



TUGAS AKHIR - TL 141584

**ANALISA KEGAGALAN PADA *HANGER TUBE*
OUTLET SECTION SECONDARY
SUPERHEATER BOILER PIPA AIR TIPE IHI-FW
SR 643000 KG/JAM**

GABRIELL ASPRILLA HARTONO
NRP 2712 100 023

Dosen Pembimbing
Prof. Dr. Ir. Sulistijono, DEA
Budi Agung Kurniawan, ST., M.Sc

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



FINAL PROJECT - TL 141584

**FAILURE ANALYSIS OF HANGER TUBE
OUTLET SECTION SECONDARY
SUPERHEATER BOILER WATER TUBE
TYPE IHI-FW SR 643000 KG/HOURS**

GABRIELL ASPRILLA HARTONO
NRP 2712 100 023

Advisor
Prof. Dr. Ir. Sulistijono, DEA
Budi Agung Kurniawan, ST., M.Sc

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

**ANALISA KEGAGALAN PADA HANGER TUBE OUTLET
SECTION SECONDARY SUPERHEATER BOILER PIPA
AIR TIPE IHI-FW SR 643000 KG/JAM**

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada

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

Oleh :

GABRIELL ASPRILLA HARTONO

NRP. 2712 100 023

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Prof. Dr. Ir. Sulistijono, DEA.....(Pembimbing I)
2. Budi Agung Kurniawan, ST., M.Sc.....(Pembimbing II)



**ANALISA KEGAGALAN PADA HANGER TUBE OUTLET
SECTION SECONDARY SUPERHEATER BOILER PIPA
AIR TIPE IHI-FW SR 643000 KG/JAM**

Nama : Gabriell Asprilla Hartono
NRP : 2712100023
Jurusan : Teknik Material dan Metalurgi, ITS
Dosen Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Sulistijono, DEA
Budi Agung Kurniawan, ST., M.Sc

Abstrak

Hanger tube outlet section secondary superheater merupakan salah satu peralatan vital yang dimiliki oleh PLTU PT. PJB UP. Gresik dimana memiliki fungsi menghasilkan uap yang benar-benar kering yang digunakan memutar turbin. Komponen ini tiba-tiba mengalami kegagalan (pecah) pada saat proses start up akibat terbentuknya lapisan uap tipis yang mempunyai konduktivitas panas rendah. Hal ini dikarenakan tube selama 4 hari tidak beroperasi dan kemudian tube dikenai flux panas yang besar. Untuk itu perlu dilakukan analisa kegagalan pada hanger tube outlet section secondary superheater agar tidak terjadi kegagalan yang serupa. Beberapa pengujian dilakukan untuk mendukung hasil analisa. Hasil pengujian komposisi kimia menunjukkan terdapat unsur kimia yang tidak sesuai dengan standar ASTM A213 T22 yaitu kromium dan molybdenum. Hasil pengamatan visual menunjukkan hanger tube outlet section secondary superheater terjadi mulut ikan (fish mouth effect) dan secara makroskopik terlihat patah getas. Hasil pengujian metalografi menunjukkan adanya spheroid pada batas butir yang dapat menyebabkan penurunan sifat mekanis. Hasil pengujian kekerasan menunjukkan nilai kekerasan pada daerah jauh dari pecah memiliki nilai kekerasan yang lebih tinggi daripada daerah yang dekat dari pecah yaitu di tepi dalam, tengah, dan tepi luar secara berturut-turut yaitu 162,0523 VHN, 182,9883 VHN, 144,0677 VHN sehingga mengindikasikan telah

terjadi long term overheating. Hasil analisa rietviold menunjukkan bahwa adanya peningkatan tegangan dan regangan sisa pada daerah dekat dari pecah yaitu dengan besar regangan sisa 0,79168 dan besar tegangan sisa sebesar 162,2944 GPa sehingga menyebabkan tube mengalami kegagalan atau pecah. Dari hasil pengujian tersebut dapat kita ketahui bahwa terjadi stress rupture pada komponen yang dikarenakan adanya long term overheating serta creep pada temperatur tinggi. Dimana long term overheating ini dipicu dengan adanya kenaikan temperatur secara perlahan pada material yang menyebabkan adanya uap tipis pada tube yang mempunyai konduktivitas yang rendah sehingga menyebabkan tube mengalami kegagalan atau pecah

Kata kunci:hanger tube outlet section secondary superheater, boiler, pecah

FAILURE ANALYSIS OF HANGER TUBE OUTLET SECTION SECONDARY SUPERHEATER BOILER WATER TUBE TYPE IHI-FW SR 643000 KG/HOURS

Name : Gabriell Asprilla Hartono
SRN : 2712100023
Major : Teknik Material dan Metalurgi, ITS
Advisor : Prof. Dr. Ir. Sulistijono, DEA
Budi Agung Kurniawan, ST., M.Sc

Abstract

Hanger tube secondary superheater outlet section is one of the vital equipment plant owned by PT. PJB UP. Gresik which has the function of generating steam that is completely dry which is used rotate the turbine. This component sudden failure (rupture) during the start-up process as a result of the formation of a thin vapor layer which has a low thermal conductivity. This is because the tube for 4 days is not operating, and then the tube subjected to large heat flux. It is necessary for failure analysis on the tube hanger secondary superheater outlet section in order to avoid a similar failure. Some testing was done to support the results of the analysis. The test results show the chemical composition of chemical elements that are not in accordance with ASTM A213 T22 namely chromium and molybdenum. Results showed visual observation tube hanger secondary superheater outlet section occurs mouth fish effect and macroscopically visible brittle fracture. Metallographic test results showed that the spheroid at grain boundaries which can cause a decrease in mechanical properties. Hardness test results show the value of hardness in the area away from the rupture has a higher hardness values than the immediate area of the rupture is on the edge, middle, and outer edge respectively which VHN 162.0523, 182.9883 VHN, 144, 0677 VHN that indicates there has been a long term overheating. Rietveld analysis results showed that an increase in residual stress and strain on the area close to the

rupture is large and a large residual strain 0.79168 residual stresses at 162.2944 GPa, causing tube failure or breakage. From the test results we can know that there is a rupture stress on the components due to overheating and long term creep at elevated temperatures. Where long term overheating triggered by the gradual rise in temperature in the material causes the vapor thin tube that has a low conductivity, causing tube failure or rupture.

Keyword: hanger tube outlet section secondary superheater, boiler, rupture

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yesus Kristus karena berkat dan karunianya, penulis senantiasa diberikan kesehatan dan kemudahan sehingga dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir yang berjudul : **Analisa Kegagalan Pada Hanger Tube Outlet Section Secondary Superheater Boiler Pipa Air Tipe IHI-FW SR 643000 Kg/Jam.**

Penelitian ini menjelaskan tentang menganalisa faktor-faktor penyebab terjadinya kegagalan serta menganalisa mekanisme terjadinya kegagalan pada *hanger tube outlet section secondary superheater* dengan melakukan beberapa pengujian yaitu uji spektrometri, uji makroskopik, uji metalografi, uji hardness, dan uji XRD. Dari hasil pengujian ini menunjukkan Faktor utama penyebab kegagalan pada *hanger tube outlet section secondary superheater* adalah adanya *long term overheating* dan *creep* pada temperatur tinggi. Sehingga pada saat terbentuk uap tipis pada dinding *tube* saat proses *start up* menyebabkan temperatur di dinding *tube* menjadi tinggi. Dimana uap ini mempunyai konduktivitas yang rendah sehingga dapat menyebabkan *tube* mengalami kegagalan atau pecah.

Penulis mengharapkan agar buku ini dapat menambah wawasan bagi pembaca terutama dalam bidang analisa kegagalan. Penulis menyadari adanya kekurangan dalam penyusunan laporan Tugas Akhir ini. Semoga tulisan ini dapat bermanfaat bagi banyak pihak.

Surabaya, Januari 2016

Penulis

UCAPAN TERIMAKASIH

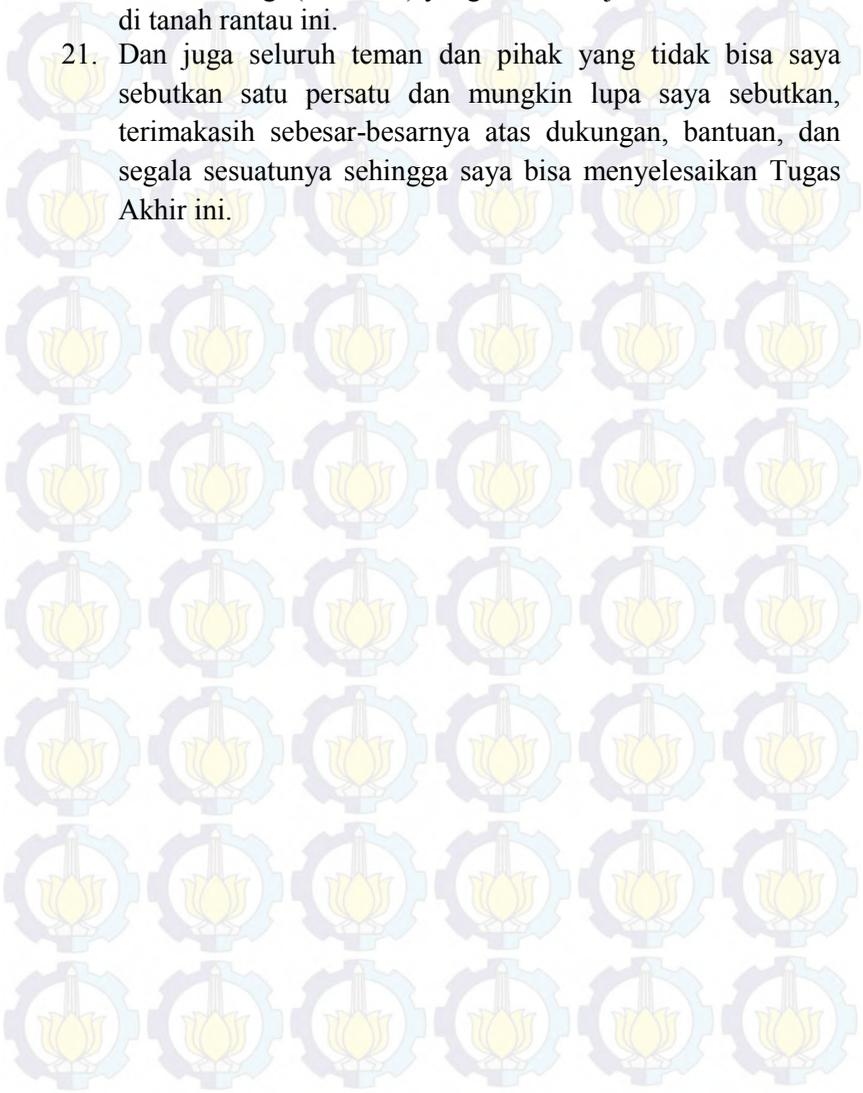
Pada pengerjaan tugas akhir ini penulis banyak mendapat bantuan dari berbagai pihak, pada kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada:

