



TUGAS AKHIR - TL 141584

**STUDI MEKANISME KEGAGALAN LAS  
PADA *RISER WALL TUBE* NOMOR 2 ASTM  
A210 GRADE A-1 PADA PEMBANGKIT  
LISTRIK TENAGA UAP UNIT 2 PT X**

FAJAR ADI PRASETYA  
NRP 2712 100 025

Dosen Pembimbing  
Dr. Lukman Noerochim, S.T., M.Sc.Eng.  
Ir. Rochman Rochiem, M.Sc.

JURUSAN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2016

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



**FINAL PROJECT - TL 141584**

**STUDY ON THE FAILURE MECHANISM OF  
WELDING JOINT ON RISER WALL TUBE  
NUMBER 2 ASTM A210 GRADE A-1 AT  
STEAM POWER PLANT 2 PT X**

**FAJAR ADI PRASETYA  
NRP 2712 100 025**

**Advisor  
Dr. Lukman Noerochim, S.T., M.Sc.Eng.  
Ir. Rochman Rochiem, M.Sc.**

**DEPARTMENT OF MATERIAL AND METALLURGICAL ENGINEERING  
Faculty of Industrial Technology  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
SURABAYA  
2016**

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

**STUDI MEKANISME KEGAGALAN LAS PADA  
RISER WALL TUBE NOMOR 2 ASTM A210  
GRADE A-1 PADA PEMBANGKIT LISTRIK  
TENAGA UAP UNIT 2 PT X**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada

Bidang Studi Korosi Dan Kegagalan Material  
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Material Dan Metalurgi  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh:

**FAJAR ADI PRASETYA**  
NRP. 2712 100 025

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Dr. Lukman Noerochim, ST., M.Sc.Eng.....(Pembimbing I)
2. Ir. Rochman Rochiem M.Sc.....(Pembimbing II)



## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT karena berkat dan karunia-Nya, penulis senantiasa diberikan kesehatan dan kelancaran sehingga dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir yang berjudul: **Studi Mekanisme Kegagalan Las pada Riser Wall Tube Nomor 2 ASTM A210 Grade A-1 pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap PT X.**

Pada kesempatan kali ini penulis mengucapkan terima kasih banyak kepada:

1. Bapak Yuwono, Ibu Khoridah dan Mas Hendra atas semua doa dan semangat hingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini dengan lancar.
2. Dr. Agung Purniawan, S.T., M.Eng selaku Ketua Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI – ITS.
3. Bapak Dr. Lukman Noerochiem, ST., M.Sc.Eng dan Bapak Ir. Rochman Rochiem, M.Sc selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah memberikan bimbingan serta bekal yang sangat bermanfaat.
4. Seluruh dosen dan karyawan Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS.
5. Bapak Tri Wibowo yang telah bersedia memberikan topik.
6. Teman - teman seperjuangan MT 14 Teknik Material dan Metalurgi.
7. Teman – teman seperjuangan Laboratorium Korosi dan Analisa Kegagalan
8. Teman – teman seperjuangan Laboratorium Metalurgi
9. Teman – teman satu atap di Surabaya, Adi, Dandy dan Ihsan
10. Dan juga untuk semua teman – teman dan semua pihak yang tidak bisa penulis sebutkan satu – persatu, terima kasih sebesar – besarnya atas dukungan, bantuan dan segala sesuatunya sehingga Penulis bisa menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Penyusun menyadari adanya keterbatasan di dalam penyusunan laporan ini. Besar harapan penyusun akan saran, dan kritik yang sifatnya membangun. Selanjutnya semoga tulisan ini dapat selalu bermanfaat. Amin.

Surabaya, Juli 2016

Penyusun

**STUDI MEKANISME KEGAGALAN LAS PADA  
RISER WALL TUBE NOMOR 2 ASTM A210  
GRADE A-1 PADA PEMBANGKIT LISTRIK  
TENAGA UAP UNIT 2 PT X**

**Nama** : Fajar Adi Prasetya  
**NRP** : 2712100025  
**Jurusan** : Teknik Material dan Metalurgi, ITS  
**Dosen Pembimbing** : Dr. Lukman Noerochiem, ST., M.Sc.Eng  
Ir. Rochman Rochiem, M.Sc.

**Abstrak**

*Riser wall tube* merupakan salah satu bagian yang sangat penting pada *boiler* di PLTU PT X dimana fungsinya adalah menyalurkan uap dari *furnace* menuju *steamdrum*. Kasus yang didapatkan pada *boiler* ini adalah bocornya *riser wall tube* nomor dua pada saat proses sedang berjalan. Untuk mengetahui penyebab bocornya tube tersebut dan mencegah terjadinya kasus yang sama, maka analisa kegagalan terhadap *riser wall tube* tersebut perlu dilakukan. Pada penelitian ini dibuat spesimen pembandingan sebagai acuan. Beberapa pengujian seperti pengujian *liquid dye penetrant*, pengujian tarik dilakukan pada spesimen las pembandingan serta pengujian metalografi dan pengujian kekerasan dilakukan pada kedua spesimen juga dengan tambahan pengujian spektrometri, pengujian SEM dan pengujian XRD untuk spesimen yang mengalami kegagalan. Spesimen las pembandingan dibuat sesuai dengan WPS yang ada. Dari hasil pengujian yang telah dilakukan terdapat perbedaan pada daerah las di kedua spesimen. Keduanya memiliki struktur mikro dan nilai kekerasan yang berbeda. Pengujian SEM pada spesimen las yang mengalami kegagalan menunjukkan adanya porositas dan hasil pengujian XRD-nya menunjukkan adanya senyawa korosi. Porositas, korosi, serta hasil las yang tidak memenuhi standar menyebabkan kualitas las menjadi tidak maksimal.

**Kata kunci:** *riser wall tube, boiler, pecah*

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

**STUDY ON THE FAILURE MECHANISM OF  
WELDING JOINT ON RISER WALL TUBE  
NUMBER 2 ASTM A210 GRADE A-1 AT STEAM  
POWER PLANT 2 PT X**

**Name : Fajar Adi Prasetya**  
**SRN : 2712100025**  
**Major : Teknik Material dan Metalurgi, ITS**  
**Advisor : Dr. Lukman Noerochiem, ST., M.Sc.Eng**  
**Ir. Rochman Rochiem, M.Sc.**

**Abstract**

Riser tube wall is one very important part of the boiler in the power plant PT X where its function is to deliver steam from the furnace to the steamdrum. Cases were found in this boiler is leaking riser tube wall number two when the process is running. To find the cause of the leaking tube and prevent the occurrence of similar cases, the failure analysis of the riser tube wall needs to be done. In this study, comparison specimen is made as a reference. Some tests such as liquid dye penetrant testing and tensile testing are performed on comparison specimen, metallographic testing and hardness testing are performed on both specimens and also with additional testing such as spectrometry testing, SEM testing and XRD testing are performed on failed specimen. Comparison specimen is made according to WPS. There is a difference in the welding area in both specimens. Both have a different microstructure and hardness value. SEM testing, that is performed on failed specimen, showed porosity and XRD test results indicate corrosion compound. Porosity, corrosion, weld formed which does not reach the minimum requirement cause the quality of the weld to be not optimal.

***Keyword: riser wall tube, boiler, rupture***

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR ISI

	Halaman
LEMBAR JUDUL.....	i
TITLE.....	iii
LEMBAR PENGESAHAN.....	v
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT.....	ix
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL.....	xix
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Boiler.....	5
2.2 Riser Wall Tube.....	7
2.3 Analisa Kegagalan.....	7
2.4 Pengelasan.....	15
2.5 Baja Karbon.....	18
2.6 Cacat Las pada Boiler.....	20
2.7 Penelitian Sebelumnya.....	23
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b>	
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	25
3.2 Metode Penelitian.....	26
3.3 Bahan Penelitian.....	26
3.4 Peralatan dan Bahan.....	28
3.5 Tahapan Penelitian.....	29
3.5.1 Pengambilan Data.....	29
3.5.2 Preparasi Spesimen.....	29

3.5.3	Pengujian <i>Penetrant</i> .....	30
3.5.4	Pengujian Tarik .....	31
3.5.5	Pengujian Metalografi .....	32
3.5.6	Pengujian Kekerasan .....	33
3.5.7	Pengujian SEM.....	34
3.5.8	Pengujian XRD.....	35
3.5.9	Pengujian Spektrometri.....	35
3.6	Rancangan Penelitian .....	36
<b>BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN</b>		
4.1	Pembuatan Spesimen Pembanding.....	37
4.2	Hasil Pengujian.....	39
4.2.1	Hasil Pengujian Spektrometri.....	39
4.2.2	Hasil Pengujian <i>Penetrant</i> .....	42
4.2.3	Hasil Pengujian Tarik.....	42
4.2.4	Hasil Pengujian Metalografi.....	46
4.2.5	Hasil Pengujian Fraktografi.....	52
4.2.6	Hasil Pengujian Kekerasan.....	53
4.2.7	Hasil Pengujian XRD.....	55
4.3	Pembahasan .....	56
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b>		
5.1	Kesimpulan.....	61
5.2	Saran.....	61
DAFTAR PUSTAKA.....		63
LAMPIRAN .....		65

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1.1 Riser wall tube yang mengalami kegagalan.....	2
Gambar 2.1 Skema Siklus Kerja Boiler (PJB UP. Gresik)....	5
Gambar 2.2 Riser wall tube yang belum terpasang pada boiler (Ken Heselton, 2014).....	7
Gambar 2.3 Diagram fasa Fe-Fe <sub>3</sub> C.....	19
Gambar 2.4 Struktur mikro AWS E7016 (T. P. Schoonmaker, 1985) .....	20
Gambar 2.5 Cacat las berupa <i>slag inclusion</i> (Shivaji Choudhury, 2011).....	20
Gambar 2.6 Cacat las berupa porositas (Shivaji Choudhury, 2011).....	22
Gambar 2.7 Cacat las berupa <i>cracking</i> (Shivaji Choudhury, 2011).....	23
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian.....	25
Gambar 3.2 Komponen riser wall tube yang mengalami kerusakan .....	27
Gambar 3.3 Penetrant SKL-SP2.....	30
Gambar 3.4 Developer SKD-S2.....	31
Gambar 3.5 Universal Tensile Testing Machine.....	32
Gambar 3.6 mikroskop optik <i>Olympus BX51M-RF</i> .....	33
Gambar 3.7 Universal Hardness Tester HBRV 187.5A.....	34
Gambar 3.8 Mesin Uji SEM.....	35
Gambar 3.9 PAN Analytical.....	35
Gambar 3.10 Mesin Uji Spektrometri.....	36
Gambar 4.1 Spesimen las pembanding .....	37
Gambar 4.2 Daerah weld metal, HAZ, dan base metal pada: (a) spesimen las yang mengalami kegagalan dan (b) spesimen las pembanding.....	38
Gambar 4.3 Pemberian <i>Penetrant</i> .....	40

Gambar 4.4 Hasil pengujian Penetrant pada spesimen 1 pada: (a) sisi belakang tube, (b) sisi depan tube, (c) sisi kiri spesimen dan (d) sisi kanan spesimen .....	40
Gambar 4.5 Hasil pengujian Penetrant pada spesimen 2 pada: (a) sisi belakang tube, (b) sisi depan tube, (c) sisi kiri spesimen dan (d) sisi kanan spesimen.....	41
Gambar 4.6 Spesimen las pembanding 1 (a) dan 2 (b) yang dibentuk untuk pengujian tarik. ....	43
Gambar 4.7 Hasil pengujian tarik pada spesimen 1 (a) dan spesimen 2 (b) .....	43
Gambar 4.8 Kurva Hasil Pengujian Tarik pada spesimen 1 (a) dan spesimen 2 (b).....	44
Gambar 4.9 Struktur mikro base metal dengan perbesaran 500x pada: (a) spesimen las gagal dan (b) spesimen las pembanding .....	46
Gambar 4.10 Struktur mikro HAZ dengan perbesaran 500x pada: (a) spesimen las yang gagal dan (b) spesimen las pembanding .....	47
Gambar 4.11 Struktur mikro weld metal dengan perbesaran 500x pada: (a) spesimen las gagal dan (b) spesimen las pembanding .....	48
Gambar 4.12 Diagram <i>continuous cooling transformation</i> .....	50
Gambar 4.13 Potongan <i>tube</i> yang mengalami kebocoran.....	52
Gambar 4.14 Inklusi pada logam las.....	52
Gambar 4.15 Hasil Pengujian SEM dengan perbesaran sebesar 500x (gambar kiri) dan perbesaran sebesar 1000x (gambar kanan).....	53
Gambar 4.16 Perbandingan distribusi nilai kekerasan rata – rata ketiga daerah ( <i>base metal</i> , HAZ, dan <i>weld metal</i> ) pada kedua spesimen.....	55
Gambar 4.17 Hasil pengujian XRD.....	56

## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Mekanisme kegagalan menurut standar ANSI/API 689.....	9
Tabel 2.2 Penyebab kegagalan menurut standard ANSI/API 689 .....	13
Tabel 2.3 Jenis – jenis pengelasan.....	16
Tabel 3.1 Komposisi ASTM A210 Grade A-1 .....	25
Tabel 3.2 Sifat mekanik ASTM A210 Grade A-1 .....	25
Tabel 3.3 Komposisi AWS E7016 .....	26
Tabel 3.4 Sifat mekanik ASTM A210 Grade A-1 .....	26
Tabel 4.1 Parameter pengelasan.....	37
Tabel 4.2 Hasil uji spektrometri .....	39
Tabel 4.3 Hasil Pengujian Tarik Spesimen 1 dan Spesimen 2.....	45
Tabel 4.4 Distribusi nilai kekerasan spesimen las yang gagal	54
Tabel 4.5 Distribusi nilai kekerasan spesimen las pembeding.....	54

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

# BAB I

## PENDAHULUAN

### I. 1 Latar Belakang Masalah

Pembangkit Listrik Tenaga Uap atau yang biasa disingkat sebagai PLTU merupakan sebuah pembangkit yang menghasilkan energi listrik dari hasil konversi energi kinetik uap. Generator uap, atau boiler, menggunakan panas untuk mengubah air menjadi uap untuk berbagai aplikasi. Yang paling utama adalah pembangkitan tenaga listrik dan proses pemanasan pada dunia industry. Uap merupakan sumber daya utama karena ketersediaannya yang luas, sifatnya yang menguntungkan dan tidak beracun. Pengkonversian energi tersebut dilakukan oleh generator yang dihubungkan pada satu poros dalam turbin. Turbin dapat berputar karena mendapat gaya kinetik dari uap panas yang dihasilkan oleh boiler. Sehingga dapat disimpulkan ada tiga komponen utama pada sebuah PLTU, yaitu boiler, turbin, dan generator.

