88 = 7$
Lingkaran Kedua A1	
Diketahui	$P_T = 47$ titik potong $M = 100x$ D Lingkaran = 39 mm $L_T = 122,5$ mm
Jawab	$L_3 = 1 / P_L$ $P_L = P_T / (L_T / M)$ $= 47 / (122,5 / 100)$ $= 36,8$ $L_3 = 1 / P_L$ $= 1 / 36,8$ $= 0,0271$ $G = [-6,6467 \log L_3] - 3,29$ $= [-6,6467 \log 0,0271] - 3,29 = 7,12 = 7$
Lingkaran Pertama C1	
Diketahui	$P_T = 64$ titik potong

	$M = 100x$ D Lingkaran = 56 mm $L_T = 172,78$ mm
Jawab	$L_3 = 1 / P_L$ $P_L = P_T / (L_T / M)$ $= 64 / (172,78 / 100)$ $= 37,04$ $L_3 = 1 / P_L$ $= 1 / 37,04$ $= 0,0269$ $G = [-6,6467 \log L_3] - 3,29$ $= [-6,6467 \log 0,0269] - 3,29 = 7,14 = 7$
Lingkaran Kedua C1	
Diketahui	$P_T = 96$ titik potong $M = 100x$ D Lingkaran = 68,5 mm $L_T = 215,1$ mm
Jawab	$L_3 = 1 / P_L$ $P_L = P_T / (L_T / M)$ $= 96 / (215,2 / 100)$ $= 44,63$ $L_3 = 1 / P_L$ $= 1 / 44,63$ $= 0,0224$ $G = [-6,6467 \log L_3] - 3,298$ $= [-6,6467 \log 0,0224] - 3,29$ $= 7,67 = 7,5$

Hasil dari perhitungan grain size sesuai dengan tabel grain size pada ASTM E112 dimana ukuran pada posisi C1 yaitu diameter grain size dengan hasil 7 yaitu 28,3 micronmeter sedangkan untuk hasil 7,5 pada standart ASTM E112 sebesar 23,8 micrometer. Jadi rata rata grain size pada pipa sebesar 26,8 micrometer.

4. KESIMPULAN

Hasil dari pengujian PMI menunjukkan bahwa material yang digunakan adalah SA 106 Gr. B. Terdapat 2 korelasi pada penelitian ini yang pertama yaitu korelasi antara degradasi struktur mikro dengan nilai kekerasan. Kedua merupakan korelasi antara grain size dan nilai kekerasan. Hasil dari sisa umur pada pipa paling kritis ada pada bagian depan dan bagian kiri pipa outlet superheater sebesar 8,4 tahun. Sebagai tindakan preventif dari kecelakaan dan , disarankan untuk melakukan maintenance kembali tahun kemudian dari tahun ini.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih pada Kepala dan Teknisi Laboratorium Uji Bahan PPNS. Ucapan Terima kasih juga pada Bapak Luthfi telah membagi ilmu mengenai teknik Insitu Metallografi serta terima kasih kepada Dosen Penguji Seminar Proposal dan Sidang Akhir yang telah memberikan kritik dan saran mengenai penelitian ini. Terima Kasih paling besar kepada Orang Tua yang senantiasa mendukung dari segala aspek dan proses penelitian ini.

7. PUSTAKA

- [1] A.H.V Pavan et al (2016). *Metallurgical analysis of SA-106 Gr. B Pipe failure during hot bending.*
- [2] ASTM E 112 *Standard test method for Determining Average Grain Size.*
- [3] ASTM E 407. *Standard test method for microetching Metals and Alloys.*
- [4] ASTM E 1351-01 *Standard Practice for Production and Evaluation of Field Metallographic Replicas.*
- [5] ASME BPVC (2019) *Part A. Ferrous Material Specifications (Beginning to SA-450).*
- [6] ASME B31.3 (2014). *Process Piping for Pressure Piping.*
- [7] ASME B36.10M (2015). *Welded and Seamless Wrought Steel Pipe.*
- [8] Atanu Saha and H. Roy, (2017). *Failure investigation of a Secondary Superheater Tube in a 140 MW Thermal Power Plant.*
- [9] A.H.V Pavan et al (2016). *Metallurgical analysis of SA-106 Gr. B Pipe failure during hot bending.*
- [10] Dr. Stefan Frank, (2002). *Portabel Hardness Testing Principles and Application.* AgFa NDT GmbH, Robert Bosh STR. Huert, Germany.
Url: <https://www.ndt.net/article/ecndt02/109/109/htm>
- [11] IPETRO, (2010). *Module 4: Inspection, Examination & Testing*
Url: www.ipetro.com.my
- [12] Kavita Sankhala, Zeeshan Gauri, et. Al, 2014 *Study of Microstructure Degradation of Boiler Tubes Due to Creep for Remaining Life Analysis.*
- [13] Sukadi dan Novarini, 2021. *Analisa Kegagalan Pipa Superheater pada Boiler Tipe Pipa Air*