1. Tuhan Yesus Kristus yang karena berkat dan anugerah-Nya dalam kehidupan ini sehingga laporan Tugas Akhir ini dapat diselesaikan.
2. Prof. Dr. Ir. Sulistijono, DEA selaku dosen pembimbing dan Budi Agung Kurniawan, S.T., M.Sc. selaku co dosen pembimbing yang selalu membimbing dalam proses pengerjaan Tugas Akhir dan memberikan bekal yang sangat bermanfaat.
3. Pak M. Akhidin selaku pembimbing dari PT. PJB UP. Gresik yang telah banyak membantu dalam pengambilan spesimen dan tempat mengadu ketika lelah dengan tugas akhir ini. Terima kasih banyak atas bantuannya.
4. Bapak Rudi Hartono dan Ibu Kusmiarini yang selalu memberikan semangat dan doa.
5. Adek saya Nazareth Gede Restoct Natali Hartono dan Getsemani Adi Bagus Maranata Hartono yang selalu menghibur dalam suka dan duka.
6. Nico Bagus Putranto selaku partner TA dadakan yang sangat membantu dalam prepassi dan pengujian spesimen.
7. Ruth Yuliana Palupi, Lita Nurricha Wahyuni, Rostarina Anggraini, Nabella Nurull Aini, Nur Aini yang selalu membuat hari-hari menjalani TA lebih berwarna. Mulai dari tawa, suka, dan duka kita lewati bersama. See you on top, guys! Semoga persahabatan kita tidak akan berhenti sampai disini.
8. Mas Budiana dan mbak Fitriana dari Jurusan Fisika yang telah memberikan pelajaran mengenai *software* Rietica dan MAUD.
9. Mas M. Nurus Shobah yang telah membantu untuk melakukan pengujian OES di PT. Barata Indonesia.

10. Ir. Moh. Farid, DEA selaku ketua laboratorium manufaktur dan Dr. Agung Purniawan, S.T., M.Eng selaku ketua laboratorium metalurgi yang telah memberikan izin untuk menggunakan laboratorium.
11. Moh. Abd. Chanan, S.T dan Sutari yang telah membantu dalam peminjaman alat-alat laboratorium.
12. Dr. Agung Purniawan, S.T., M.Eng selaku ketua Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS
13. Sutarsis, S.T., M.Sc selaku dosen wali selama menjadi mahasiswa Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS.
14. Bapak dan Ibu dosen pengajar serta penguji TA di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS atas semua ilmu yang telah diberikan
15. Seluruh karyawan Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS yang telah banyak membantu.
16. Mbak Lisa Diah Rahayu, temen dari Jombang, temen Kerja Praktik, temen sekamar Kerja Praktik, terimakasih sudah memberikan kasih sayang dan tulus cinta kepada seorang adek seperti saya. Semoga lekas menemukan jodohnya dan sukses TAny
17. Keluargaku MT 14 yang telah mengajarkan artinya kebersamaan dan kekeluargaan. Keluarga yang tak akan tergantikan sampai kapan pun. Tetep solid sampe kakek nenek rek!
18. Keluargaku BSO Minat Bakat, mas, mbak, temen, adik, terimakasih sudah memberikan pelajaran tentang berorganisasi dengan santai tanpa ada paksaan sehingga kedepatan ini akan terus melekat sampai kapanpun. Sukses semuanya buat mas, mbak, temen, dan adek sekalian.
19. Keluargaku UKM Tennis ITS, khususnya Ami, Anin, Alief, Reza, dan Farraz yang telah memberikan keseruan dan keasikan dalam berlatih dan bertanding. Terimakasih sudah menjadi tempat pelarian ketika jenuh dalam perkuliahan dan tugas akhir.

20. Keluargaku Persekutuan Kristen Katolik Teknik Material dan Metalurgi (PKKTM) yang telah menjadi saudara seiman di tanah rantau ini.

21. Dan juga seluruh teman dan pihak yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu dan mungkin lupa saya sebutkan, terimakasih sebesar-besarnya atas dukungan, bantuan, dan segala sesuatunya sehingga saya bisa menyelesaikan Tugas Akhir ini.



DAFTAR ISI

ABSTRAK	vii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI	xvii
DAFTAR GAMBAR	xix
DAFTAR TABEL	xxiii
BAB I PENDAHULUAN	
I. 1 Latar Belakang Masalah	1
I. 2 Perumusan Masalah	1
I. 3 Batasan Masalah	2
I. 4 Tujuan Penelitian	2
I. 5 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
II. 1 Boiler	5
II. 1. 1 Sistem pada Boiler	5
II. 1. 2 Jenis-jenis Boiler.....	9
II. 1. 3 Siklus Boiler PT. PJB UP. Gresik.....	10
II. 2 Superheater	12
II. 3 Pengaruh Paduan pada penguatan Material Baja..	13
II. 4 Perubahan Struktur Mikro pada Baja Feritik	14
II. 5 Analisa Kegagalan	18
II. 6 Jenis Patahan.....	20
II. 7 Kegagalan Material Boiler.....	27
II. 8 Penyebab Kerusakan Tube Boiler.....	29
II. 9 Mekanisme Kegagalan.....	37
II. 10 Penelitian Sebelumnya.....	38
BAB II METODE PENELITIAN	
III. 1 Diagram Alir Penelitian	41
III. 2 Metode Penelitian	42
III. 3 Bahan Penelitian	42
III. 4 Alat-alat Penelitian	43
III. 5 Tahapan Penelitian.....	43
III. 5. 1 Data Operasional Lapangan.....	43

III. 5. 2	Preparasi Spesimen	44
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		
IV. 1	Data Operasi Lapangan	49
IV. 2	Hasil Pengujian	50
IV. 2. 1	Hasil Pengujian Komposisi	50
IV. 2. 2	Hasil Pengujian Makroskopik	52
IV. 2. 3	Hasil Pengujian Metalografi	53
IV. 2. 4	Hasil Pengujian Kekerasan	57
IV. 2. 5	Hasil Analisa Rietveld	59
IV. 3	Pembahasan	60
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		
V. 1	Kesimpulan	65
V. 2	Saran	65
DAFTAR PUSTAKA		xxv
LAMPIRAN		

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Skema boiler PLTU Unit 3 dan 4 PT. PJB UP. Gresik	11
Gambar 2. 2 Standar evolusi karbida spheroidiazion di baja 12Cr1MoV	15
Gambar 2. 3 Struktur mikro baja karbon <i>header</i> boiler yang beroperasi selama 25 tahun (a) <i>outlet primary superheater</i> ; (b) <i>outlet final superheater</i>	16
Gambar 2. 4 ISPEL klasifikasi untuk evolusi struktur mikro pada baja feritik	17
Gambar 2. 5 Skematik ciri patah getas dan patah ulet dari diagram tegangan-regangan	21
Gambar 2.6 a) bentuk patahan ulet, (b) bentuk patahan ulet setelah terjadi <i>necking</i> , (c) bentuk patahan getas tanpa terjadi deformasi plastis	22
Gambar 2. 7 Tahap patahan <i>cup</i> dan <i>cone</i> (a) awal <i>necking</i> ,(b) terbentuknya cavity kecil, (c) pengumpulan cavity hingga menjadi retakan, (d) perambatan retak, (e) patahan geser dengan sudut 45° terhadap arah tegangan	23
Gambar 2.8 a) patah ulet (<i>cup</i> and <i>cone</i>) pada aluminium.(b)patah getas pada <i>mild steel</i>	24
Gambar 2.9 :(a) SEM yang menunjukkan spherical dimple karakteristik, patahan hasil beban tarik uniaxial, 3300x.(b) SEM yang menunjukkan <i>spherical dimple</i> karakteristik hasil beban geser, 5000x	25
Gambar 2.10: (a) Foto yang menunjukkan bentuk V “chevron” sebagai karateristik patah getas. (b) Foto yang menunjukkan	

permukaan patah getas daerah asal retakan	26
Gambar 2.11 (a) skema perambatan retak yang melewati butir (<i>transgranular</i>) (b) hasil SEM dari patah secara transgranular	26
Gambar 2.12: (a) skema perambatan retak yang terjadi sepanjang batas butir (<i>intergranular</i>) (b) hasil SEM dari patah secara intergranular	27
Gambar 2.13 Perilaku <i>creep</i> material baja berdasarkan evolusi cavity	29
Gambar 2.14 Deposit pada ekonomizer yang berasal dari peralatan lain	30
Gambar 2.15 Kerusakan akibat <i>tube</i> sudah kehilangan kekuatannya pada pipa tekanan tinggi	31
Gambar 2.16 Kegagalan akibat <i>short-term</i> <i>overheating</i>	32
Gambar 2.17 Kegagalan akibat <i>caustic corrosion</i>	33
Gambar 2.18 Kegagalan akibat <i>low-pH corrosion</i>	33
Gambar 2.19 Kegagalan akibat <i>oxygen corrosion</i>	35
Gambar 2.20 Kontur kasar dari permukaan <i>tube</i> akibat mekanisme <i>coal-ash corrosion</i>	36
Gambar 2.21 Kegagalan akibat <i>dew-point corrosion</i>	36
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	41
Gambar 3.2 Pengamatan secara makro dengan menggunakan alat mikroskop stereo <i>Stemi DV 4</i>	44
Gambar 3.3 Spesimen uji untuk uji metalografi dan uji kekerasan (a) teli dalam, (b) tengah, dan (c) tepi luar	46
Gambar 3.4 Mikroskop Optik <i>Olympus BX5 1M-RF</i>	47
Gambar 3.5 Universal Hardness Tester <i>HBRV 187.5A</i>	48
Gambar 3.6 PAN Analytical	48
Gambar 4.1 Temperatur Material <i>Hanger Tube Outlet</i> <i>Section Secondary Superheater</i>	50