Sebagai salah satu komponen utama pada PLTU, tentunya boiler mempunyai peranan yang sangat penting. Fungsi utama pada boiler adalah sebagai tungku pemanas untuk memanaskan air sehingga menjadi uap panas yang selanjutnya akan dimanfaatkan untuk memutar turbin. Layaknya equipment lainnya, boiler juga dapat mengalami kegagalan. Apabila mengalami kerusakan pada salah satu bagian pada boiler maka efisiensi kerja pada boiler menjadi berkurang sehingga dapat mengakibatkan kerugian finansial yang tidak sedikit. Selain itu, apabila salah satu bagian pada boiler mengalami kerusakan dapat menyebabkan terganggunya proses pada PLTU untuk melakukan perbaikan sehingga PLTU tidak dapat memenuhi permintaan daya yang dibutuhkan untuk menyuplai listrik karena harus di *shutdown*.

Salah satu bagian pada boiler yang tak luput dari kerusakan adalah *riser wall tube*. *Riser wall tube* berfungsi untuk menyalurkan campuran air dan uap yang dihasilkan di ruang bakar utama menuju steamdrum. Pada kasus ini, ditemukan gagalnya *riser wall tube* di salah satu unit boiler milik PT X.



**Gambar 1.1** Riser wall tube yang mengalami kegagalan

Tube nomor 2 (gambar nomor 2) dan tube nomor 3 (gambar nomor 3) yang terletak di dekat sootblower (gambar nomor 1) terlihat mengalami kebocoran. Namun penyebab serta mekanisme kegagalan pada kedua tube tersebut berbeda. Banyak faktor yang dapat menyebabkan gagalnya kedua tube tersebut. Kegagalan tersebut dapat terjadi karena beberapa sebab seperti kesalahan pada aspek desain alat, kesalahan pada saat fabrikasi maupun instalasi, kesalahan pengoperasian dan perawatan alat, pengaruh lingkungan yang tidak sesuai dan sebagainya. Oleh karena itu, diperlukan suatu analisa secara menyeluruh untuk mengetahui secara pasti faktor – faktor penyebab dari gagalnya riser wall tube tersebut, khususnya nomor 2, serta dapat ditentukan tube mana yang mengalami kegagalan utama (primary failure) dan kegagalan yang diakibatkan dari kegagalan utama (secondary



failure). Analisa yang dilakukan berupa analisis dari segi metalurgi sehingga dengan dilakukannya kegiatan analisa ini dapat diketahui penyebab dan mekanisme dari gagalnya boiler tersebut serta dapat dijadikan sebagai dasar acuan untuk mencegah terjadinya kegagalan yang sama di kemudian hari.

## **I. 2 Perumusan Masalah**

Permasalahan yang akan dibahas dalam analisa kegagalan pada boiler ini adalah sebagai berikut:

1. Faktor apa saja yang menyebabkan terjadinya kegagalan pada *riser wall tube*?
2. Bagaimana mekanisme terjadinya kegagalan pada *riser wall tube*?
3. Apa yang harus dilakukan agar kegagalan tidak terjadi lagi dengan mekanisme yang sama?

## **I. 3 Batasan Masalah**

Pembatasan permasalahan dan asumsi agar didapatkan penelitian yang terarah dan kejelasan analisis permasalahan pada kasus ini adalah sebagai berikut:

1. Kondisi peralatan pengujian dianggap sempurna sehingga menghasilkan data yang akurat.
2. Parameter lain yang tidak diamati dianggap konstan dan sesuai standar operasional.

## **I. 4 Tujuan Penelitian**

Tujuan analisa kegagalan pada boiler ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisa faktor penyebab terjadinya kegagalan pada *riser wall tube*.
2. Menganalisa mekanisme terjadinya kegagalan pada *riser wall tube*.
3. Memberikan rekomendasi yang tepat agar tidak terjadi lagi kegagalan dengan mekanisme yang sama.



### **I. 5 Manfaat Penelitian**

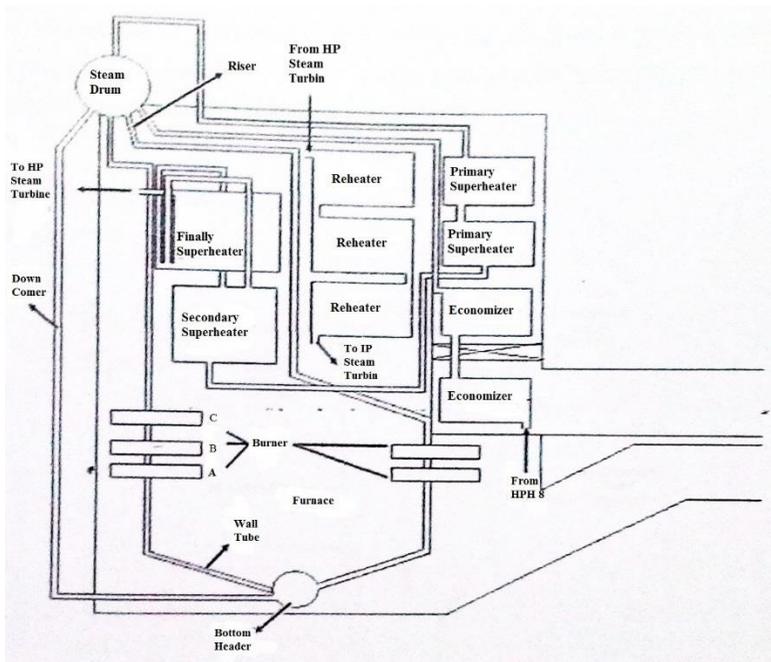
Dengan dilakukannya analisa kegagalan ini diharapkan dapat diperolehnya manfaat sebagai berikut:

1. Penelitian ini diharapkan dapat dijadikan sebagai acuan untuk mencegah terjadinya kegagalan yang sama di kemudian hari.
2. Bagi pembaca diharapkan dapat memahami dan mengaplikasikan ilmu yang terdapat pada penelitian ini sebagai alat bantu untuk penelitian lain yang terkait dikemudian hari.

## BAB II TINJUAN PUSTAKA

### II. 1 Boiler

Generator uap, atau boiler, menggunakan panas untuk mengubah air menjadi uap untuk berbagai aplikasi. Yang paling utama adalah pembangkitan tenaga listrik dan proses pemanasan pada dunia industry. Uap merupakan sumber daya utama karena ketersediaannya yang luas, sifatnya yang menguntungkan dan tidak beracun. Bahan bakar yang digunakan sebagian besar adalah batubara, gas alam dan minyak. Berikut merupakan cara kerja pada boiler:



**Gambar 2.1** Skema Siklus Kerja Boiler (PJB UP. Gresik)



Boiler memiliki 5 koomponen utama, yaitu wall tube, economizer, steamdrum, superheater dan reheater. Air dari feedwater pump memasuki bagian economizer terlebih dahulu. Di bagian ini air dinaikkan temperaturnya secara perlahan sebelum mencapai sistem berikutnya. Setelah diberi pemanasan awal, kemudian air dialirkan menuju steamdrum. Pada bagian ini level air dijaga 50% dari volume steamdrum. Kemudian setelah melewati penampungan sementara di steamdrum, air dialirkan menuju bottom header dengan melalui downcorner. Karena adanya panas dari hasil pembakaran pada bagian furnace, perlahan-lahan air berubah bentuk menjadi uap basah. Proses pemanasan dilakukan secara kontinu sehingga sesuai dengan sifat pada uap air, uap air merambat keatas dengan sendirinya menuju steamdrum dengan melewati wall tube. Dari steamdrum, uap air yang masih basah dialirkan menuju superheater untuk diberikan pemanasan lanjut agar uap yang dihasilkan benar - benar kering. Pada superheater sendiri terdapat tiga tahap, yaitu primary superheater, secondary superheater dan finally superheater. Tiga tahapan ini memiliki tingkat pemanasan yang berbeda. Uap air basah melalui primary superheater terlebih dahulu yang kemudian dilanjutkan ke secondary superheater dan finally superheater. Hasil dari pemanasan lanjut pada superheater adalah uap yang benar – benar kering yang kemudian dimanfaatkan sebagai energi kinetik untuk memutar turbin. Reheater tidak dilalui oleh uap air yang dihasilkan dari air melainkan dari uap yang keluar dari high pressure turbine. Uap ini mengalami pemanasan kembali di reheater dan kemudian energi kinetiknya dimanfaatkan untuk memutar turbin. (*Steam Generation*, The Babcock & Wilcox Company)



## II. 2 Riser Wall Tube

Riser wall tube merupakan salah satu bagian yang penting pada boiler. Fungsi utamanya adalah menyalurkan campuran antara air dan uap yang dihasilkan di ruang bakar utama menuju steamdrum (Ken Heselton, 2014). Dimensi riser wall tube sendiri memiliki diameter luar 48 mm dengan tebal 6 mm dengan desain temperature sebesar 393 °C dan desain tekanan sebesar 19.79 MPa.



**Gambar 2.2** Riser wall tube yang belum terpasang pada boiler (Ken Heselton, 2014)

## II. 3 Analisa Kegagalan

Analisis kegagalan dapat didefinisikan sebagai langkah - langkah pemeriksaan suatu komponen yang mengalami kegagalan atau rusak yang kemudian dilakukan analisa untuk mengetahui penyebab dari gagalnya alat tersebut dan mencari tahu penanggulangannya serta langkah – langkah antisipasi agar tidak terjadi kegagalan dengan mekanisme yang sama. Analisis kegagalan ini memerlukan pemahaman tentang berbagai aspek



seperti: fungsi komponen sebagai bagian dari suatu sistem peralatan, kondisi operasi dan gejala yang teramati menjelang terjadinya kegagalan. Pengumpulan data material komponen serta proses pengerjaannya akan banyak membantu dalam menemukan penyebab kegagalan. Sampel yang diambil sedapat mungkin mampu memberikan gambaran mengenai peristiwa kegagalan. Oleh karenanya lokasi pengambilan harus tepat, serta keadaannya harus sesegar mungkin.

Pengamatan pola patahan yang rusak adalah kunci bagi seluruh proses analisa kegagalan, oleh sebab itu pengamatan secara makroskopis dan mikroskopis harus dilaksanakan secara bertahap. Selain itu pengujian mekanik juga diperlukan karena secara umum kegagalan disebabkan oleh gaya-gaya yang bekerja dari lingkungan kerja komponen. Menurut sumber-sumber penelitian yang ada di dunia industri (Brook & Choudury, 2002).

Dalam metodologi analisa kegagalan suatu komponen, diberikan kodifikasi tersendiri berdasarkan jenis kegagalan yang dialami oleh komponen tersebut. Hal ini merupakan cara untuk mengetahui penyebab kegagalan suatu komponen dengan melihat standar ANSI/API 689 yang menjelaskan tentang pengelompokan kegagalan yang terjadi sesuai dengan aspek-aspek penyebabnya.

Menurut standar ANSI/API 689 mekanisme kegagalan suatu komponen dapat dikategorikan berdasarkan beberapa penyebab, yaitu:

1. Mekanik
2. Material
3. Peralatan
4. Listrik
5. Pengaruh dari luar
6. Lainnya



Semua faktor-faktor penyebab kegagalan dicantumkan kedalam Tabel 2.1

**Tabel 2.1** Mekanisme kegagalan menurut standar ANSI/API 689

Mekanik		
kode	Notasi	Uraian
1.0	Umum	Kegagalan berhubungan dengan cacat mesin tetapi tidak diketahui secara jelas
1.1	Kebocoran	Kebocoran bagian dalam dan luar baik cair ataupun gas; jika kegagalan dalam tingkat ini disebut “bocor”, lebih cocok digolongkan dalam kegagalan teknik.
1.2	Getaran	Getaran tidak normal: jika kegagalan dalam tingkat getaran, dimana lebih cocok digolongkan pada kegagalan, mekanis, penyebab kegagalan ( <i>root cause</i> ) harus dicatat.
1.3	Kegagalan perakitan/ pemasangan	Kegagalan disebabkan oleh kesalahan perakitan/pemasangan.
1.4	Deformasi	<i>Distortion, bending, buckling, denting, yielding, shrinking, blistering, creeping,</i> dan lain – lain.
1.5	Hilang	Tidak sesuai, kehilangan item
1.6	Pelapisan	Pelapisan, <i>seizure</i> , gangguan yang disebabkan oleh deformasi atau kegagalan perakitan / pemasangan



<b>Material</b>		
2.0	Umum	Kegagalan berhubungan dengan cacat material tetapi tidak diketahui secara jelas.
2.1	Kavitasi (Celah)	Cocok untuk peralatan seperti pompa dan katup ( <i>valves</i> )
2.2	Korosi	Semua jenis korosi, baik basah (elektrokimia) dan kering (kimia)
2.3	Erosi	Aus erosi
2.4	Aus	Keausan abrasi dan adhesi, seperti <i>scoring</i> , <i>galling</i> , <i>scuffing</i> , <i>fretting</i> .
2.5	Patah	Patah, putus, retak
2.6	Fatig (lelah)	Gunakan kode ini Jika penyebab patah disebabkan oleh fatig.
2.7	Kelebihan Panas	Kerusakan material karena kelebihan panas
2.8	Meledak (pecah)	Komponen yang meledak, ledakan, ledakan besar, dan lain – lain.
<b>Peralatan</b>		
3.0	Umum	Kegagalan berhubungan dengan peralatan tetapi tidak diketahui secara jelas.
3.1	Kegagalan Kontrol	Tidak ada, atau kesalahan alam peraturan.
3.2	Tidak ada Tanda/indikasi/ alarm	Tidak ada tanda/indikasi/alarm ketika terjadi



Laporan Tugas Akhir  
Fajar Adi Prasetya  
2712100025

3.3	Kesalahan Tanda/ indikasi/ alarm	Kesalahan Tanda/indikasi/alarm dalam kenyataan. Dapat berupa tanda palsu, sebentar- sebentar, konslet, berubah-ubah.
3.4	Kesalahan perbaikan	Kesalahan kalibrasi, salah parameter.
3.5	Kegagalan perangkat lunak	Kesalahan, atau tidak adanya Kontrol/monitor/operasi yang menyebabkan kegagalan perangkat lunak
3.6	Penyebab umum/ jenis kegagalan	Beberapa penyebab kegagalan simultan seperti: deteksi api, dan gas, juga penyebab kegagalan berhubungan pada penyebab umum
<b>Listrik</b>		
4.0	Umum	Kegagalan berhubungan dengan <i>supply</i> dan transmisi pada tegangan listrik, tetapi tidak secara jelas.
4.1	Arus pendek	Arus pendek.
4.2	Arus terbuka	Tidak nyambung, gangguan, merusakkan kawat/kabel
4.3	Tidak ada arus/tegangan	Kehilangan atau tidak ada arus
4.4	Kesalahan arus/ tegangan	Kesalahan arus listrik seperti: kelebihan tegangan
4.5	Kesalahan isolator	Kesalahan isolator, rendahnya tahanan listrik



<b>Pengaruh luar</b>		
5.0	Umum	Kegagalan disebabkan oleh beberapa faktor luar tetapi tidak secara jelas.
5.1	Rintangangan/ hambatan	Kesalahan yang menghambat aliran/terhalang, terkontaminasi, terlapsi, aliran asuransi.
5.2	Kontaminasi	Fluida yang terkontaminasi/ gas/ permukaan seperti: pelumas oli yang terkontaminasi, gas yang terkontaminasi.
5.3	Macam-macam pengaruh dari luar	Pengaruh system tetangga dalam bentuk seperti: benda asing, tiba-tiba.
<b>Beberapa macam</b>		
6.0	Umum	Mekanisme kegagalan tidak ditentukan dalam satu kategori
6.1	Tidak ada penyebab yang ditemukan	Pencarian kegagalan tetapi penyebab tidak diketahui
6.2	Lain-lain	Tidak ada tanda aplikasi: gunakan tanda bebas.
6.3	Tidak diketahui	Tidak ada informasi yang diketahui.

(ANSI/API 689, 2007)

Menurut aspek diatas diberikan kodefikasi berdasarkan notasi dan deskripsi kegagalan yang terjadi pada komponen.

Menurut standar ANSI/API 689 penyebab kegagalan suatu komponen dapat disebabkan oleh salah satu atau lebih aspek dibawah ini:



1. Aspek desain
2. Aspek pabrik/instalasi (pemasangan)
3. Aspek pengoperasian/perawatan
4. Aspek manajemen
5. Aspek lainnya

Menurut aspek diatas diberikan kodefikasi berdasarkan notasi dan deskripsi kegagalan yang terjadi.

**Tabel 2.2** Penyebab kegagalan menurut standard ANSI/API 689

<i>Design</i>		
<b>kode</b>	<b>Notasi</b>	<b>Uraian</b>
1.0	Umum	kekurangan peralatan pada saat perancangan (bentuk, ukuran, teknologi, susunan, operasi, perawatan dan lain-lain.) tetapi tidak secara jelas.
1.1	Kesalahan kapasitas	Kekurangan dimensi/kapasitas
1.2	Kesalahan material	Kesalahan pemilihan material
<b>Pabrik/Instalasi</b>		
2.0	Umum	Kegagalan berhubungan pada pabrik atau instalasi, tetapi tidak secara jelas.
2.1	Kesalahan pabrik	Kegagalan proses produksi
2.2	Kesalahan instalasi	Kegagalan instalasi atau perakitan (perakitan setelah perawatan tidak termasuk)



<b>Operasi/perawatan</b>		
3.0	Umum	Kegagalan berhubungan pada operasi/pemakaian atau perawatan peralatan tetapi tidak secara jelas.
3.1	Kesalahan pada saat sebelum digunakan	Kondisi pemakaian yang tidak cocok seperti: pengoperasian kompresor yang berlebihan, tekanan melebihi batas ketentuan.
3.2	Kesalahan operasi	Kesalahan, kesalahan penggunaan, kelalaian, tidak teliti, dan lain sebagainya. selama operasi.
3.3	Kesalahan perawatan	Kesalahan, kesalahan penggunaan, kelalaian, tidak teliti, dan lain sebagainya. selama perawatan
3.4	Aus dan sobek	Kegagalan disebabkan oleh aus dan sobek yang dihasilkan dari pengoperasian mesin yang beroperasi secara normal
<b>Manajemen</b>		
4.0	Umum	Kegagalan berhubungan dengan manajemen, tetapi tidak secara jelas.
4.1	Kesalahan dokumen	Kegagalan berhubungan pada prosedur, spesifikasi, gambar, laporan dan lain-lian.



4.2	Kesalahan manajemen	Kegagalan berhubungan dengan perencanaan, organisasi, kualitas asuransi dan lain-lain.
<b>Beberapa macam</b>		
5.0	Umum	Kesalahan/penyebab lebih dari satu kategori.
5.1	Tidak diketahui penyebabnya	Pencarian kegagalan tetapi tidak diketahui secara spesifik penyebabnya.
5.2	Penyebab umum	Mode/penyebab umum
5.3	Penyebab gabungan	Beberapa penyebab yang berpengaruh, jika salah satu penyebab dominan, penyebab tersebut harus digaris bawahi
5.4	Lain-lain	Penyebab tidak ada dalam aplikasi
5.5	Tidak diketahui	Tidak adanya informasi yang berhubungan dengan kegagalan

(ANSI/API 689, 2007)

## II. 4 Pengelasan

Pengelasan merupakan salah satu hal yang utama dalam fabrikasi boiler. Proses ini digunakan dalam persentase yang cukup besar pada pembuatan sebuah boiler. Sebuah las pada dasarnya dapat didefinisikan sebagai perpaduan dari satu atau lebih bahan dengan aplikasi panas lokal di wilayah yang dituju. Pada sebagian besar proses pengelasan, panas yang dihasilkan menyebabkan



temperatur dari bahan menjadi di atas titik lelehnya untuk membuat kolam las atau weld pool. Sumber panas kemudian dihilangkan sehingga menyebabkan pool untuk memadat dan terjadinya ikatan metalurgi antara dua permukaan yang dihubungkan. Tergantung pada aplikasi, filler material dapat ditambahkan ke weld pool untuk mengisi rongga di antara bagian yang dihubungkan.

Ada banyak proses pengelasan yang dapat dipilih. Pilihan tentunya didasarkan pada metode terbaik dan memberikan energy untuk membuat las. Las busur listrik atau electric arc welding merupakan jenis yang paling umum digunakan dalam fabrikasi equipment pembangkit uap berbahan bakar fosil. Jenis arc welding yang paling banyak digunakan adalah gas tungsten arc welding (GTAW), gas metal arc welding (GMAW), submerged arc welding (SAW), shielded metal arc welding (SMAW), dan plasma arc welding (PAW). Jenis pengelasan non busur yang paling umum digunakan adalah high frequency resistance welding (HFRW) dan laser beam welding (LBW). Tabel berikut terdapat kelebihan dan kekurangan masing – masing proses dan memberikan contoh aplikasinya pada pembangkit uap.

**Table 2.3** Jenis – jenis pengelasan

Jenis las	Kelebihan	Kekurangan	Aplikasi
LBW	Penetrasi yang sangat dalam Kualitas sangat bagus Distorsi yang kecil	Modalnya besar Perawatannya susah Tidak Portable	Weld overlay pipa dan panel



Laporan Tugas Akhir  
Fajar Adi Prasetya  
2712100025

	Memiliki sifat mekanik yang bagus		
GTAW	Kualitasnya bagus Modal rendah	Penetrasi yang kurang dalam Memerlukan operator yang sangat handal Produktivitas rendah Adanya risiko radiasi busur	Sambungan superheater dan economizer bagian pipa
GMAW	Produktivitas sedang Kualitas sedang	Penetrasi yang kurang dalam Adanya risiko radiasi busur	Sambungan antar pipa Perbaikan dan pemasangan panel wall
PAW	Penetrasi yang dalam Kualitasnya bagus Produktivitas tinggi	Prosesnya rumit Susah untuk diperbaiki Modalnya besar	Sambungan antar pipa pada sootblower
SAW	Produktivitas sangat tinggi Kualitasnya bagus Operator terlindungi dari radiasi busur	Posisi pengelasan yang terbatas	Fabrikasi header Fabrikasi water wall
SMAW	Modal sangat rendah Sangat portable	Tidak bisa automasi	Perbaikan Sambungan antara pipa



		Kualitasnya kurang bagus Produktivitas rendah	dengan header
HFRW	Kualitasnya bagus Produktivitas sangat tinggi	Modalnya besar Penggunaannya terbatas	Pembuatan tube

(*Manufacturing, The Babcock & Wilcox Company*)

Memilih proses pengelasan memerlukan pertimbangan dari beberapa faktor. Komposisi bahan dan kondisi pengelasan menentukan filler yang digunakan. Komposisi dasar material (base metal) juga menentukan penggunaan pemanasan awal (preheat) dan perlakuan panas pasca las (post weld heat treatment) untuk mengontrol kekerasan yang dihasilkan dan untuk meminimalkan kerentanan terjadinya retak las. Kualitas dan produktivitas yang terkait dengan setiap proses pengelasan juga harus diperhitungkan dalam pemilihan jenis las (*Manufacturing, The Babcock & Wilcox Company*).

## II.5 Baja Karbon

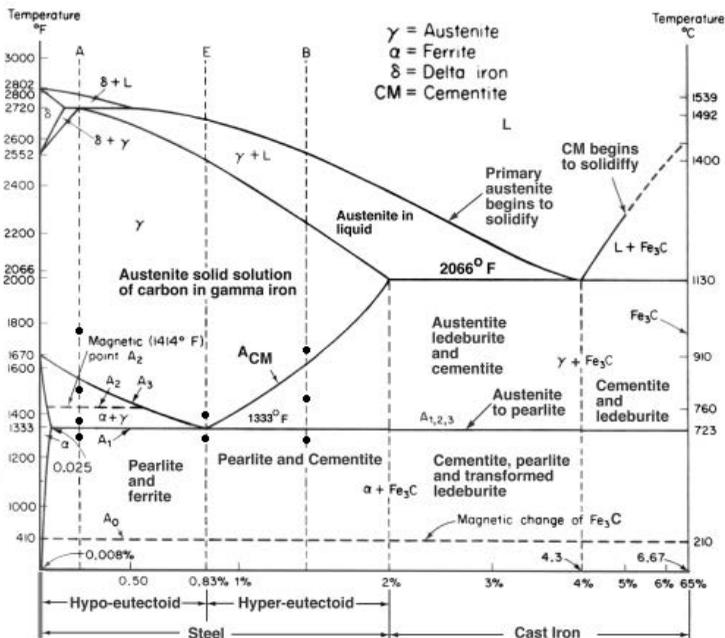
Baja karbon merupakan paduan antara besi sebagai unsur utama dengan Karbon sebagai unsur paduan. Karbon umumnya tidak dianggap sebagai elemen paduan karena baja tidak akan menjadi baja bila tidak ada karbon. Namun demikian, Karbon juga perlu diperhatikan mengenai pengaruhnya pada sifat-sifat baja. Secara umum, peningkatan kadar karbon menghasilkan kekuatan dan kekerasan yang lebih tinggi tetapi menurunkan keuletan dan ketangguhan baja paduan. Karbon juga cenderung dapat meningkatkan pengerasan dengan pendinginan di udara dan juga



Laporan Tugas Akhir  
Fajar Adi Prasetya  
2712100025

kekerasan las, khususnya pada paduan baja dengan kadar Chromium rendah untuk aplikasi pada temperature tinggi. Kadar Karbon biasanya dibatasi maksimum hingga sekitar 0.15% untuk menjamin keuletan optimal untuk pengelasan serta operasi bending. Peningkatan kadar Karbon dapat mengurangi konduktivitas termal dan listrik dari baja dan meningkatkan kekerasan pada pendinginan. (Connor, 1987)

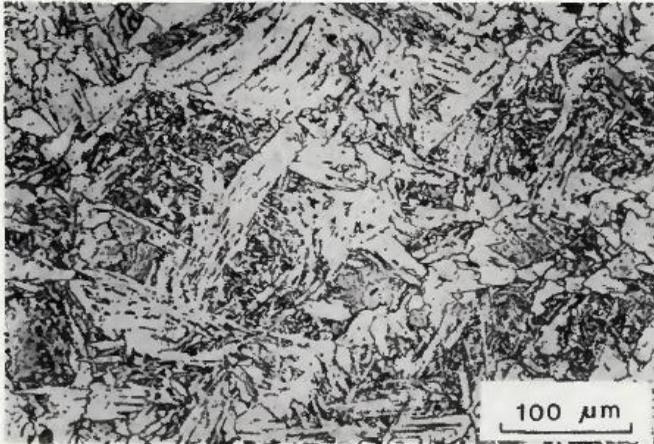
Baja Karbon memiliki fasa yang berbeda sesuai dengan kadar karbon serta dipengaruhi oleh keadaan lainnya. Berikut merupakan diagram fasa Fe-Fe<sub>3</sub>C yang mendeskripsikan fasa – fasa pada baja karbon.