Gambar 4. 2 <i>Fishmouth Effect</i> dari <i>Hanger Tube</i> <i>Outlet Section Secondary Superheater</i>	52
Gambar 4. 3 Hasil Mikroskop Stereo	53
Gambar 4. 4 Struktur mikro dengan perbesaran 100x bagian dekat pecah pada: (a) tepi dalam, (b) tengah, dan (c) tepi luar.....	55
Gambar 4. 5 Struktur mikro dengan perbesaran 100x bagian jauh dari pecah pada: (a) tepi dalam, (b) tengah, dan (c) tepi luar	56
Gambar 4. 6 Perbandingan nilai distribusi kekerasan rata-rata ketiga daerah pada bagian yang jauh dari pecah dan dekat dari pecah	59

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Spesifikasi Boiler PLTU Unit 3 dan 4 PT. PJB UP. Gresik	12
Tabel 2 2 Permasalahan dalam kegagalan komponen mesin	18
Tabel 2 3 Kasus kegagalan material akibat perawatan komponen mesin	19
Tabel 2 4 Penyebab kegagalan dalam komponen mesin.....	20
Tabel 3.1 Komposisi <i>hanger tube outlet section secondary superheater</i> berdasarkan ASTM A213 T22	42
Tabel 3.2 Sifat mekanik <i>hanger tube outlet section secondary superheater</i> berdasarkan ASTM A213 T22	43
Tabel 4. 1 Kronologi Kejadian pada PLTU unit 3	49
Tabel 4. 2 Hasil Pengujian Komposisi	50
Tabel 4. 3 Data Hasil Uji Kekerasan Daerah Dekat dari Pecah (<i>Hardness Vickers</i>).....	57
Tabel 4. 4 Data Hasil Kekerasan Daerah Jauh dari Pecah (<i>Hardness Vickers</i>)	58
Tabel 4. 5 Hasil Output Program <i>Rietica</i> pada <i>hanger tube outlet section secondary superheater</i>	59
Tabel 4. 6 Hasil Perhitungan Regangan dan Tegangan Sisa.....	60
Tabel 4. 7 Tabel perbandingan antara ASTM A213 T22 dan ASTM A213 T9 terhadap hasil uji komposisi	61



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

I. 1 Latar Belakang Masalah

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) merupakan suatu lembaga pembangkitan energi listrik yang proses kerjanya memanfaatkan tenaga uap untuk menghasilkan listrik. PLTU PT. PJB UP. Gresik (PT. Pembangkitan Jawa-Bali Unit Pembangkitan Gresik) merupakan salah satu pemasok utama listrik di wilayah Jawa-Bali, dimana PLTU ini memiliki tiga peralatan utama (*main building*) dalam sistem PLTU, yakni boiler, turbin, dan generator. Boiler berfungsi sebagai tungku pemanas yang mengubah air menjadi uap yang selanjutnya digunakan untuk memutar turbin. Kemudian putaran turbin disambungkan dengan generator dalam satu poros untuk mengubah energi kinetik dari putaran turbin menjadi energi listrik.

Sebagai salah satu peralatan utama yang ada dalam sistem PLTU di PT. PJB UP. Gresik, boiler memiliki peranan yang sangat penting sebagai pemutar turbin untuk pembangkit uap. Pada komponen-komponen di boiler sering terjadi degradasi bahan, terutama pada komponen yang beroperasi pada temperatur tinggi seperti *superheater*. Pada daerah *superheater* ini sering terjadi permasalahan berupa korosi, *crack*, penebalan *scale*, *bulging*, dan lain sebagainya. *Superheater* akan dikenai panas secara radiasi oleh *burner* tanpa menyentuh pipa tersebut sehingga uap yang dihasilkan benar-benar kering (*steam super heat*). *Superheater* dibuat bertingkat yaitu *primary superheater*, *secondary superheater*, dan final superheater agar memudahkan pengontrolan temperatur keluarannya. Apabila terjadi kerusakan pada salah satu tingkatan *superheater* maka akan mengganggu jalannya siklus dari PLTU yang dapat mengakibatkan kerugian ekonomi yang tidak sedikit. Karena apabila terjadi kerusakan sedikit pada komponen maka akan menyebabkan proses pada PLTU berhenti untuk melakukan perbaikan sehingga unit PLTU



tidak dapat memenuhi permintaan daya listrik dari konsumen yang diatur oleh Penyaluran dan Pusat Pengaturan Beban (P3B).

Dari hasil inspeksi pada saat *overhaul* setiap tahunnya sering ditemukan permasalahan pada bagian *superheater* di setiap unit. Bahkan terdapat masalah yang cukup serius yaitu pada *hanger tube outlet section secondary superheater* PLTU unit 3 yang tiba-tiba pecah pada saat proses berlangsung. Hal ini menimbulkan kerugian yang sangat besar bagi pihak PT. PJB UP. Gresik karena dengan adanya kerusakan pada *hanger tube outlet section tube secondary superheater* ini menyebabkan PLTU unit 3 *shutdown* selama 4 hari untuk perbaikan. Sehingga perlu dilakukan penelitian ini untuk mengetahui penyebab kerusakan yang terjadi pada *hanger tube outlet section secondary superheater* sehingga diharapkan nantinya dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan dalam melakukan langkah pencegahan dan perawatan agar tidak terjadi kerusakan yang serupa.

I. 2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang akan diidentifikasi dalam penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Apakah penyebab terjadinya kegagalan pada *hanger tube outlet section secondary superheater*?
2. Bagaimana mekanisme terjadinya kegagalan pada *hanger tube outlet section secondary superheater*?

I. 3 Batasan Masalah

Beberapa batasan masalah dan asumsi yang digunakan agar penelitian dapat berjalan dengan baik adalah :

1. Komponen *hanger tube outlet section secondary superheater* memiliki komposisi material dan sifat mekanik yang homogen.
2. Desain *hanger tube outlet section secondary superheater* memenuhi standar yang telah ditentukan.



Laporan Tugas Akhir Jurusan Teknik Material dan Metalurgi

I. 4 Tujuan Penelitian

Sesuai dengan permasalahan yang telah disebutkan, maka tujuan penelitian ini adalah :

1. Menganalisa penyebab terjadinya kegagalan pada *hanger tube outlet section secondary superheater*.
2. Menganalisa mekanisme terjadinya kegagalan pada *hanger tube outlet section secondary superheater*.

I. 5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan pembelajaran yang lebih dalam di bidang material dan metalurgi dan menjadi acuan pencegahan terjadinya kembali kegagalan yang serupa dikemudian hari dan dasar pengembangan pada ilmu berikutnya.



BAB II

TINJUAN PUSTAKA

II. 1 Boiler

Boiler merupakan suatu peralatan yang digunakan untuk menghasilkan steam (uap) dalam berbagai keperluan. Air di dalam boiler dipanaskan oleh panas dari hasil pembakaran bahan bakar (sumber panas lainnya) sehingga terjadi perpindahan panas dari sumber panas tersebut ke air yang mengakibatkan air tersebut menjadi panas atau berubah wujud menjadi uap. Air yang lebih panas memiliki berat jenis yang lebih rendah dibanding dengan air yang lebih dingin, sehingga terjadi perubahan berat jenis air di dalam boiler. Air yang memiliki berat jenis yang lebih kecil akan naik, dan sebaliknya air yang memiliki berat jenis yang lebih tinggi akan turun ke dasar.

II. 1. 1 Sistem pada Boiler

- Sistem air umpan

Sistem air umpan menyediakan air untuk *boiler* secara otomatis sesuai dengan kebutuhan steam. Berbagai *valve* disediakan untuk keperluan perawatan dan perbaikan. Berikut ini adalah bagian-bagian dari sistem air umpan :

a. *Steam Drum*

Steam drum adalah suatu alat yang digunakan untuk menampung air yang berasal dari *economizer* untuk dipanaskan dengan metode siklus air natural yaitu air akan bersirkulasi akibat adanya perbedaan berat jenis (sirkulasi alamiah) dimana air yang temperaturnya lebih rendah akan turun dan air yang temperaturnya tinggi akan naik ke drum sambil melepaskan uapnya untuk dipisahkan antara uap dan airnya pada peralatan *separator* dan *dryer*.

b. *Superheater*

Superheater adalah suatu alat yang digunakan untuk memanaskan lanjut uap *saturated* (uap jenuh) sampai



dihasilkan uap yang benar-benar kering (*steam super heat*). Adapun maksud dari dibuatkannya uap kering adalah supaya sudu-sudu turbin tidak terkikis oleh butiran-butiran air (sudu turbin rusak).

c. *Reheater*

Reheater adalah suatu alat yang digunakan untuk memanaskan (menaikkan) kembali temperatur uap super *heater* setelah melakukan kerja memutar sudu turbin sisi tekanan tinggi (*turbin high pressure*). Uap super heat yang bertekanan 166 Kg/cm^2 dan bertemperatur 535°C ini, setelah memutar sudu turbin HP maka tekanannya hanya tinggal 31 Kg/cm^2 dan temperaturnya 314°C . Uap bekas turbin HP tersebut telah kehilangan energi panasnya, untuk memperoleh panasnya kembali (temperatur : 536°C dan tekanan : 31 Kg/cm^2) untuk memutar sudu turbin IP yang kemudian diteruskan ke sudu turbin LP.

d. *Economizer*

Economizer adalah alat yang berfungsi untuk memanaskan air setelah melewati *High Pressure Heater*. Pemanasan dilakukan dengan memanfaatkan panas dari *flue gas* yang merupakan sisa dari pembakaran dalam *furnace*. Temperatur air yang keluar dari *economizer* harus dibawah temperatur jenuhnya untuk mencegah terjadinya *boiling* dalam *economizer*. Karena perpindahan panas yang terjadi dalam *economizer* merupakan konveksi, maka menaikkan luas permukaan akan mempermudah perpindahan panas ke air. Inilah sebabnya mengapa desain pipa dibuat bertingkat.

e. *Downcomer*

Merupakan saluran air dari *steam drum* ke header yang berada dibawah ruang bakar dimana header, butir-butir air panas akan dipanaskan melalui pipa-pipa yang tersusun di dinding *furnace*. Aliran tersebut dapat dialirkan secara alami atau paksa (bantuan pompa) tergantung konstruksi *boiler*.

f. *Wall Tube Riser* (Pipa-pipa Air)



Laporan Tugas Akhir Jurusan Teknik Material dan Metalurgi

Wall tube merupakan susunan pipa-pipa yang berada pada sisi dinding sepanjang *furnace*. Bertujuan agar terjadi perpindahan panas dari ruang bakar ke *water*. Dimana dalam *wall tube*, sebagian *water* akan berubah menjadi *steam*. Pipa-pipa air memperoleh air dari *header* bagian bawah ruang bakar. Pipa-pipa *header* tersebut diisi oleh *downcomer* yang mengalirkan air dari *drum*, turun ke bawah melalui bagian luar dari ketel dan mengisi *header* bawah. Karena itu selama adanya pembakaran, air dari pipa-pipa naik ke dalam *drum* melalui *wall tube* dan air yang lebih dingin dari *drum* turun ke bawah melalui *downcomer*, mengisi pipa-pipa air.

g. *Boiler Circulating Pump*

Boiler Circulating Pump berfungsi untuk membantu mengalirkan air dari *downcomer* menuju *wall tube*. Pompa ini merupakan jenis sentrifugal yang dirgerakkan oleh motor listrik. Pompa menggunakan *water* sebagai media pendingin.