**Gambar 2.3** Diagram fasa Fe-Fe<sub>3</sub>C (Materials Science and Metallurgy, 4th ed, Pollack, Prentice-Hall, 1988)



Sesuai dengan pada diagram fasa Fe-Fe<sub>3</sub>C, fasa yang terbentuk pada AWS E7016 sebagai elektroda adalah ferit dan perlit. Berikut merupakan struktur mikro pada AWS E7016:



**Gambar 2.4** Struktur mikro AWS E7016 (T. P. Schoonmaker, 1985)

## II.6 Cacat Las pada Boiler

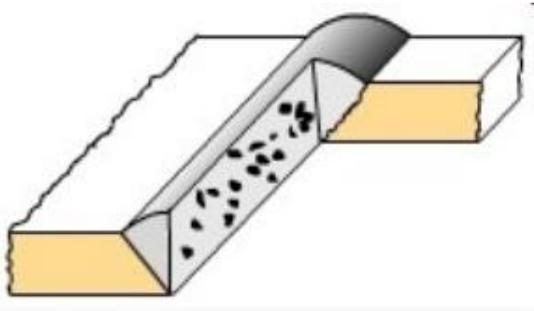
Cacat las secara umum yang biasanya terjadi pada bagian – bagian boiler adalah sebagai berikut (Shivaji Choudhury, 2011):

### a. *Slag Inclusion*

*Slag inclusion* merupakan sebuah cacat las yang berupa terdapatnya pengotor yang berupa padatan non-metalik yang terperangkap pada kolam las atau *weld pool*. Kehadiran pengotor ini dapat terjebak dengan jumlah yang sedikit maupun banyak, akan tetapi sedikit atau banyaknya pengotor tersebut tetap dapat memperburuk sifat mekanik pada daerah las. *Slag inclusion* tidak dapat terlihat kecuali terdapat pada bagian permukaan las. Kasus kegagalan yang umum terjadi akibat adanya *slag inclusion*



biasanya ditemukan berupa *surface-lying slag inclusion* atau slag membentang disepanjang permukaan las serta *slag inclusion* yang secara signifikan mengurangi cross-sectional area pada daerah las. Jumlah dan ukuran *slag inclusion* dapat diminimalisir dengan cara menjaga weld metal pada viskositas yang rendah, mencegah proses solidifikasi yang berlangsung cepat serta menjaga temperature weld metal. Berikut merupakan contoh gambar pada *slag inclusion*:



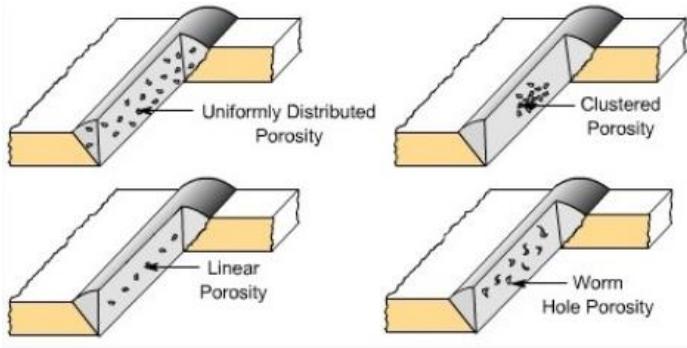
**Gambar 2.5** Cacat las berupa *slag inclusion* (Shivaji Choudhury, 2011)

### b. Porositas

Porositas merupakan salah satu jenis cacat yang dimana pada daerah kolam las atau *weld pool* terdapat sebuah poros atau rongga karena terjebaknya gelembung udara sehingga mempengaruhi kualitas las. Persebaran poros pada *weld pool* sendiri dapat bermacam – macam. Persebaran poros tersebut dapat berupa *uniformly scattered porosity*, *cluster porosity*, dan *linear porosity*. Porositas dapat dikurangi dengan menggunakan peralatan serta pengerjaan las pada lingkungan yang bersih, serta menjaga kondisi



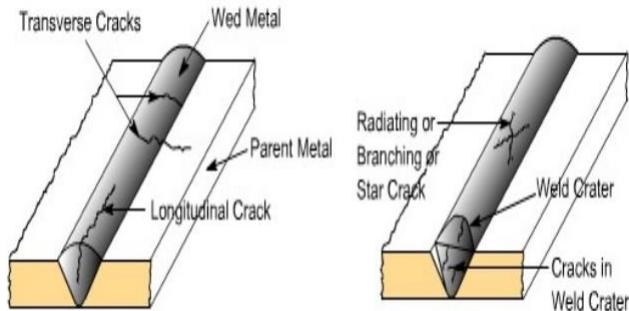
saat pengelasan agar tetap kering. Berikut merupakan contoh gambar dari cacat porositas beserta perbedaannya:



**Gambar 2.6** Cacat las berupa porositas (Shivaji Choudhury, 2011)

### c. *Cracking*

Cracking atau retakan merupakan sebuah cacat las yang berupa sebuah celah terbuka yang membentang secara linear yang dapat terjadi pada bagian permukaan maupun bagian dalam *weld pool*. Retakan pada weld metal merupakan hal yang sangat penting dan merupakan penyebab yang paling sering terjadi pada kasus kegagalan las. Retakan dapat terjadi dalam beberapa paroses seperti hot cracking dan cold cracking. Hot cracking terjadi ketika proses solidifikasi sedang berlangsung sedangkan cold cracking terjadi ketika logam telah didinginkan dan biasanya terjadi beberapa hari setelah proses pengelasan berlangsung.



**Gambar 2.7** Cacat las berupa *cracking* (Shivaji Choudhury, 2011)

#### d. Tidak Sesuai Standar Pengelasan

Kesalahan proses pengelasan seperti tidak sesuai dengan standar pengelasan dapat mempengaruhi sifat mekanik. Sifat mekanik yang dihasilkan bisa tidak sesuai dengan standar minimal yang dibutuhkan sehingga hasil las tidak optimal.

## II.7 Penelitian Sebelumnya

Sebelumnya telah dilakukan penelitian yang hampir sama. Hanya saja kegagalan yang ditemukan ada pada *wall tube* bukan pada *riser wall tube*. Namun demikian, penelitian tersebut tetap dapat dijadikan sebagai dasaran karena pada dasarnya *wall tube* dengan *riser wall tube* adalah sama serta kegagalan yang terjadi juga pada daerah yang sama. Penelitian tersebut dilakukan oleh Xiaoling Luo dan Zhi Zhang pada jurnal yang berjudul “*Leakage Failure Analysis in a Power Plant Boiler*”. Penelitian tersebut membahas mengenai kegagalan pada daerah lasan yang disebabkan

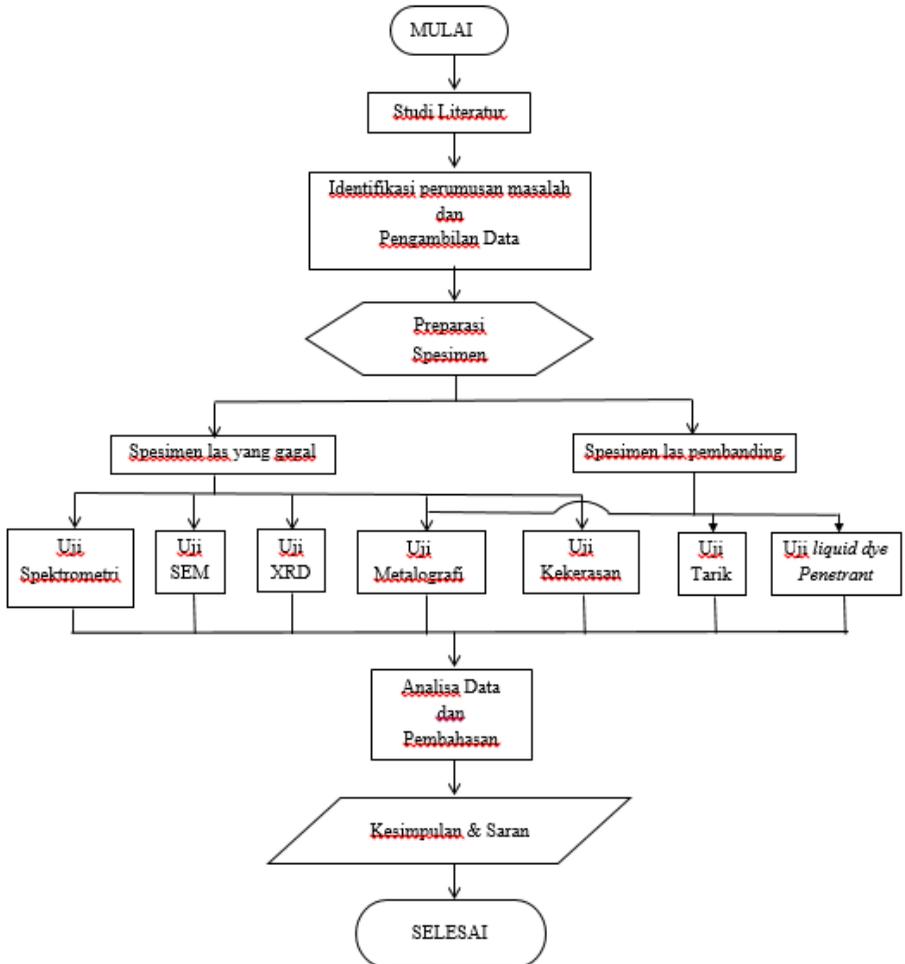


---

karena beberapa faktor, diantaranya adalah kemampuan pengelas yang kurang baik, karena ditemukan adanya sand hole dan retak yang dapat menyebabkan kebocoran pada tube (Xiaoling Luo & Zhi Zhang, 2013).

# BAB III METODOLOGI PENELITIAN

## III. 1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian



---

### III. 2 Metode Penelitian

Metode yang digunakan pada penelitian ini di antaranya adalah studi lapangan, studi literatur, dan pengujian. Berikut adalah penjelasan masing – masing metode:

1. Studi lapangan

Metode ini mencakup pencarian informasi mengenai komponen yang akan di analisa serta mengenai kegagalan yang telah terjadi pada komponen.

2. Studi literatur

Metode ini mencakup pengumpulan materi yang diperoleh dari buku – buku, jurnal – jurnal penelitian, dan referensi industri mengenai analisa kegagalan pada boiler untuk wall riser tube.

3. Pengujian

Metode ini mencakup pengujian – pengujian yang dilakukan di laboratorium untuk mendukung proses analisa sesuai dengan metode yang ada. Pengujian – pengujian tersebut diantaranya adalah pengujian penetrant dan pengujian tarik pada spesimen las pembanding serta pengujian metalografi dan pengujian kekerasan pada spesimen las yang gagal dan spesimen las pembanding.

### III. 3 Bahan Penelitian

Material uji yang digunakan pada penelitian ini adalah riser wall tube, yaitu ASTM SA210 Grade A1 sebagai base metal serta AWS E7016 sebagai elektroda dengan komposisi, desain kerja dan sifat mekanik sebagai berikut:



**Gambar 3.2** Komponen riser wall tube yang mengalami kerusakan

**Tabel 3.2** Komposisi ASTM A210 Grade A-1

Unsur	Komposisi (%)
Karbon (max)	0.27
Mangan (max)	0.93
Fosfor (max)	0.035
Silikon (min)	0.10
Sulfur (max)	0.035

(ASTM A 210/A 210M – 02)

**Tabel 3.3** Sifat mekanik ASTM A210 Grade A-1

Sifat Mekanik	Nilai
Kekuatan tensile, min, ksi [Mpa]	60 [415]
Kekuatan yield, min, ksi [Mpa]	37 [255]

(ASTM A 210/A 210M – 02)



**Tabel 3.4** Komposisi AWS E7016

Unsur	Komposisi (%)
Karbon (max)	0.12
Mangan (max)	1.60
Fosfor (max)	0.04
Silikon (max)	0.75
Sulfur (max)	0.035
Kromium (max)	0.20
Nikel (max)	0.30
Molidenum (max)	0.30
Vanadium (max)	0.08

(AWS E7016, Kobelco *Welding Handbook*)

**Tabel 3.5** Sifat mekanik AWS E7016

Sifat Mekanik	Nilai
Kekuatan tensile, min, [Mpa]	490
Kekuatan yield, min, [Mpa]	400

(AWS E7016, Kobelco *Welding Handbook*)

### III. 4 Peralatan dan Bahan

#### 4.1 Peralatan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Jangka sorong
2. Mesin potong
3. Mesin *grinding*
4. Alat kikir
5. Mesin polish
6. Kamera digital
7. Mikroskop optik



8. Mesin las SMAW
9. Mesin uji kekerasan
10. Mesin uji tarik
11. Mesin uji spektrometri
12. Mesin uji SEM
13. Mesin uji XRD

#### **4.3 Bahan - Bahan**

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Kertas gosok *Grade 80* sampai 2000
2. Larutan Nital
3. *Penetrant*
4. *Cleaner/remover*
5. *Developer*

### **III. 5 Tahapan Penelitian**

#### **5.1 Pengambilan Data**

Tahapan ini dilakukan dengan cara mengambil *riser wall tube* yang mengalami kegagalan di PT X. Selain itu, dilakukan juga pengambilan data mengenai *riser wall tube* tersebut. Data – data yang digunakan berupa dimensi pada *riser wall tube*, *desain riser wall tube*, material *riser wall tube* serta data operasional dan spesifikasi boiler. Data – data tersebut berguna sebagai pendukung pada analisa yang akan dilakukan.