- Sistem udara dan gas

Air dan gas sistem menyediakan udara sebagai suplai untuk pembakaran serta membuang gas hasil pembakaran.

a. *FD Fan*

FD Fan atau yang disebut juga dengan kipas tekan paksa adalah suatu alat yang digunakan untuk memasok udara bakar yang akan digunakan untuk proses pembakaran pada ruang bakar. Kipas ini terdiri dari sebuah *fan* dan digerakkan oleh motor, dan untuk setiap unit biasanya terdiri dari dua buah *fan* dan termasuk jenis aksial *fan*. *FD Fan* mensupply 50% kebutuhan udara pembakaran.

b. *PA Fan*

PA Fan hanya digunakan pada *Boiler* yang menggunakan bahan bakar batubara. Berfungsi sebagai penghasil udara primer yang digunakan sebagai pengangkut serbuk batubara dari *Pulverizer/Mill* menuju *Burner* untuk dibakar di *furnace*. *PA Fan* adalah *hot air* yang didapatkan dari



udara yang sebelumnya telah dipanaskan di *air heater*. Berfungsi untuk mengeringkan batubara sehingga lebih mudah terbakar.

c. *Air Heater* (Pemanas Udara)

Air Heater adalah alat yang berfungsi untuk pemanas udara *primary* dan *secondary* di *boiler*. *Air heater* merupakan tempat perpindahan panas yang besar didalam jalur udara dan gas buang dari *boiler*. Media pemanas yang digunakan adalah gas buang (*flue gas*) hasil pembakaran di *Boiler* sebelum dibuang ke *stack* melalui *Induced Draft Fan*. Gas buang hasil pembakaran di *Boiler* masih memiliki panas yang cukup tinggi (sekitar 380°C) sehingga panasnya dapat dimanfaatkan sebagai pemanas udara. Dengan digunakannya gas buang sebagai pemanas di *air heater* maka efisiensi unit bertambah baik karena tidak membutuhkan tambahan bahan bakar untuk memanaskan *air heater*. Selain itu juga temperatur gas buang yang dikeluarkan oleh *stack* menjadi rendah.

d. *Gas ReCirculating Fan*

Gas ReCirculating Fan adalah suatu alat yang digunakan untuk mengontrol suhu *reheater*. Dilakukan dengan cara menginjeksikan gas panas kedalam udara bakar sehingga udara bakar dan gas panas tersebut bercampur. Adapun dengan pencampuran ini dapat meningkatkan efisiensi. Namun dengan penggunaan gas *reCirculating fan* akan menambah biaya pemasangan dan perawatan.

• Sistem bahan bakar

Sistem bahan bakar adalah semua peralatan yang digunakan untuk menyediakan bahan bakar untuk menghasilkan panas yang dibutuhkan. Peralatan yang diperlukan pada sistem bahan bakar tergantung pada jenis bahan bakar yang digunakan pada sistem.

a. Silo (*bunker*)

Silo/*Bunker* batubara berfungsi untuk menampung sementara batubara yang akan dibakar pada *furnace* setelah



Laporan Tugas Akhir Jurusan Teknik Material dan Metalurgi

dibawa *conveyor* dari *stock pile* sebelum batubara tersebut diumpukan ke *pulverizer* melalui *Coal Feeder*.

b. *Coal Feeder* (pengumpan)

Coal feeder berfungsi untuk menerima batubara dari silo batubara dan mengontrol jumlah batubara yang dimasukkan kedalam *pulverizer*. Proses *feeding* akan mengontrol laju bahan bakar yang masuk tergantung dari kebutuhan boiler dan kebutuhan *primary* air untuk pengeringan, dan kemudian batubara yang telah ditumbuk bersama-sama dengan *primary* air akan mengalir menuju burner.

c. *Pulverizer/mill*

Batubara dari silo melalui *coal feeder* diisikan ke *pulverizer* untuk proses penhalusan (kehalusan 200 mesh) yang lolos mencapai 70% dengan jumlah atau rate sesuai dengan kebutuhan beban yang dibangkitkan unit pembangkit.

d. *Burner*

Burner berfungsi untuk membakar batubara. Selain dari *PA Fan*, udara pembakaran juga didapatkan dari *secondary* air yang berasal dari *FD Fan*. Untuk pembakaran awal, digunakan HSD (*High Speed Diesel*) karena lebih mudah terbakar daripada batubara. Kemudian secara berkala, laju aliran HSD dikurangi untuk digantikan dengan batubara. Pada akhirnya HSD berhenti dan batubara digunakan secara penuh.

II. 1. 2 Jenis-jenis Boiler

a. Berdasarkan bahan

Jenis boiler berdasarkan bahan bakar dapat dikelompokkan menjadi :

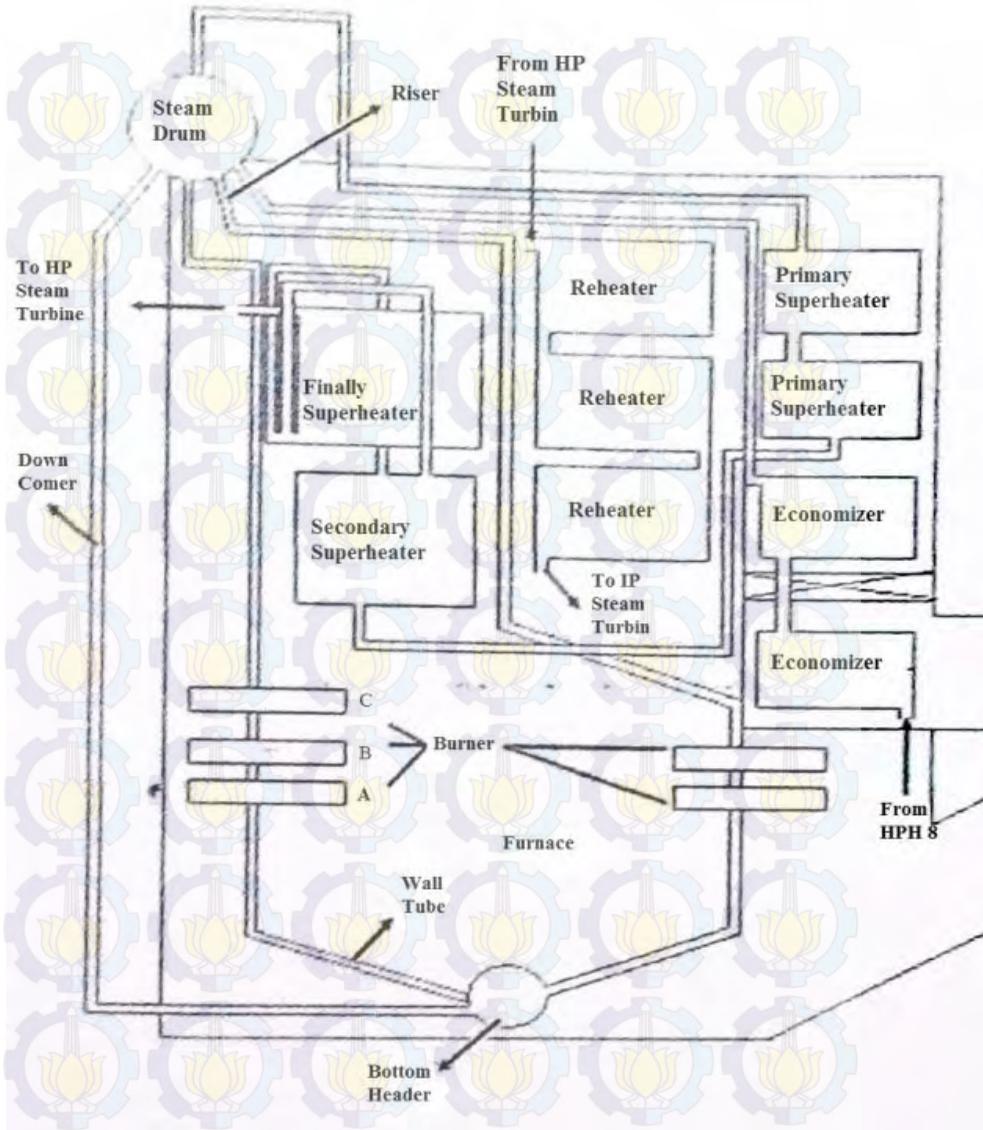
- Boiler bahan bakar padat
- Boiler bahan bakar cair
- Boiler bahan bakar gas



- b. Berdasarkan posisi air dan gas panas
Jenis boiler berdasarkan posisi air dan gas panas dapat diklasifikasikan sebagai berikut:
- Boiler pipa air (*water tube*)
 - Boiler pipa api (*fire tube*)
 - Boiler kombinasi
- c. Berdasarkan tekanan
Jenis boiler berdasarkan tekanan dapat dibagi menjadi :
- Boiler tekanan rendah
 - Boiler tekanan sedang
 - Boiler tekanan tinggi
- d. Berdasarkan sirkulasi
Jenis boiler berdasarkan sirkulasi air dapat dibagi atas :
- Boiler sirkulasi alami
 - Boiler sirkulasi paksa

II. 1. 3 Siklus Boiler PT. PJB UP. Gresik

Air keluaran dari *high pressure heater* akan mengalami pemanasan lanjut pada *economizer* dengan memanfaatkan flue gas dari Boiler. Setelah melewati *economizer*, air menuju *steam drum*. Didalam *steam drum*, level air dijaga 50% dari volume *steam drum*. Kondisi air dalam *steam drum* berupa cair jenuh (*liquid vapor*). Dari *steam drum*, air akan mengalir turun melalui *downcomer* hingga mencapai *bottom header*. Karena pipa pada Boiler membentuk huruf U, maka air akan mengalir ke atas pada *waterwall*. Pada *waterwall*, air mengalami pemanasan oleh *burner* hingga mencapai kondisi uap jenuh. Air yang telah menjadi uap jenuh, akan kembali ke *steam drum* untuk mengalami pemanasan lanjut pada *superheater*. Dari *steam drum* uap akan difilter oleh *miss separator*. Uap akan dipanaskan lagi oleh *primary superheater* kemudian dilanjutkandipanaskan kembali oleh *secondary superheater* dan *final superheater*. Kemudian uap tersebut diekspansikan ke turbin. Skema boiler PLTU unit 3 dan 4 PT. PJB UP. Gresik terdapat pada Gambar 2.1 dan spesifikasi boiler PLTU Unit 3 dan 4 terdapat pada Tabel 2.1.