#### **5.2 Preparasi Spesimen**

Tahapan ini perlu dilakukan agar dapat memudahkan proses pengujian. Yang dilakukan pada tahapan ini adalah pemotongan pada spesimen las yang gagal dengan dimensi yang lebih proporsional dan sesuai dengan dimensi yang diperlukan

---



untuk melakukan pengujian – pengujian selanjutnya. Kemudian dilakukan juga pembuatan spesimen las pembanding dengan prosedur sesuai dengan *welding specification procedure* yang sesuai.

### 5.3 Pengujian Penetrant

Pengujian penetrant dilakukan pada daerah las spesimen pembanding yang telah dibuat. Pengujian ini dilakukan dengan tujuan untuk mendeteksi adanya kerusakan atau diskontinuitas pada permukaan pada hasil las. Pengujian penetrant dilakukan dengan menggunakan penetrant SKL-SP2 dan developer SKD-S2 di Laboratorium Metalurgi Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS. Berikut merupakan penetrant SKL-SP2 dan developer SKD-S2.



**Gambar 3.2** Penetrant SKL-SP2



**Gambar 3.4** Developer SKD-S2

#### 5.4 Pengujian Tarik

Pengujian tarik dilakukan pada spesimen las pembanding yang telah dibuat dan dilakukan pengujian penetrant. Pengujian ini dilakukan dengan tujuan untuk memastikan apakah las yang dibentuk sudah dilakukan dengan baik atau tidak. Pengujian tarik dilakukan dengan menggunakan *universal tensile testing machine* di Laboratorium Beton dan Material Bangunan Jurusan Teknik Sipil FTSP – ITS. Berikut merupakan gambar mesin uji tarik *universal tensile testing machine*.



**Gambar 3.5** Universal Tensile Testing Machine

#### **5.4 Pengujian Metalografi**

Pengujian ini dilakukan dengan melakukan pengamatan pada struktur mikro spesimen dan dengan menggunakan alat bantu mikroskop optik yang selanjutnya dilakukan analisa fasa, bentuk serta ukuran butir struktur mikronya. Hal ini digunakan untuk mengetahui proses manufaktur yang terjadi pada material tersebut. Pengamatan metalografi dilakukan dengan menggunakan mikroskop optik *Olympus BX51M-RF* yang berada di Laboratorium Metalurgi Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS.



Berikut merupakan alat mikroskop optik *Olympus BX51M-RF*.



**Gambar 3.6** mikroskop optik *Olympus BX51M-RF*

Pengujian ini dilakukan baik pada spesimen las yang gagal maupun spesimen las pembanding yang selanjutnya akan dibandingkan hasil yang didapatkan pada kedua spesimen tersebut. Pada masing – masing spesimen, pengamatan metalografi dilakukan pada tiga daerah yaitu base metal, *heat affected zone* dan *weld metal*.

### **5.5 Pengujian Kekerasan**

Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui nilai kekerasan spesimen. Pengujian ini dilakukan baik pada spesimen las yang gagal maupun pada spesimen las pembanding yang selanjutnya akan dibandingkan hasil yang didapatkan pada kedua spesimen tersebut. Pada kedua spesimen, dilakukan indentasi di tiga daerah yang berbeda yaitu *base metal*, *heat affected zone* dan *weld metal*. Pengujian ini dilakukan dengan metode Vickers. Yang menggunakan indenter berupa piramida intan, dengan pembebanan



sebesar 30 kg dengan waktu indentasi selama 10 detik. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan Universal Hardness Tester HBRV 187.5A di Laboratorium Metalurgi, Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS



**Gambar 3.7** Universal Hardness Tester HBRV 187.5A

## 5.6 Pengujian SEM

Pengamatan dengan menggunakan mesin scanning electron microscope (SEM) bertujuan untuk menganalisa adanya porositas pada spesimen las yang mengalami kegagalan. Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Divisi Karakterisasi Material, Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS. Berikut merupakan gambar dari mesin SEM:



**Gambar 3.8** Mesin Uji SEM

### **5.7 Pengujian XRD**

Pengujian XRD dilakukan untuk mengamati adanya senyawa korosi pada spesimen las yang mengalami kegagalan. Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Divisi Karakterisasi Material, Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS dengan menggunakan PAN Analytical sesuai dengan gambar 3.9



**Gambar 3.9** Pan Analytical



### 5.8 Pengujian Spektrometri

Pengujian spektrometri adalah pengujian yang bertujuan untuk mengetahui komposisi kimia yang terdapat pada spesimen las yang mengalami kegagalan. Pada identifikasi komposisi kimia menggunakan alat OES (*Optical Emission Spectroscopy*).



**Gambar 3.9** Mesin Uji Spektrometri

## III.6 Rancangan Penelitian

**Tabel 3.6** Rancangan Penelitian

Spesimen	Uji Penetrant	Uji Tarik	Uji Metalografi	Uji Kekerasan	Uji SEM	Uji XRD	Uji Komposisi
Las yang gagal			✓	✓	✓	✓	✓
Pembanding	✓	✓	✓	✓			

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### IV.1 Pembuatan Spesimen Pemanding

Pembuatan spesimen pemanding dilakukan dengan menggunakan tube ASTM A210 Grade A-1 sebagai base metal sesuai dengan spesimen yang mengalami kegagalan dan juga digunakan AWS E7016 sebagai elektrodanya. Prosedur pengelasan dilakukan dengan metode *shielded metal arc welding* (SMAW) sesuai dengan *Welding Procedure Specification* dengan parameter sebagai berikut:

**Tabel 4.1** Parameter pengelasan

Arus	60 – 100 A (DC)
Tegangan	18 – 24 V
<i>Travel speed</i>	70 – 150 mm/min
Diameter filler	2.6 mm

Berikut merupakan spesimen las pemanding yang telah dibuat:

Sambungan Las

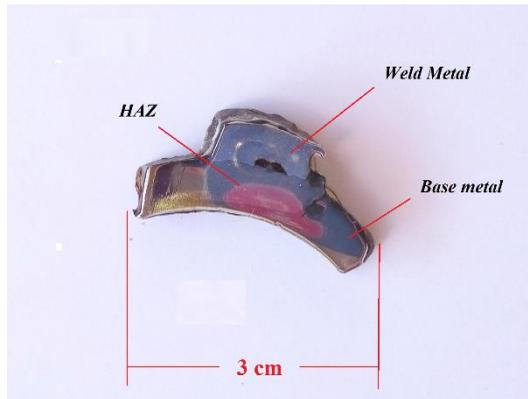


**Gambar 4.1** Spesimen las pemanding

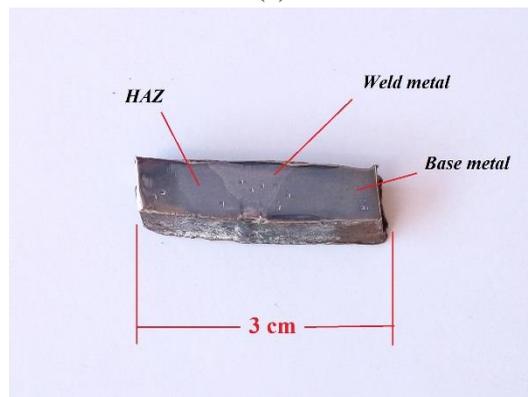


Laporan Tugas Akhir  
Fajar Adi Prasetya  
2712100023

---



(a)



(b)

**Gambar 4.2** Daerah weld metal, HAZ, dan base metal pada: (a) spesimen las yang mengalami kegagalan dan (b) spesimen las pembanding



## IV.2 Hasil Pengujian

### 2.1 Hasil Pengujian Spektrometri

Pengujian spektrometri dilakukan pada spesimen las yang mengalami kegagalan dan untuk mengetahui komposisi spesimen tersebut. Data ini berguna untuk mengetahui kecocokan komposisi pada *weld metal*, yaitu AWS E7016. Berikut merupakan hasil pengujian spektrometri:

**Tabel 4.2** Hasil Uji Spektrometri

Unsur	Kandungan (%)
Fe	<i>Balance</i>
C	0.11
Mn	1.58
Si	0.73
P	0.04
S	0.03
Cr	0.18
Mo	0.28
V	0.07
Ni	0.24

### 2.1 Hasil Pengujian *Penetrant*

Pengujian penetrant dilakukan pada spesimen las pembanding dan sebelum dilakukan spesimen telah dibentuk menjadi dua buah spesimen sesuai dengan ukuran standar pengujian tarik yaitu ASTM E8. Berikut merupakan gambar pada saat pengujian *penetrant* dengan memberikan penetrant yang dilakukan pada spesimen las pembanding:



Laporan Tugas Akhir  
Fajar Adi Prasetya  
2712100023



**Gambar 4.3** Pemberian *Penetrant*

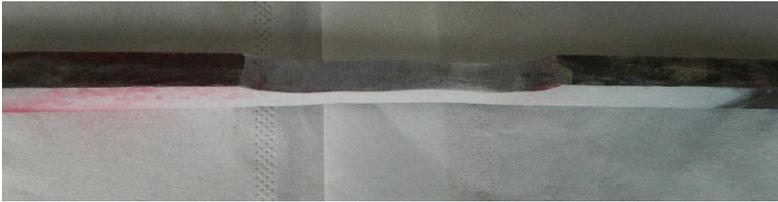
Setelah dilakukan pemberian penetrant pada spesimen dan didiamkan selama sepuluh menit, selanjutnya dilakukan pembersihan dengan menggunakan cleaner serta dilakukan pemberian developer. Berikut merupakan hasil dari pemberian developer pada kedua spesimen:



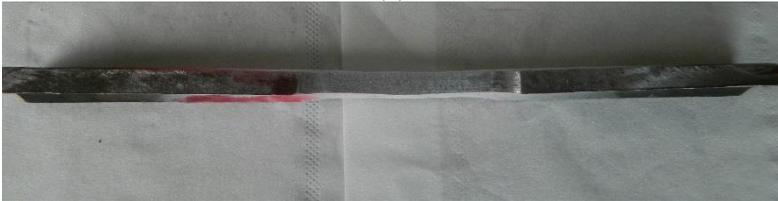
(a)



(b)



(c)



(d)

**Gambar 4.4** Hasil pengujian Penetrant pada spesimen 1 pada: (a) sisi belakang tube, (b) sisi depan tube, (c) sisi kiri spesimen dan (d) sisi kanan spesimen



(a)



(b)



(c)



(d)

**Gambar 4.5** Hasil pengujian Penetrant pada spesimen 2 pada: (a) sisi belakang tube, (b) sisi depan tube, (c) sisi kiri spesimen dan (d) sisi kanan spesimen

Setelah diberikannya developer pada kedua spesimen tidak didapatkan cacat permukaan pada bagian sambungan lasnya.