Gambar 2. 1 Skema boiler PLTU Unit 3 dan 4 PT. PJB UP. Gresik



Tabel 2. 1 Spesifikasi Boiler PLTU Unit 3 dan 4 PT. PJB UP.
Gresik

Merk Pabrik	IHI-FW Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co., Ltd.
Type	IHI-FW SR
Tanggal Pembuatan	Maret 1987
Kapasitas Nominal	643000 kg/jam
Tekanan Kerja Maksimum	199/40 kg/cm ² g
Tekanan Keluar dari Superheater	174.1/31.9 kg/cm ² g
Temperatur Keluar dari Superheater	541/541 °C
Temperatur	277.9 °C

II. 2 Superheater

Superheater adalah suatu alat yang digunakan untuk memanaskan lanjut uap jenuh) sampai dihasilkan uap yang benar-benar kering (*steam super heat*). Adapun maksud dari dibuatkannya uap kering adalah supaya sudu-sudu turbin tidak terkikis oleh butiran-butiran air (sudu turbin rusak). Pada umumnya susunan pemanas uap lanjut (*steam superheater*) ini dibuat bertingkat yakni *primary superheater*, *secondary superheater*, dan *final superheater* adalah dengan maksud untuk memudahkan pengontrolan temperatur keluarannya. Pada masing-masing tingkatan superheater ini dibagi menjadi 2 bagian yaitu *inlet section* dan *outlet section*.

Data operasi dari *superheater* pada boiler di PLTU unit 3 PT. PJB UP. Gresik. *Primary superheater* berfungsi untuk memanaskan uap air yang berasal dari drum. Temperatur uap yang keluar dari *primary superheater* adalah sebesar 364,31°C. Pemanasan uap air dilakukan melalui sisa-sisa uap panas yang keluar dari *steam drum*.

Setelah itu uap air dibawa menuju ke *secondary superheater* untuk dipanaskan kembali sehingga dihasilkan uap kering dengan temperatur uapnya yang keluar sebesar 453,22°C.



Laporan Tugas Akhir Jurusan Teknik Material dan Metalurgi

Pemanasan uap air pada *secondary superheater* ini berasal dari *burner*. Begitu pula pada *final superheater*.

Uap kering ini dibawa menuju ke *final superheater* untuk dipanaskan kembali sehingga dihasilkan uap yang sangat kering. Temperatur uap yang keluar dari *final superheater* yaitu sebesar 541,39°C, dimana uap ini akan dialirkan menuju ke turbin.

II. 3 Pengaruh Paduan pada penguatan Material Baja

Penambahan paduan seperti kromium, molybdenum, tungsten, dll dapat meningkatkan sifat-sifat mekanis seperti kekerasan, kekuatan dan ketangguhan pada baja. Untuk aplikasi temperatur tinggi, kriteria yang dibutuhkan diantaranya ketahanan *creep*, dan ketahanan terhadap korosi.

Kunci dalam meningkatkan ketahanan *creep* adalah dengan meningkatkan ketahanan butir dan batas butir dalam bermigrasi, dan dalam waktu bersamaan menghindari proses *recovery*, ataupun proses *softening* lainnya. Pada perilaku *creep*, dislokasi terjadi dalam bentuk aliran material dimana pada baja, metode dalam menahan dislokasi pada suatu material bisa dilakukan dengan penguatan *solid solution* dan penguatan presipitasi.

Secara umum material konstruksi untuk boiler dan komponen-komponennya didominasi oleh baja paduan ringan, terutama yang mengandung sejumlah elemen Mo, V, dan Cr yang berperan dalam penguatan *solid solution* dan pembentukan presipitat dalam penguatan presipitasi.

Penguatan *solid solution* terjadi melalui penambahan elemen paduan seperti kromium (Cr), molibdenum (Mo), vanadium (V), nikel (Ni), dll, yang mampu menahan dislokasi dengan metode cluster. Penambahan kandungan paduan menjadi diminati dalam meningkatkan kekuatan *creep*. Sebagai contoh, pada jenis-jenis baja dengan kandungan paduan, karbon, 0.5Cr, 0.5Cr-0.5Mo, 1.25Cr-0.5Mo, dan 2.25Cr-1Mo, berturut-turut kekuatan *creep* meningkat secara progresif. (Viswanathan. 2006)



Elemen paduan juga dapat membentuk partikel karbida dalam penguatan presipitasi, dan mampu menahan dislokasi dalam mekanisme pengerasan presipitasi (*precipitation hardening*). Elemen pembentuk karbida yang stabil diantaranya, Cr, Mo, V, dan Nb, yang meningkat secara berurutan.

Mekanisme penguatan seperti disebutkan di atas biasanya menjadi tidak stabil pada temperatur yang lebih tinggi. Karena itu kekuatan *creep* material menjadi terbatas pada temperatur operasi yang dipersyaratkan sesuai dengan kestabilan material. Menurut Abe, kestabilan ketahanan *creep* dapat ditingkatkan melalui pembentukan partikel yang stabil, sehingga memiliki waktu tahan yang lebih lama. Penambahan B dan pengurangan kandungan C pada baja adalah salah satu cara yang dapat diterapkan. Dengan mengurangi kadar C, partikel akan mempromosikan N dalam pembentukan karbonitrida dimana memiliki karakteristik lebih halus dan homogen, serta stabil. (Abe. 2007)

II. 4 Perubahan Struktur Mikro pada Baja Feritik

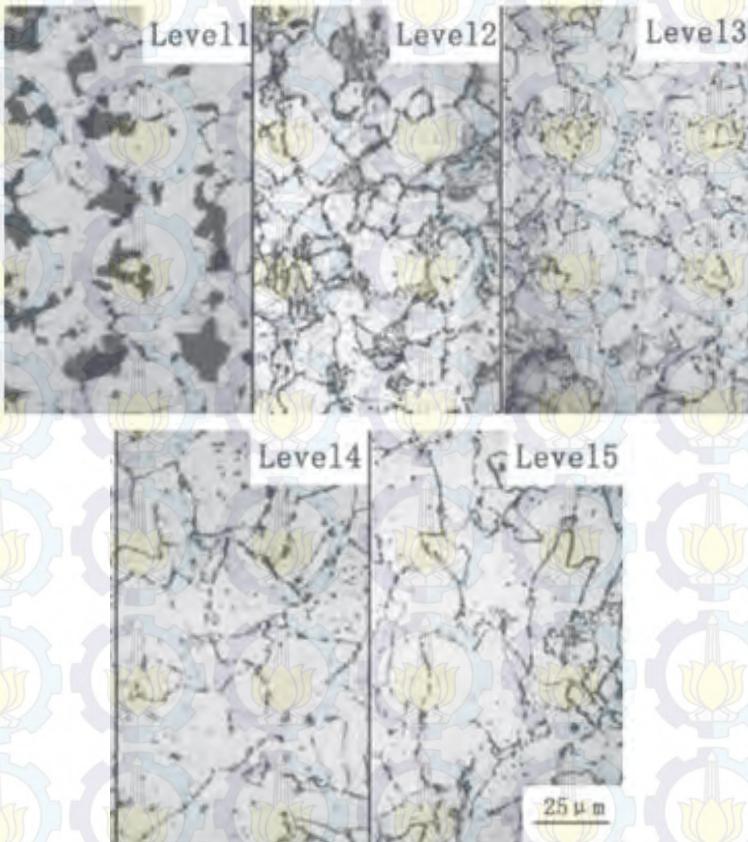
Baja paduan rendah atau baja pearlit/bainit menunjukkan kecenderungan untuk membentuk perlit/bainit sferoid setelah paparan temperatur tinggi dalam jangka panjang. Struktur lamelar menjadi ciri khas CrMoV perlit pada perubahan struktur partikel. *Service exposure* memiliki pengaruh yang besar terhadap kekuatan dan keuletan.

Klasifikasi kerusakan mikrostruktur pada baja juga telah dibentuk dan diadopsi sebagai standar, seperti karbida spheroidization di 12Cr1MoV baja, pada Gambar 2.2 menunjukkan spheroidization karbida di 12Cr1MoV baja sesuai dengan DL/T 773-2001, *Spheroidization evaluation standard of 12Cr1MoV steel used in power plant*. Lima tingkat degradasi digunakan berdasarkan pengembangan spheroidization. Klasifikasi level 1 menunjukkan tidak memiliki spheroidization, Level 2 memiliki sedikit spheroidization, level 3 memiliki medium spheroidization, level 4 memiliki complete spheroidization, dan level 5 memiliki spheroidization yang serius.



Laporan Tugas Akhir Jurusan Teknik Material dan Metalurgi

Dari level 1 sampai level 5, struktur lamelar pada perlit berubah menjadi struktur partikel. Struktur pearlit menghilang pada level 4 dan level 5, yang menghasilkan kerusakan sifat mekanik.

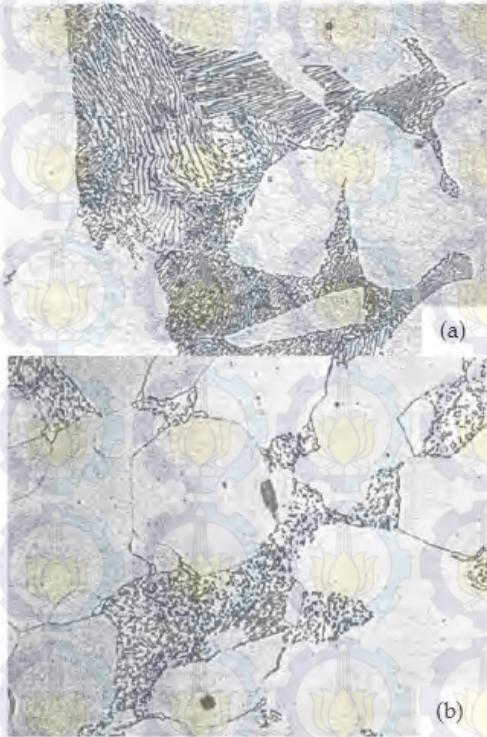


Gambar 2. 2 Standar evolusi karbida spheroidiaztion di baja 12Cr1MoV (DL/T 773-2001, 2002)

Pada Gambar 2.3 memberikan contoh struktur mikro di header boiler yang bekerja selama 25 tahun. Ini jelas menunjukkan



bahwa tingkat spheroidization di final superheater lebih terlihat daripada di outlet primary superheater.