## 2.2 Hasil Pengujian Tarik

Pengujian tarik dilakukan pada spesimen las pembanding. Spesimen dibuat menjadi dua buah. Spesimen pertama dibuat sesuai dengan ukuran standar ASTM E8 dan spesimen kedua dibuat dengan dimensi yang hampir sama dengan standar ASTM E8 tetapi dengan lebar gage length sebesar 11 mm. Berikut merupakan gambar dari spesimen las pembanding yang telah dibentuk:



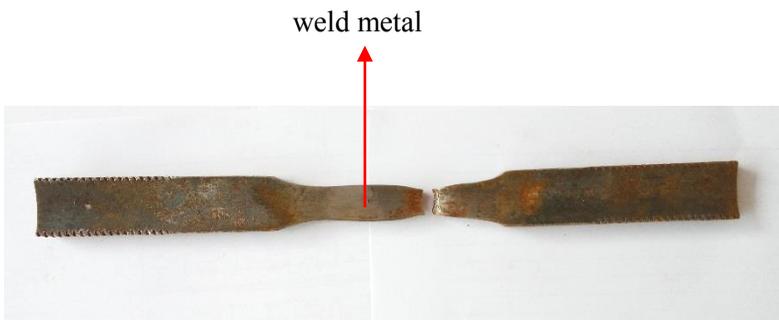
(a)



(b)

**Gambar 4.6** Spesimen las pembanding 1 (a) dan 2 (b) yang dibentuk untuk pengujian tarik

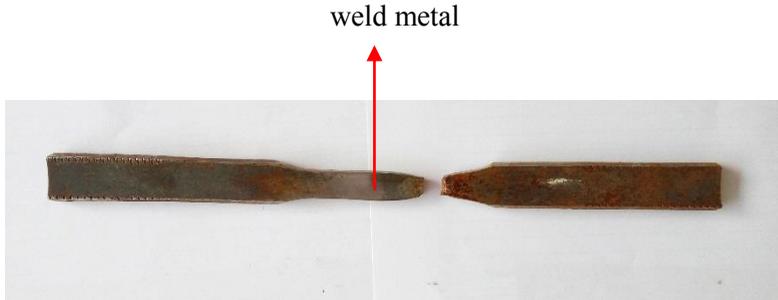
Hasil dari pengujian tarik didapatkan patahan yang terjadi pada base metal. Berikut merupakan hasil dari pengujian tarik:



(a)

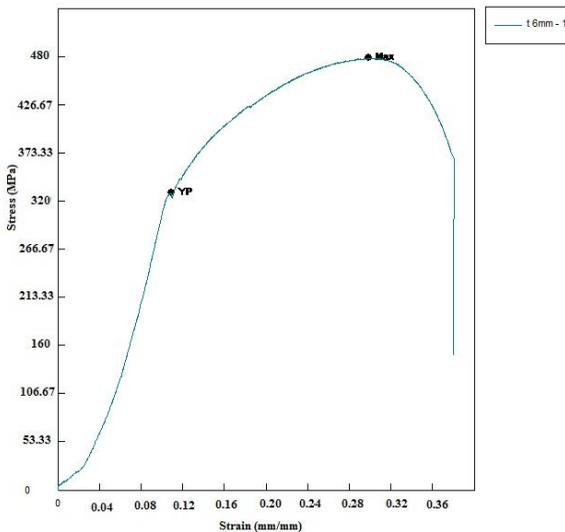


Laporan Tugas Akhir  
Fajar Adi Prasetya  
2712100023

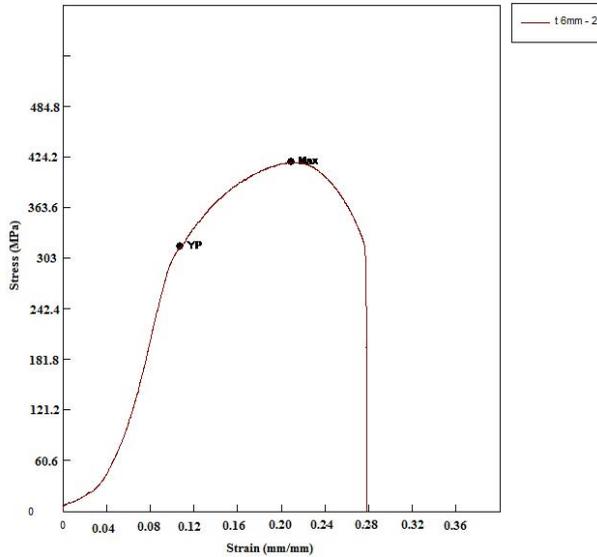


(b)

**Gambar 4.7** Hasil Pengujian Tarik pada: (a) Spesimen 1 dan (b) Spesimen 2



(a)



(b)

**Gambar 4.8** Kurva Hasil Pengujian Tarik pada (a) spesimen 1 dan (b) spesimen 2

**Tabel 4.3** Hasil Pengujian Tarik Spesimen 1 dan Spesimen 2

	Yield Point Force (N)	Yield Point Stress (N/mm <sup>2</sup> )	Max Force (N)	Max Stress (N/mm <sup>2</sup> )
Spesimen 1	24717.2	329.562	35920.3	478.937
Spesimen 2	20956.3	317.519	27654.7	419.01
Rata - rata	-	323.54	-	448.937

Dari hasil pengujian tarik didapatkan patahan yang terjadi pada base metal dan diperoleh nilai kekuatan luluh sebesar 329.562 MPa dan kekuatan tarik maksimum sebesar 478.937 MPa pada

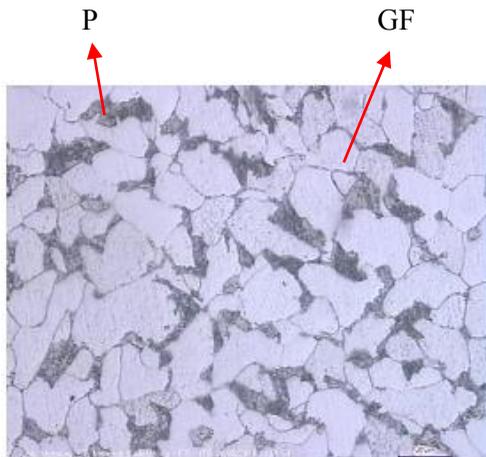


spesimen 1 serta nilai kekuatan luluh sebesar 317.519 MPa dan kekuatan tarik maksimum sebesar 419.01 MPa pada spesimen 2. Hasil rata – rata dari kedua spesimen didapatkan nilai kekuatan luluh sebesar 323.54 MPa dan nilai kekuatan maksimum sebesar 448.937 MPa.

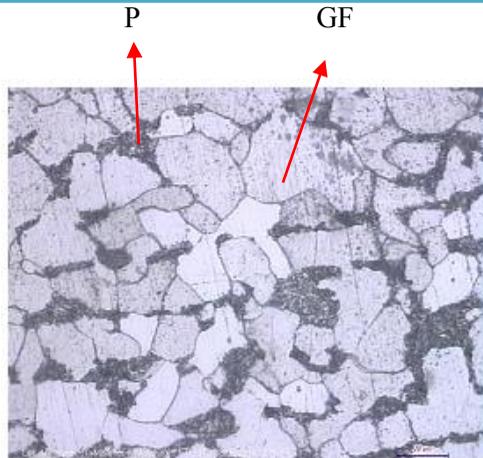
### 2.3 Hasil Pengujian Metalografi

Pengujian metalografi dilakukan untuk mengamati fasa pada kedua spesimen dengan menggunakan alat mikroskop optik. Pengujian struktur mikro ini disesuaikan dengan standar ASTM E3. Struktur mikro dapat diketahui dengan cara mengkorosikan batas butir spesimen dengan larutan etsa nital 2%.

Pengujian ini dilakukan pada spesimen las yang mengalami kegagalan dan juga spesimen las pembanding. Pada masing – masing spesimen dilakukan pengamatan pada daerah yang berbeda yaitu *base metal*, *heat affected zone* dan *weld metal*. Setelah dilakukan pengujian metalografi, didapatkan hasil sebagai berikut:

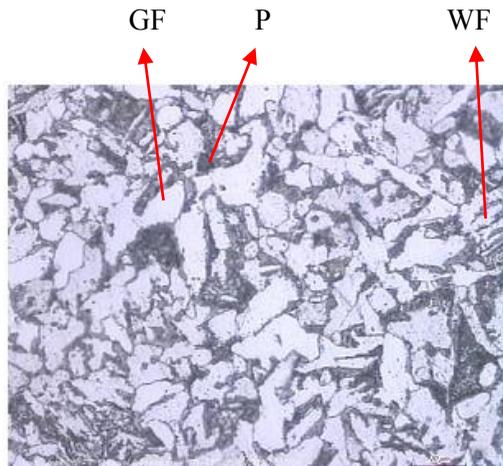


(a)

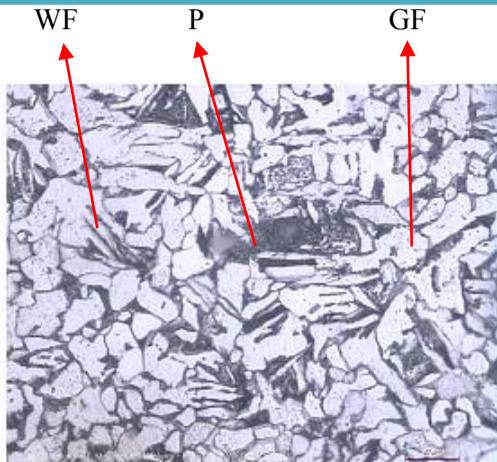


(b)

**Gambar 4.9** Struktur mikro base metal dengan perbesaran 500x pada: (a) spesimen las gagal dan (b) spesimen las pembeding

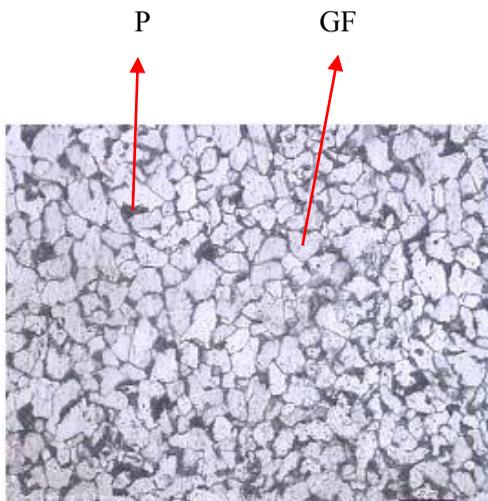


(a)

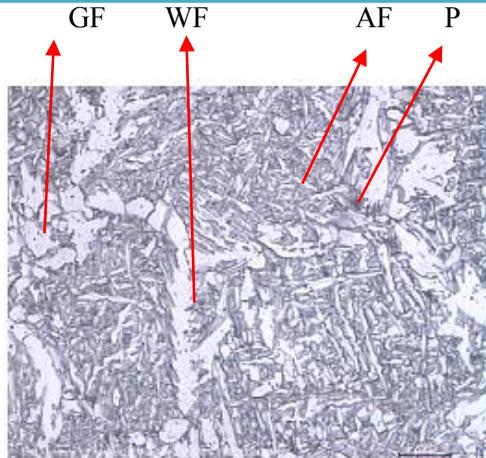


(b)

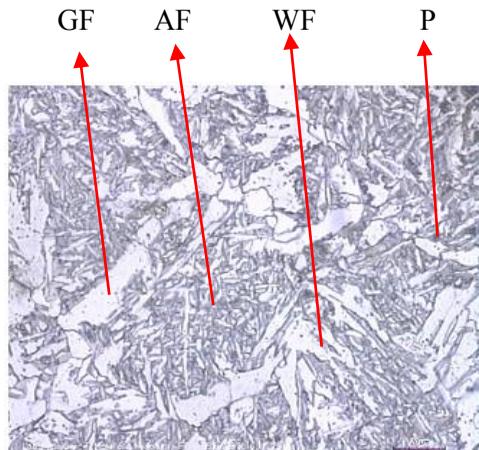
**Gambar 4.10** Struktur mikro HAZ dengan perbesaran 500x pada:  
(a) spesimen las yang gagal dan (b) spesimen las pembanding



(a)



(b)



(c)

**Gambar 4.11** Struktur mikro weld metal dengan perbesaran 500x pada: (a) spesimen las gagal, (b) spesimen las perbandingan dan (c) Spesimen las yang jauh dari lokasi kebocoran



Keterangan:

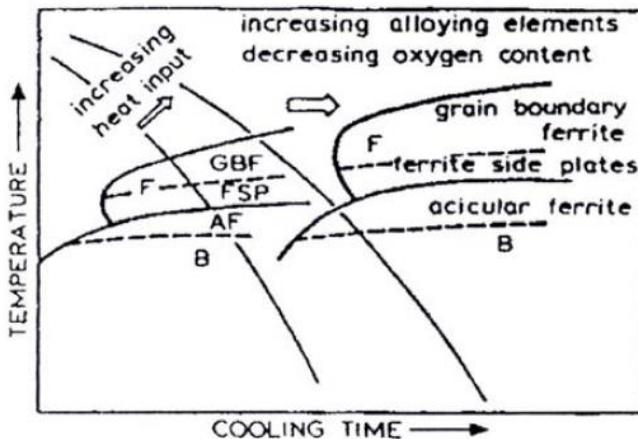
GF = *Grain boundary ferit*

WF = *Widmanstatten ferit*

AF = *Asikular ferit*

P = *Perlit*

Gambar 4.10 merupakan hasil pengujian metalografi yang didapatkan pada bagian *base metal* dari spesimen las yang mengalami kegagalan (a) dan *base metal* dari spesimen las pembanding (b). Baik *base metal* dari spesimen las yang mengalami kegagalan maupun *base metal* dari spesimen pembanding, keduanya menunjukkan fasa yang sama yaitu poligonal ferit dan perlit serta dengan ukuran butir yang hampir sama.



**Gambar 4.12** Diagram *continuous cooling transformation* (Messler Jr, 1999)



Gambar 4.11 merupakan hasil pengujian metalografi yang didapatkan pada bagian *heat affected zone* dari spesimen las yang mengalami kegagalan (a) dan base metal dari spesimen las pembanding (b). *Heat affected zone* mengalami perubahan fasa karena mendapat pengaruh panas dari daerah las. Sesuai dengan gambar 4.13 yaitu diagram *continuous cooling transformation*, hasil yang didapat dari kedua spesimen menunjukkan fasa yang sama yaitu *grain boundary* ferit, widmanstatten ferit dan perlit serta dengan ukuran butir yang hampir sama. Widmanstatten ferit terbentuk karena pada saat pendinginan laju pendinginan menyentuh garis terbentuknya fasa tersebut tetapi tidak mencapai fasa asikular ferit.

Gambar 4.12 merupakan hasil pengujian metalografi yang didapatkan pada bagian *weld metal* dari spesimen las yang mengalami kegagalan (a), spesimen las pembanding (b) dan spesimen las yang jauh dari lokasi kegagalan (c). Spesimen las pembanding dan spesimen las yang jauh dari lokasi kegagalan menunjukkan hasil yang sama yaitu *grain boundary* ferit, widmanstatten ferit, asikular ferit dan dengan sedikit perlit. Widmanstatten ferit terbentuk karena pada saat pendinginan kurva laju pendinginan menyentuh garis terbentuknya fasa tersebut dan seiring berlanjutnya pendinginan terbentuk juga fasa asikular ferit. Asikular ferit terbentuk karena pada saat pendinginan kurva pendinginan menyentuh garis terbentuknya fasa tersebut. Spesimen las yang mengalami kegagalan menunjukkan hasil yang berbeda dari kedua spesimen tersebut. Pada spesimen ini fasa yang dihasilkan berupa *grain boundary* ferit dan dengan sedikit perlit.

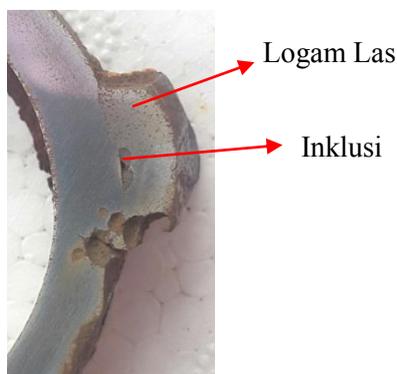


## 2.5 Hasil Pengujian Fraktografi



**Gambar 4.13** Potongan *tube* yang mengalami kebocoran

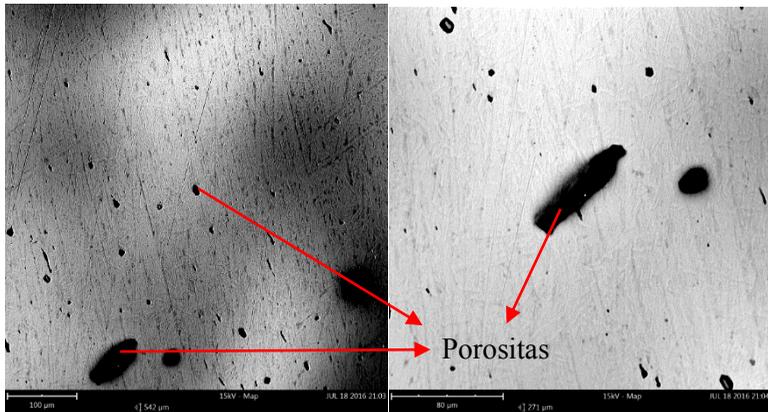
Dari hasil pengamatan visual secara makro menggunakan kamera pada *tube* yang mengalami kegagalan pada gambar 4.14, didapat gambar kerusakan yang terlihat. Kebocoran terjadi pada daerah las dan akibat dari kebocoran tersebut *tube boiler* di dekat daerah tersebut juga mengalami erosi karena adanya semburan gas.



**Gambar 4.14** Inklusi pada logam las



Gambar 4.15 menunjukkan adanya inklusi yang berada disambungan antara logam las dengan *base metal*.



**Gambar 4.15** Hasil Pengujian SEM dengan perbesaran sebesar 500x (gambar kiri) dan perbesaran sebesar 1000x (gambar kanan)

Pengamatan dengan menggunakan alat bantu mesin uji SEM juga dilakukan pada daerah las yang mengalami kegagalan guna mengetahui adanya porositas. Gambar 4.15 merupakan hasil dari uji SEM dan menunjukkan adanya porositas pada daerah tersebut.

## 2.4 Hasil Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui nilai kekerasan pada spesimen las yang mengalami kegagalan maupun spesimen las pembanding. Pengujian ini disesuaikan dengan standar uji kekerasan *Vickers* yaitu ASTM E92 dengan 3 titik indentasi yang dilakukan di daerah *base metal*, *heat affected zone* serta *weld metal* pada kedua spesimen dengan pembebanan sebesar



30-kgf selama 10 detik. Berikut merupakan hasil pengujian kekerasan yang ditampilkan pada table:

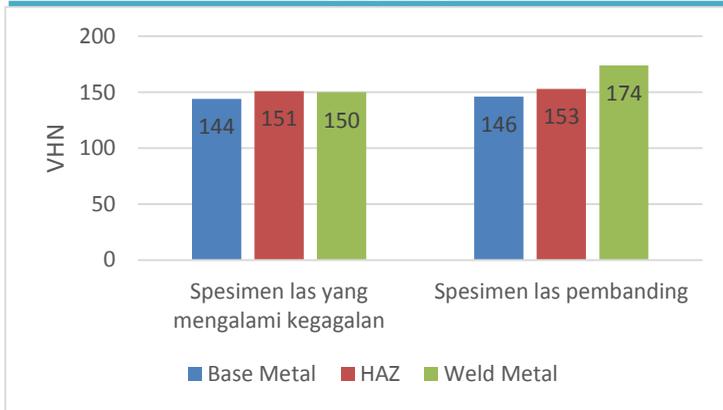
**Tabel 4.4** Distribusi Nilai Kekerasan Spesimen Las yang gagal

Daerah	Nilai Kekerasan (HV)	Rata – rata (HV)
<i>Base metal</i>	144	144
	146	
	142	
HAZ	153	151
	150	
	150	
<i>Weld metal</i>	148	150
	150	
	152	

**Tabel 4.5** Distribusi Nilai Kekerasan Spesimen Las Pemanding

Daerah	Nilai Kekerasan (HV)	Rata – rata (HV)
<i>Base metal</i>	144	146
	146	
	148	
HAZ	152	153
	154	
	153	
<i>Weld metal</i>	170	174
	175	
	177	

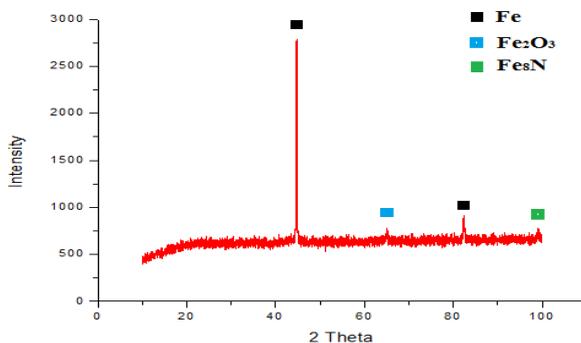
Untuk memperjelas distribusi kekerasan rata – rata pada kedua spesimen, berikut merupakan diagram yang menunjukkan nilai rata – rata kekerasan ketiga daerah (*base metal*, *heat affected zone*, dan *weld metal*) pada kedua spesimen:



**Gambar 4.16** Perbandingan distribusi nilai kekerasan rata – rata ketiga daerah (*base metal*, HAZ, dan *weld metal*) pada kedua spesimen

## 2.6 Hasil Pengujian XRD

Pengujian XRD dilakukan pada spesimen las yang mengalami kegagalan. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui adanya korosi pada spesimen tersebut. Berikut merupakan hasil dari pengujian XRD:



**Gambar 4.17** Hasil Pengujian XRD



Dari gambar 4.15 menunjukkan adanya unsur tunggal Fe, senyawa  $Fe_2O_3$  dan senyawa  $Fe_8N$ .

### IV.3 Pembahasan

Penelitian ini diawali dengan pembuatan spesimen las pembanding dengan menggunakan *welding procedure specification* yang sama sebagai acuan. Spesimen pembanding dibuat dengan *base metal* dan elektroda yang sama yaitu ASTM A210 Grade A-1 sebagai *base metal* dan AWS E7016 sebagai elektroda. Material ASTM A210 Grade A-1 memiliki nilai kekuatan luluh minimal sebesar 255 MPa dan kekuatan tarik minimal sebesar 415 MPa, sedangkan material AWS E7016 memiliki nilai kekuatan luluh minimal sebesar 400 MPa dan nilai kekuatan tarik minimal sebesar 490 MPa. Pemilihan AWS E7016 sebagai elektroda dirasa sudah benar karena elektroda harus memiliki nilai kekuatan yang lebih tinggi dari base metalnya.

Setelah spesimen las pembanding dibuat, kemudian spesimen dibentuk menjadi dua buah spesimen uji tarik dengan ukuran sesuai dengan standar ASTM E8. Pengujian pertama yang dilakukan adalah pengujian *penetrant*. Pengujian penetrant dilakukan di daerah las pada spesimen las pembanding untuk mengetahui apakah terjadi cacat permukaan atau tidak. Berdasarkan hasil yang didapat dari pengujian ini (gambar 4.4 dan gambar 4.5) kedua spesimen tidak ditemukan adanya cacat permukaan pada daerah las.

Pengujian spektrometri juga dilakukan untuk mengetahui komposisi pada spesimen las yang mengalami kegagalan. Sesuai dengan table 4.1, hasil dari pengujian spektrometri menunjukkan kesesuaian dengan komposisi pada material AWS E7016 sebagai



elektroda yaitu baja Karbon rendah dengan Mangan sebagai paduan utama

Pengujian selanjutnya adalah pengujian tarik. Pengujian tarik dilakukan pada spesimen las pembanding dengan tujuan untuk mengetahui apakah las pada spesimen pembanding telah terbuat dengan baik atau tidak. Pada gambar 4.8 ditunjukkan hasil dari pengujian tarik pada spesimen. Hasilnya adalah terjadi patahan pada daerah base metal. Dari pengujian *penetrant* dan pengujian tarik yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa spesimen las pembanding telah dibuat dengan baik karena tidak ditemukan cacat permukaan pada daerah lasnya serta dari hasil pengujian tarik menunjukkan patah yang terjadi di bagian base metal.

Pengujian metalografi juga dilakukan pada penelitian ini. Pengujian ini dilakukan untuk mengamati fasa pada spesimen las yang mengalami kegagalan, spesimen pembanding, dan spesimen las yang jauh dari lokasi kebocoran. Pengamatan dilakukan pada tiga daerah yang berbeda pada masing – masing spesimen, yaitu pada *base metal*, *heat affected zone*, dan *weld metal*. Berdasarkan hasil yang didapatkan pada gambar 4.10, Base metal pada kedua spesimen menunjukkan hasil yang sama, yaitu terdapatnya fasa *grain boundary* ferit dan perlit serta dengan ukuran butir yang hampir sama. Pada gambar 4.11 ditunjukkan hasil metalografi pada *heat affected zone* dari kedua spesimen. Kedua spesimen menunjukkan fasa yang sama yaitu *grain boundary* ferit, *widmanstatten* ferit, dan perlit serta dengan ukuran butir yang hampir sama. Karena adanya pengaruh panas pada saat pengelasan, bentuk butir pada daerah *heat affected zone* berbeda dengan bentuk butir dari base metal. Butir ferit yang didapat menunjukkan bentuk yang lebih kecil serta cenderung memanjang dan karena ada pengaruh panas juga menyebabkan munculnya *widmanstatten* ferit



pada daerah ini. Daerah *weld metal*, sesuai dengan gambar 4.12, pada spesimen las pembanding dan spesimen las yang jauh dari lokasi kebocoran menunjukkan hasil yang sama tetapi terdapat perbedaan dengan spesimen las yang mengalami kegagalan. Didapatkan fasa poligonal ferit dengan sedikit perlit pada spesimen las yang mengalami kegagalan serta pada spesimen las pembanding dan spesimen las yang jauh dari lokasi kebocoran menunjukkan fasa *grain boundary*, widmanstatten ferit, asikular ferit dan sedikit perlit. Berdasarkan hasil yang didapatkan dari pengujian metalografi, perbedaan yang signifikan hanya terdapat pada daerah *weld metal* sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa ada kesalahan pada daerah ini.

Pengujian selanjutnya adalah pengujian kekerasan. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui nilai kekerasan dari kedua spesimen dan juga berguna untuk mendapatkan nilai kekuatan pada daerah las dari kedua spesimen. Sesuai dengan kurva pada gambar 4.13, distribusi nilai kekerasan rata – rata yang didapat pada daerah *base metal*, *heat affected zone*, dan *weld metal* secara berturut – turut pada spesimen las yang mengalami kegagalan adalah 144 HV, 151 HV, dan 150 HV. Sedangkan distribusi nilai kekerasan rata – rata yang didapat pada daerah *base metal*, *heat affected zone*, dan *weld metal* secara berturut – turut pada spesimen las pembanding adalah 146 HV, 153 HV, dan 174 HV. Dari kedua spesimen, nilai kekerasan pada *heat affected zone* lebih tinggi dibandingkan dengan nilai kekerasan pada *base metal*, hal ini dikarenakan adanya widmanstatten ferit yang lebih keras. Daerah *weld metal* merupakan daerah dengan nilai kekerasan yang paling tinggi karena adanya asikular ferit yang bersifat lebih keras. Berdasarkan data yang diperoleh, nilai kekerasan yang berbeda signifikan hanya pada daerah *weld metal*, yaitu 150 HV pada

---



spesimen las yang mengalami kegagalan dan 174 HV pada spesimen las pembanding. Hal ini juga didukung dari hasil pengujian metalografi pada daerah weld metal dengan didapatkannya fasa asikular ferit pada spesimen pembanding karena sifatnya yang lebih keras dan kuat. Jika dikonversi menjadi nilai kekuatan, pada spesimen las yang mengalami kegagalan diperoleh nilai kekuatan sebesar 479 MPa, sedangkan pada spesimen las pembanding diperoleh nilai kekuatan sebesar 550 MPa. Standar AWS E7016 memiliki nilai kekuatan minimal sebesar 490 MPa sehingga spesimen las yang gagal tidak memenuhi standar minimal kekuatannya dan spesimen las pembanding memiliki nilai kekuatan yang lebih dari standar.

Pengamatan fraktografi juga dilakukan pada spesimen las yang mengalami kegagalan. Pada gambar 4.14 menunjukkan adanya inklusi pada bagian antara logam las dengan *base metal* serta pada gambar 4.15 menunjukkan adanya porositas yang terbentuk pada logam las. Inklusi dan porositas terbentuk karena adanya kesalahan dalam proses las. Inklusi merupakan pengotor yang masuk kedalam *weld pool* dan porositas merupakan adanya rongga kosong pada *weld pool* karena adanya udara yang terperangkap. Baik inklusi maupun porositas, keduanya dapat menurunkan kualitas dari hasil las.