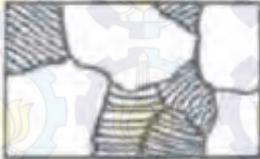


Gambar 2.3 Struktur mikro baja karbon header boiler yang beroperasi selama 25 tahun (a) *outlet primary superheater*; (b) *outlet final superheater* (Drew dkk, 2006)

Temperatur operasi di mulai sekitar 30 derajat lebih tinggi dari yang terakhir hal ini menyebabkan perbedaan evolusi struktur mikro. Jadi klasifikasi kerusakan struktur mikro pada baja paduan rendah ditentukan oleh kelas spheroidization. Klasifikasi dengan 6 tingkat yang berbeda terlihat pada Gambar 2.4 sangat mudah menilai degradasi boiler pada Gambar 2.3 dimana level b untuk



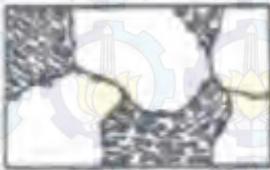
outlet primary superheater dan level c untuk outlet final superheater. Pemisahan dan pengkasaran karbida dianggap sebagai degradasi material akibat creep exposure. (Hu, 2012)



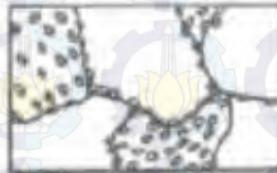
Level A - Ferrite and lamellar pearlite



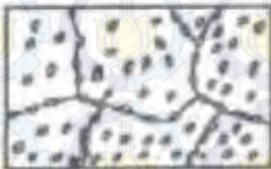
Level B - Initial spheroidisation and carbides precipitation at grain boundary



Level C - Intermediate level of spheroidisation, pearlite is partially globular but lamellar structure is still evident



Level D - Pearlite completely spheroidised but carbides still included in primary pearlitic grains



Level E - Carbides homogeneously distributed (no evidence of ferrite and pearlite original structure)



Level F - Carbides homogeneously distributed and partially coarsened through coalescence

Gambar 2. 4 ISPEL klasifikasi untuk evolusi struktur mikro pada baja feritik



II. 5 Analisa Kegagalan

Analisa kegagalan adalah kegiatan pemeriksaan/pengujian terhadap suatu komponen yang mengalami kerusakan untuk mencari penyebab terjadi permasalahan yang sifatnya spesifik. Didukung dengan berbagai referensi, pengamatan, dan pengujian laboratorium untuk memperkuat dugaan permasalahan. Kegagalan bisa saja berasal dari manufaktur, perakitan ataupun pengoperasian yang tidak sesuai dengan prosedur, dan tujuan analisa kegagalan untuk mengetahui mekanisme kegagalan. Manfaat yang dihasilkan dari analisa kegagalan dalam jangka pendek adalah perbaikan desain dan proses fabrikasi juga pengoperasian. Untuk jangka panjang bisa dijadikan acuan pengembangan material dan evaluasi untuk memperkirakan kerja suatu material dan memperbaiki sistem perawatan dari material tersebut.

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), faktor penyebab kegagalan yang sering terjadi di dunia industri dapat dikarenakan:

Faktor kesalahan Pemilihan Material. Tabel 2.2 di bawah ini menunjukkan statistik tentang permasalahan dalam masalah kegagalan material

Tabel 2 1 Permasalahan dalam kegagalan komponen mesin
(Brook & Choudhury, 2002)

Permasalahan	%
Kesalahan pemilihan material	38
Cacat produksi	15



Laporan Tugas Akhir Jurusan Teknik Material dan Metalurgi

Permasalahan	%
Kesalahan perlakuan panas	15
Kesalahan desain mekanik	11
Kondisi operasi yang berlebihan	8
Kondisi lingkungan yang tidak terkontrol	6
Pemeriksaan yang kurang baik	5
Material yang tidak jelas	2

Perawatan Komponen yang Kurang Baik. Proses perawatan komponen mesin yang kurang baik termasuk salah satu penyebab kegagalan yang paling dominan. Tabel 2.3 menunjukkan data mengenai kasus kegagalan material yang terjadi.

Tabel 2 2 Kasus kegagalan material akibat perawatan komponen mesin (Brook & Choudhury, 2002)

Permasalahan	%
Perawatan yang kurang baik	44
Cacat saat fabrikasi	17
Defisiensi desain	16
Pemakaian yang abnormal	10
Cacat Material	7
Penyebab yang tidak jelas	6

Kesalahan dalam Perancangan Komponen. Faktor kesalahan dalam proses perancangan komponen mesin adalah sebagai berikut:

- Kegagalan ulet akibat pembebanan yang melebihi kekuatan material
- Kegagalan getas akibat beban kejut
- Kegagalan pada temperatur tinggi (pemuluran)
- Static delayed fracture
- Proses perancangan yang terlalu banyak memicu konsentrasi tegangan seperti takikan



- Analisa tegangan komponen yang kurang detail yang menyebabkan rawan terjadi kegagalan akibat overload
- Kesalahan dalam menentukan material dari komponen mesin sehingga mempengaruhi hitungan yang dilakukan.

Kondisi Kerja yang Ekstrim. Permasalahan yang spesifik dalam kegagalan komponen mesin akibat kondisi kerja yang ekstrim disajikan dalam Tabel 2.4 berikut ini:

Tabel 2 3 Penyebab kegagalan dalam komponen mesin (Brook & Choudhury, 2002)

Penyebab Kegagalan	%
Korosi	29
Kelelahan (fatigue)	25
Kegagalan getas (brittle fracture)	16
Kelebihan beban	11
Korosi temperatur tinggi	7
Korosi SCC, korosi leleh penggetasan hydrogen	6
Pemuluran	3
Abrasi, erosi	3

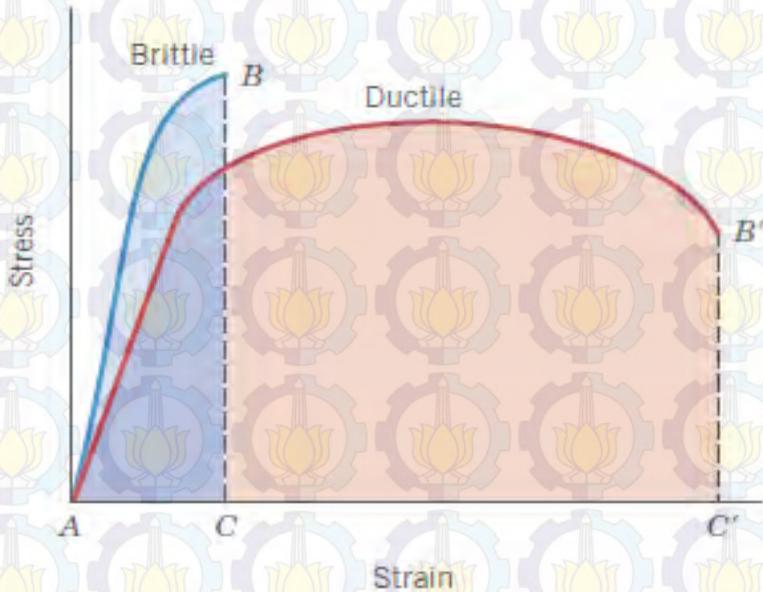
II. 6 Jenis Patahan

Patahan adalah terbaginya spesimen dari sebuah benda menjadi 2 atau lebih potongan karena terjadinya tegangan statik dan pada temperatur yang relatif rendah terhadap titik leleh dari suatu material. Tegangan yang terjadi pada material bisa merupakan tegangan tarik, tegangan kompresi, tegangan geser ataupun torsi. Dalam rekayasa material terdapat dua jenis mode patahan yang mungkin terjadi yaitu patahan ulet dan patah getas. Klasifikasi jenis patahan ini berdasarkan kemampuan sebuah material dalam menerima deformasi plastis yang dapat menyerap energi yang besar sebelum terjadi patahan. Material yang ulet mempunyai deformasi plastis yang tinggi, pembentukan small



Laporan Tugas Akhir Jurusan Teknik Material dan Metalurgi

cavity diujung retak, serta retak memanjang atau menjalar bertahap. Sedangkan pada material yang getas mempunyai deformasi plastis rendah, tegangan lokal meningkat pada ujung retak sehingga retak menjalar dengan sangat cepat. Pada Gambar 2.5 ditunjukkan diagram tegangan dan regangan dari patahan ulet dan getas.



Gambar 2.5 Skematik ciri patah getas dan patah ulet dari diagram tegangan-regangan(Callister,2007)

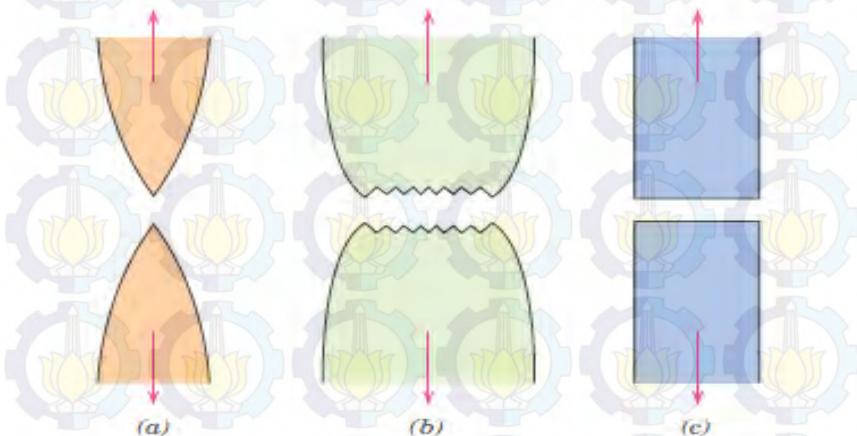
Patahan ulet dan getas pada suatu material tergantung pada kondisi pembebanan. Pada proses terjadinya patahan melibatkan dua tahap yaitu terbentuknya retak dan perambatan sebagai respon dari tegangan yang dialami oleh material. Modus patahan sangat bergantung pada perambatan retak.



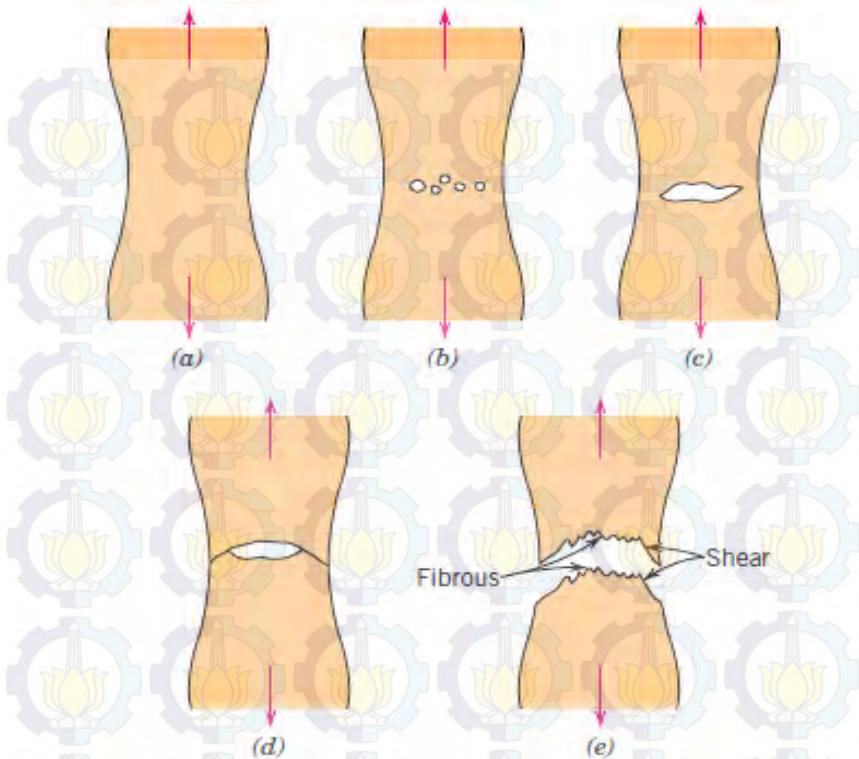
a. Patah Ulet

Bentuk patahan ulet memiliki karakteristik yang berbeda jika diamati secara makroskopis. Pada Gambar 2.8 ditunjukkan skematik representative dari dua karakteristik profil patahan secara makro. Konfigurasi yang ditunjukkan oleh Gambar 2.8 (a) ditemukan pada material lunak seperti emas pada temperatur ruang dan metal, polimer dan inorganik gelas pada temperatur yang relatif tinggi.

Secara umum profil patahan material ulet akibat tegangan tarik ditunjukkan pada Gambar 2.6(b) dimana patahan didahului oleh adanya necking. Proses patahan ulet dari material terjadi dalam beberapa tahap. Pertama, setelah terjadi pengecilan luasan setempat (*necking*) *cavities* kecil atau *microvoid* terbentuk di dalam struktur material seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2.7.



Gambar 2.6 a) bentuk patahan ulet, (b) bentuk patahan ulet setelah terjadi *necking*, (c) bentuk patahan getas tanpa terjadi deformasi plastis (Callister,2007)



Gambar 2.7 Tahap patahan cup and cone (a) awal *necking*, (b) terbentuknya *cavity* kecil, (c) pengumpulan *cavity* hingga menjadi retakan, (d) perambatan retak, (e) patahan geser dengan sudut 45° terhadap arah tegangan (Callister, 2007)

Kemudian dengan bertambahnya deformasi akibat tegangan maka *microvoid* membesar dan berkumpul menjadi satu yang kemudian *coalesce* membentuk retak secara elips yang memiliki panjang tegak lurus dari arah pembebanan. Retak kemudian tumbuh sejajar dengan arah pembebanan, akhirnya patahan terbentuk oleh perambatan retak yang cepat disekitar area *necking* seperti Gambar 2.8 oleh deformasi geser pada sudut



disekitar arah tegangan tarik dimana sudut ini merupakan tegangan geser tertinggi. Terkadang sebuah patahan mempunyai karakteristik kontur seperti *cup* dan *cone* karena salah satu permukaan patahan menyerupai *cone*. Spesimen yang mempunyai bentuk patahan seperti ini berbentuk fibrous yang tidak teratur dimana hal ini menandakan deformasi plastis. Lebih jauh lagi untuk mengetahui informasi mengenai penentuan secara pengujian dengan menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM). Studi mengenai tipe patahan disebut *fractographic*. *Scanning Electron Microscope* (SEM) lebih banyak digunakan dalam mengamati bentuk crack, patahan karena mempunyai resolusi dan kedalaman observasi yang lebih tinggi dari mikroskopik optik. Gambar 2.8 menunjukkan patah ulet *cup* dan *cone* dan perbedaan patah getas pada *mild steel*.



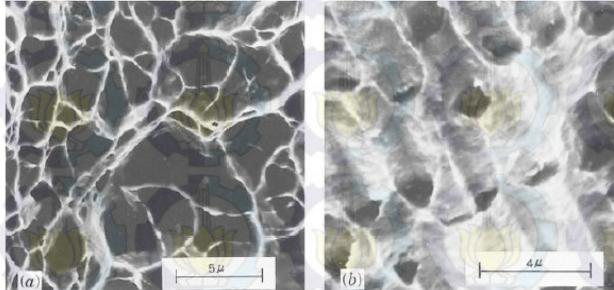
Gambar 2.8 a) patah ulet (*cup and cone*) pada aluminium. (b) patah getas pada *mild steel* (Wulpi, 1999)

Pada skala makro, patah ulet ditunjukkan dengan adanya perubahan ketinggian yang nyata sepanjang penampang potongan melintang dari benda, biasa dikenal dengan istilah *shear lips*. Kemudian pada skala mikro, patah ulet ditandai dengan adanya



Laporan Tugas Akhir Jurusan Teknik Material dan Metalurgi

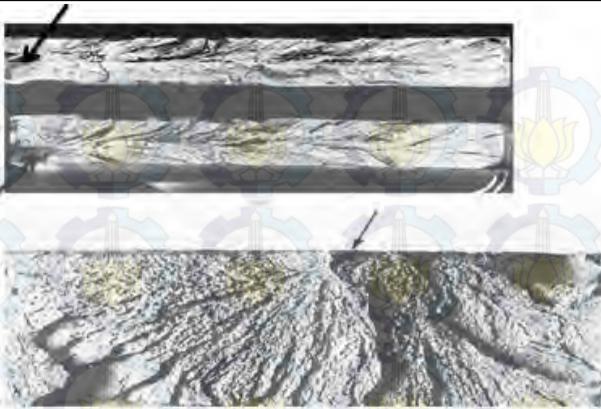
profil *dimple* pada permukaan patahnya yang disebabkan oleh penjarangan retakan mikro (*microvoids coalescence*) pada gambar 2.9.



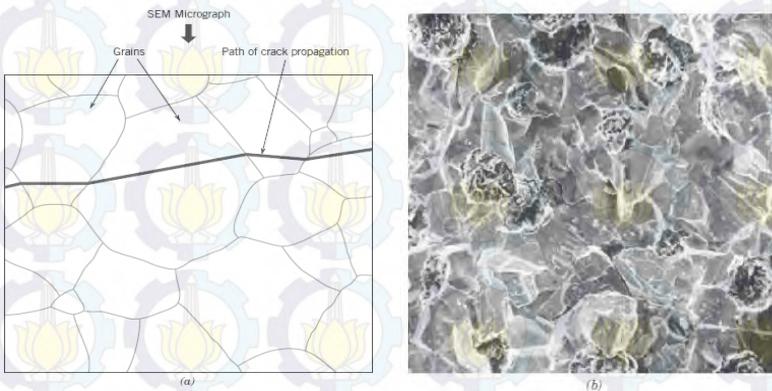
Gambar 2.9 : (a) SEM yang menunjukkan *spherical dimple* karakteristik, patahan hasil beban tarik *uniaxial*, 3300x. (b) SEM yang menunjukkan *spherical dimple* karakteristik hasil beban geser, 5000x (Callister, 2007)

b. Patah Getas

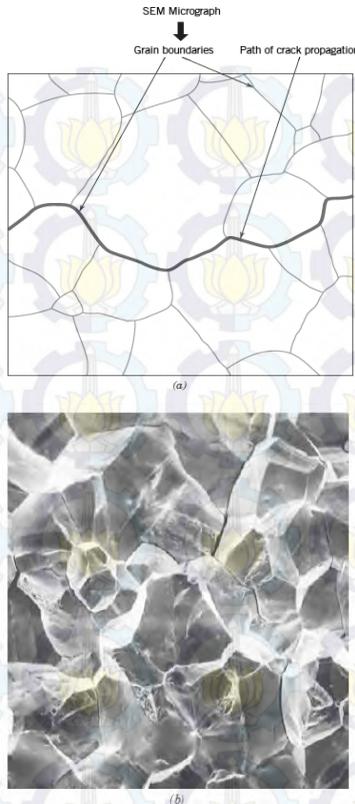
Patah getas sering terjadi tanpa adanya atau sedikit sekali terjadi deformasi plastis pada material. Retak/ patahan merambat sepanjang bidang-bidang kristalin yang membelah atom-atom material (*transgranular*). Kemudian pada material lunak dengan butir kasar (*coarse grain*) maka dapat dilihat pola-pola yang dinamakan *chevron* seperti Gambar 2.10 (a) atau patah getas permukaan terlihat garis atau daerah asal retakan disebut *fan pattern* seperti pada Gambar 2.10(b). Untuk hasil perambatan dan SEM, dapat terlihat jelas untuk retak yang melewati batas butir (*transgranular*) dan retak yang terjadi sepanjang batas butir (*intergranular*) pada gambar 2.11 dan 2.12.