Pengujian yang terakhir adalah pengujian XRD. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui adanya senyawa korosi pada spesimen las yang mengalami kegagalan. Gambar 4.15 menunjukkan hasil pengujian XRD pada spesimen tersebut dan didapatkan adanya unsur tunggal Fe dan senyawa  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  serta  $\text{Fe}_3\text{N}$ . Dengan adanya unsur tunggal Fe menunjukkan adanya korosi. Produk korosi yang terbentuk adalah  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dan  $\text{Fe}_3\text{N}$ .  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  terbentuk karena Fe pada daerah las bereaksi dengan  $\text{H}_2\text{O}(g)$



dari hasil pemanasan *feedwater*.  $Fe_8N$  terbentuk akibat Fe pada daerah las bereaksi dengan  $NO_x$  dari emisi pembakaran batubara. Dengan terbentuknya dua senyawa korosi ini mengakibatkan berkurangnya kualitas pada lasan tersebut.

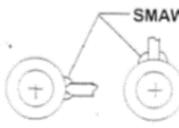
Berdasarkan pengujian – pengujian yang telah dilakukan, didapatkan hasil yang berbeda pada *weld metal* spesimen las yang mengalami kegagalan jika dibanding dengan spesimen pembanding. Pada hasil metalografi menunjukkan kesamaan pada spesimen las pembanding dan spesimen las yang jauh dari lokasi kebocoran tetapi terdapat perbedaan dengan spesimen las yang mengalami kegagalan, yaitu didapati butiran yang lebih besar pada spesimen las yang mengalami kegagalan. Hal ini dipengaruhi oleh *heat input* pada proses pengelasan. Heat input yang kurang menyebabkan ukuran butiran hasil las menjadi lebih besar sehingga memiliki kekuatan yang lebih rendah. Sehingga dapat disimpulkan bahwa terjadi kesalahan proses pengelasan pada spesimen las yang mengalami kegagalan. Spesimen las pembanding yang dibuat juga dapat direkomendasikan untuk proses pengelasan yang benar.

# LAMPIRAN

## A. Welding Procedure Specification

WPS No.	<u>A-10-1-865</u>	Rev. No.	<u>A</u>	Date	<u>Nov. 24, 2003</u>
PQR No.	HPR- <u>10-21-13</u>	Typ. s)	<input checked="" type="checkbox"/> Manual	<input type="checkbox"/> Machine	
	HPR- _____		<input type="checkbox"/> Automatic		
Welding Process (es)	<u>SMAW</u>		<input type="checkbox"/> Semiautomatic		

<b>JOINTS (QW-402)</b>		
Joint Design	<u>FILLET, FILLET GROOVE</u>	
Backing	<u>YES</u>	
Retainer	<u>NONE</u>	
Backing or Retainer Type	<u>BASE METAL</u>	
Others	<u>ROOT SPACING</u>	
<u>Refer to Fabrication Drawing</u>		

\* Detail of joints and dimensions are shown in drawing.

<b>BASE METALS (QW-403)</b>			
P No.	<u>1</u>	Gr. No.	<u>1</u> to P No. <u>1</u> Gr. No. <u>1</u>
Base Metal Specification	<u>SA178A / STB340, SA-36 / SA210A-1</u>		Others <u>T Limit Impact - N/A</u>
Base Metal Thickness Range	<u>1.6 - 14.2</u> mm.	<u>T/t limits &gt; 8 in. - NONE</u>	
t pass greater than 1/2 in.	<u>NONE</u>	<u>P-No. 5/9/10 - N/A</u>	

<b>FILLER METALS (QW-404)</b>			
Process:	<u>SMAW</u>	Process:	_____
Process:	_____	Process:	_____
Weld Metal Thickness Range	<u>Max. 9.2</u> mm.	_____	_____
A No.	<u>1</u>	_____	_____
F No.	<u>4</u>	_____	_____
Spec no. SFA	<u>5.1</u>	_____	_____
AWS No.	<u>E7016</u>	_____	_____
Electrode Flux Class	<u>N/A</u>	_____	_____
Consumable Insert	<u>N/A</u>	_____	_____
Filler Metal Product Form	<u>N/A</u>	_____	_____
Supplementary Filler Metal	<u>N/A</u>	_____	_____
Size / Diameter	<u>2.6, 3.2</u>	_____	_____
Others	<u>N/A</u>	<u>N/A</u>	_____

<b>POSITIONS (QW-405)</b>			
Position of Groove	<input checked="" type="checkbox"/> F	<input type="checkbox"/> H	<input checked="" type="checkbox"/> V
	<input type="checkbox"/> F	<input type="checkbox"/> H	<input type="checkbox"/> V
Others	_____	_____	_____
			For : <u>SMAW</u>
			For : <u>-</u>

<b>PREHEAT (QW-406)</b>	
Preheat Temperature	Min. <u>-</u> °C
Interpass Temperature	Max. <u>-</u> °C
Others	<u>Preheat Maintenance - NO</u>

<b>POSTWELD HEAT TREATMENT (QW-407)</b>	
Temperature Range	<u>-</u> °C
Time Range	<u>-</u> h
Others	<u>-</u>

<i>GAS (QW-408)</i>			
	Gas	Composition, (%)	Flow Rate
Shielding Gas	<u>N/A</u>	<u>N/A</u>	<u>N/A</u> l/min.
Gas Backing	<u>N/A</u>	<u>N/A</u>	<u>N/A</u> l/min.
Trailing Shielding Gas	<u>N/A</u>	<u>N/A</u>	<u>N/A</u> l/min.
Orifice Gas	<u>N/A</u>	<u>N/A</u>	<u>N/A</u> l/min.
Others	<u>-</u>	<u>-</u>	<u>-</u>

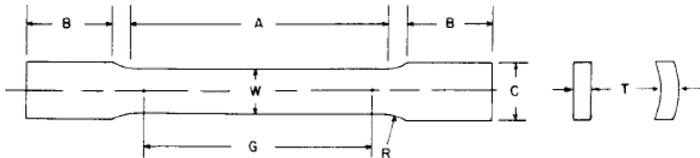
<i>ELECTRICAL CHARACTERISTICS (QW-409)</i>			
Current	<input type="checkbox"/> AC <input checked="" type="checkbox"/> DC	Polarity	<input checked="" type="checkbox"/> RP <input type="checkbox"/> SP
Pulsating Current	<u>N/A</u>	For Impact Test requirement	Qualified Max. Heat Input <u>-</u>
For GTAW and PAW Tungsten Electrode ( 2% Thoriated)		Others	<u>-</u>
Size and Type	<u>N/A</u> mm.	For GMAW (Type of Arc)	<u>-</u>
	<input type="checkbox"/> Globular <input type="checkbox"/> Spray <input type="checkbox"/> Pulsating <input type="checkbox"/> Short Circuiting		

<i>TECHNIQUE (QW-410)</i>			
Bead Technique	<u>STRING, WEAVE</u>	Initial and Interpass	<u>BRUSHING</u>
Method of Back Gouging	<u>NO</u>	Cleaning	<u>GRINDING</u>
Orifice Gas Cup Size	<u>N/A</u> mm.	Contact Tube to Work Distance	<u>N/A</u> mm.
Oscillation	<u>N/A</u>	Layer or Corrosion Resistant Overlay	
Frequency	<u>N/A</u> CPM	Cladding	<u>N/A</u>
Width	<u>N/A</u> mm.	Paw Technique	<u>N/A</u>
Dwell Time	<u>N/A</u> s.	Peening	<u>NO</u>
Multiple or Single Pass	<u>MULTIPASS</u>	Others	<u>-</u>
Multiple or Single Electrode	<u>SINGLE</u>		<u>-</u>
For SAW and ESW			<u>-</u>
Corrosion Resistant Overlay Supplementary Device	<u>-</u>		<u>-</u>

<i>Detail of Welding Parameters</i>							
Layer	Welding Process	Trade Name of Filler / Flux	Size of Filler	Amperage Range (A)	Voltage Range (V)	Travel Speed Range (mm/min.)	Welder Qualification
First & Over	SMAW	LB-26 or KH-500L F	Ø2.6 Ø3.2	60 - 100 90 - 145	18 - 24 19 - 25	70 - 150 100-180	416-01S or 416-02S

Remarks / Notes

## B. Standar Ukuran Pengujian Tarik ASTM E8



Specimen 1	
mm [in.]	
G—Gage length	50.0 ± 0.1 [2.000 ± 0.005]
W—Width (Note 1)	12.5 ± 0.2 [0.500 ± 0.010]
T—Thickness	
R—Radius of fillet, min	12.5 [0.5]
A—Length of reduced section, min	60 [2.25]
B—Length of grip section, min (Note 2)	75 [3]
C—Width of grip section, approximate (Note 3)	20 [0.75]

## C. Tabel Konversi Hardness to Strength

Vickers Hardness (HV)	Tensile Strength (MPa)
196	632
188	602
180	556
174	540
163	525
156	494
150	479

(mdmetric.com)

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **V.1 Kesimpulan**

Berdasarkan data dan hasil pengujian yang telah dilakukan pada analisa kegagalan ini dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Faktor utama penyebab kegagalan pada hanger tube outlet section secondary superheater adalah karena adanya kesalahan saat proses pengelasan.
2. Mekanisme terjadinya kebocoran ini yaitu dipicu dengan tidak sesuai nya spesifikasi las yang terbentuk dengan standar pengelasan sehingga terjadi kebocoran. Dari hasil pengujian metalografi, pada spesimen las yang mengalami kegagalan didapatkan fasa *grain boundary* ferit dan perlit, sedangkan pada spesimen las pembanding didapatkan fasa *grain boundary* ferit, widmanstatten ferit, asikular ferit dan dengan sedikit perlit. Didapatkan juga senyawa korosi, inklusi, dan porositas pada daerah las yang menyebabkan kualitas las menjadi tidak maksimal.
3. Spesimen las pembanding yang dibuat dapat dijadikan acuan dalam proses pengelasan yang seharusnya.

#### **V.2 Saran**

Saran yang dapat diberikan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Proses pengelasan harus dilakukan sesuai dengan standar atau *welding procedure specification* yang ada.
2. Pengelas harus memiliki kemampuan yang baik.



*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR PUSTAKA

- \_\_\_\_\_. 1998. *Steam Generation*. Charlotte: The Babcock & Wilcox Company.
- \_\_\_\_\_. 1998. *Manufacturing*. Charlotte: The Babcock & Wilcox Company.
- \_\_\_\_\_. 2002. *ASTM A 210/A 210 M Standard Specification for Seamless Medium Carbon Steel Boiler and Super Heater Tubes*. USA. ASTM International.
- \_\_\_\_\_. 2007. *Collection and Exchange of Reliability and Maintenance Data for Equipment, First Edition (Identical to ISO 14224)*. American Petroleum Institute.
- \_\_\_\_\_. 2008. *Kobelco Welding Handbook*
- Brook, C. R. & Choudhury, A., 2002. *Failure Analysis of Engineering Materials*. New York: McGraw Hills.
- Choundhury, Shivaji. 2011. *Common Weld Defects in Power Plants*. India: GMR Kamalanga Energy Limited
- Connor L.P. 1987. *Welding Handbook*. Miami: American Welding Society
- Luo, Xiaoling & Zhang, Zhi. 2013. *Leakage Failue Analysis in a Power Plant Boiler*. Qingdao University of Science and Technology.
- Heseltn, Kenneth. 2014. *Boiler Operator's Handbook 2<sup>nd</sup> Edition*. Indian Trail: The Fairmont Press Inc.

Messler, Jr. *Principles of Welding*. New York: John Wiley & Sons, Inc.

Heselton, Ken. 2014. *Boiler Operator's Handbook 2<sup>nd</sup> Edition*. Lilburn: The Fairmont Press, Inc.

Callister Jr., William. 2007. *Material Science and Engineering An Introduction*. New York: John Wiley & Sons, Inc.

## BIODATA PENULIS



Penulis yang bernama Fajar Adi Prasetya dilahirkan di Tegal pada tanggal 29 Desember 1994. Penulis merupakan anak kedua dari dua bersaudara dari orang tua Bapak Yuwono Hartono dan Ibu Khoridah. Penulis menempuh pendidikan formal di TK Riyadhul Al-Muhajirin Tangerang, SDN Taman Cibodas Tangerang, SMPN 2 Tangerang, dan SMAN 2 Tangerang. Kemudian penulis melanjutkan ke jenjang yang lebih tinggi di jurusan Teknik

Material dan Metalurgi di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya pada tahun 2012 dan terdaftar dengan NRP 2712 100 025.

Di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi, penulis mengambil bidang Korosi dan Analisis Kegagalan sebagai penelitian pada tugas akhir. Selama perkuliahan, penulis aktif berorganisasi di Himpunan Mahasiswa Teknik Material dan Metalurgi (HMMT) FTI-ITS sebagai Staff Divisi Olahraga pada periode 2013/2014, dan di Dewan Perwakilan Mahasiswa (DPM) FTI ITS sebagai anggota komisi I pada periode 2014/2015.

Penulis juga pernah melaksanakan Kerja Praktik di PT. GMF AeroAsia dengan topik penelitian mengenai analisa pengaruh tebal Ni-5Al sebagai coating material terhadap kekuatan lekat pada baja AISI 321 sebagai *base metal*.

Selesaiannya tugas akhir ini mengantarkan penulis meraih gelar Sarjana Teknik (S.T.) Jurusan Teknik Material dan Metalurgi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.