Gambar 2.10: (a) Foto yang menunjukkan bentuk V “chevron” sebagai karakteristik patah getas. (b) Foto yang menunjukkan permukaan patah getas daerah asal retakan. (Callister,2007)



Gambar 2.11: (a) skema perambatan retak yang melewati butir (*transgranular*) (b) hasil SEM dari patah secara transgranular (Callister,2007)



Gambar 2.12: (a) skema perambatan retak yang terjadi sepanjang batas butir (*intergranular*) (b) hasil SEM dari patah secara *intergranular* (Callister,2007)

II. 7 Kegagalan Material Boiler

Dalam mempelajari penyebab kegagalan suatu material, diperlukan pemahaman tentang proses hingga terjadinya perpatahan. Secara umum proses terjadinya perpatahan diakibatkan oleh adanya aplikasi tegangan yang tinggi. Namun, perpatahan intergranular juga dapat terjadi akibat tegangan rendah pada temperatur tinggi.

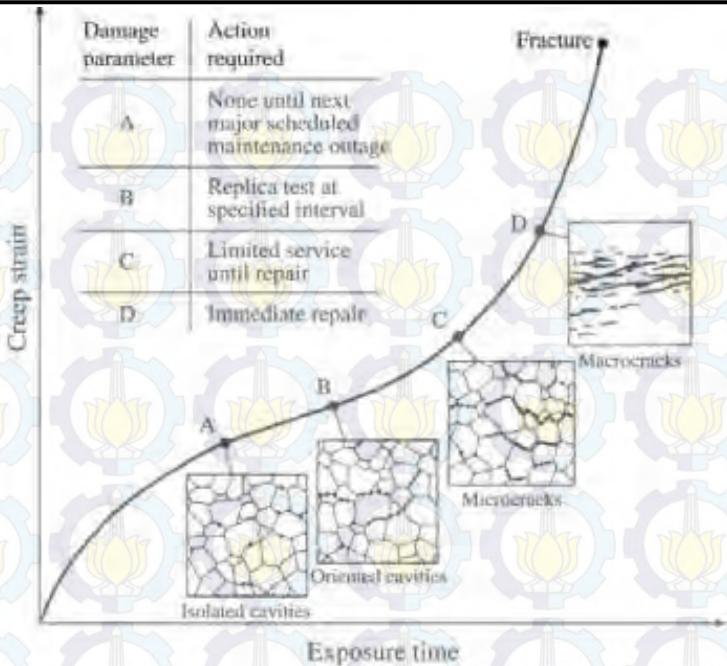


Permasalahan yang sering terjadi pada *steam boiler* adalah *creep*, dan juga oksidasi pada temperatur tinggi, disamping permasalahan lainnya. Pada *steam pipe*, dimana mempunyai bentuk berupa pipa dengan panjang tertentu, dapat memiliki konsentrasi tegangan pada daerah seperti siku (*elbow*) ataupun lekukan (*bent*) yang dapat menyebabkan *creep*. Walaupun tidak memiliki sambungan (*joint* ataupun *weld*), konsentrasi tegangan dapat juga terjadi pada daerah sepanjang *seam weld* (untuk jenis *seam weld-roll pipe*). Sehingga, kriteria desain suatu *steam pipe* untuk ketahanan *creep* selalu ditentukan pada saat produksi.

Rupture ductility dapat menjadi ukuran kekuatan *creep* suatu material, yang disebut *rupture life*. *Rupture life* juga dipengaruhi oleh kemampuan material dalam menjaga efisiensi termal, dalam arti proses perpindahan panas tidak mengalami hambatan akibat pengaruh lingkungan ataupun kondisi operasi. Terhambatnya perpindahan panas yang diakibatkan proses oksidasi pada material logam, dapat menaikkan temperatur permukaan yang melebihi batas kemampuan *creep* dimana menyebabkan perpatahan. (Neves. 2002)

Pada prinsipnya, logam paduan akan kehilangan keuletan selama dipergunakan pada temperatur tinggi. Hal ini ditunjukkan dari fungsi temperatur dan laju regangan dimana adanya daerah kritis untuk terjadinya penggetasan. Pada laju regangan tetap, nilai keuletan akan menurun dengan meningkatnya temperatur, yang dapat disebabkan oleh pengaruh nukleasi retak pada batas butir (*intergranular crack*) selama proses deformasi.

Seperti dijelaskan sebelumnya, cacat berupa cavity yang terdapat pada material sering menjadi indikator dalam menentukan perilaku *creep* suatu material, terutama baja. Menurut Neubauer and Wedel proses evolusi cavity dalam perilaku *creep* terjadi dalam empat tahap seperti ditunjukkan pada Gambar 2.13 Berdasarkan kurva tersebut, dapat diprediksi waktu terjadinya perpatahan serta tindakan yang harus dilakukan sebelum terjadinya perpatahan.



Gambar 2. 13 Perilaku creep material baja berdasarkan evolusi cavity (Neves, 2002)

II. 8 Penyebab Kerusakan *Tube Boiler*

Tube boiler yang bekerja pada temperatur tinggi sering mengalami kegagalan apabila tidak dilakukan pemilihan material, perawatan komponen, dan perencanaan komponen kurang baik. Berikut ini adalah sumber penyebab dari kerusakan *tube boiler* secara garis besar :

a. Deposit yang Terbentuk dari Proses Generasi Uap

Deposit dapat terjadi dimana saja di dalam boiler. Bagian yang paling sering terdapat deposit ada dibagian dinding dan *screen tubes*. *Superheater* dan *reheater* sering mengandung endapan yang terbentuk di tempat lain dan dibawa ke sistem dengan air boiler. Deposit dalam *tube boiler* ini biasanya terdiri



dari produk korosi yang berasal dari peralatan lainnya. Deposit bisa sangat besar selama proses pembentukan uap. Orientasi atau posisi tube dapat mempengaruhi lokasi dan jumlah penumpukan deposit. Deposit terberat biasanya terjadi disisi panas dari *tube* boiler. Karena pergerakan uap, akumulasi deposit sering terjadi di bagian atas *tube* horizontal dan *tube* miring. Deposit juga sering terjadi di sisi *downstream/downcomer* dan sisi pengelasan karena aliran di *tube* tersebut terganggu. Deposit boiler berasal dari 4 sumber yaitu mineral-mineral yang ada di air pengisi, unsur kimia air, produk korosi (dari peralatan lain), dan kontaminan lingkungan.



Gambar 2. 14 Deposit pada ekonomizer yang berasal dari peralatan lain (Port & Herro. 1991)

Proses pembentukan deposit dipengaruhi oleh bentuk konsentrasi terlarut dan tidak terlarut dalam film tipis yang berbatasan dengan permukaan logam selama proses uap dan gelembung-gelembung terjadi. Kecenderungan untuk membentuk deposit terkait dengan masuknya panas lokal, turbulensi, dan komposisi air pada atau yang dekat dinding pipa. Tekanan pipa yang rendah mendukung uap yang menjadi menumpuk dan membentuk deposit. Tegangan thermal oksida membantu proses deposit. *Thermal stress* oksida ini dapat diatasi dengan *spalling*. Pengelupasan thermal membentuk oksida di reheaters mentransfer panas ke air dan uap dalam saluran air panas.



b. Long-term Overheating

Long-term overheating adalah suatu kondisi dimana temperatur logam melebihi batas desain untuk dalam jangka waktu hari, minggu, bulan, atau lebih lama. Letak dari *tube* yang rentan mengalami *long-term overheating* yaitu dekat dengan burner. Penyebab kegagalan jenis ini lebih dominan terjadi dibandingkan dengan penyebab lainnya, karena baja sebagai unsur utama dalam konstruksi *tube* boiler akan kehilangan banyak kekuatannya pada temperatur tinggi. Tetapi apabila terdapat unsur paduan, terutama kromium dan molybdenum, meningkat, temperatur yang lebih tinggi dapat ditoleransi.

Bentuk kerusakannya seperti pada pipa yang miring atau melengkung karena penyaluran uap panas. Bagian *tube* ini terkadang mengalami *bulging* (bengkak) bahkan *rupture* (pecah) seperti pada gambar 2.15.



Gambar 2. 15 Kerusakan akibat *tube* sudah kehilangan kekuatannya pada pipa tekanan tinggi (Port & Herro. 1991)

Adanya *bulging* (bengkak) pada pipa biasanya digunakan untuk memprediksi sebelum pecah. *Bulging* (bengkak) pada pipa bentuknya bermacam-macam ada yang dangkal adapula yang landai. Dalam satu pipa ada pula yang sedikit. *Bulging* dapat menyebabkan melebarnya luas permukaan yang kemungkinan disebabkan panas dari pembakar secara lokal yang lebih besar. Kerusakan dari pipa yang mengalami *bulging* ini biasanya terlihat



bentuk retak yang jika terus terjadi akan mengalami *long-term overheating*, puncak dari tingkat kerusakan biasanya terlihat sobekan yang biasanya disebut *fish mouth* atau mulut ikan.

c. *Shor-term Overheating*

Shor-term overheating terjadi ketika temperatur *tube* naik di atas batas desain dalam jangka waktu yang singkat. Dikebanyakan kasus-kasus yang pernah terjadi, temperatur logam setidaknya 850°F (454°C) dan sering melebihi 1350°F (730°C). Tergantung pada temperatur, kegagalan dapat terjadi dalam waktu yang sangat singkat. Kegagalan biasanya disebabkan oleh operasional boiler diluar kondisi desainnya. Kondisi yang menyebabkan *short-term overheating* parsial karena aliran pendingin tidak memadai karena kondisi yang tidak sesuai atau masukan panas yang berlebihan.



Gambar 2. 16 Kegagalan akibat *short-term overheating* (Port & Herro. 1991)

d. *Caustic Corrosion*

Isitilah *caustic gouging* and *ductile gouging* mengacu pada interaksi pembentukan korosi pada konsentrasi yang cukup antara natrium hidroksida dengan logam untuk menghasilkan lengkungan setengah bole atau elips yang berbeda. Lengkungan ini dapat terisi oleh produk korosi padat yang kadang-kadang



Laporan Tugas Akhir Jurusan Teknik Material dan Metalurgi

mengandung kristal magnetit. Pada proses pembentukan tersebut, kerak deposit yang keras dan produk korosi yang mengandung kristal magnetit akan mengelilingi area yang diserang oleh reaksi tersebut. Permukaan logam yang terkena reaksi umumnya memiliki kontur mulus ataupun berulir.



Gambar 2. 17 Kegagalan akibat *caustic corrosion* (Port & Herro, 1991)

e. *Low-pH Corrosion*

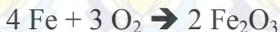
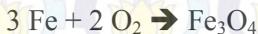
Kerusakan *tube* yang disebabkan oleh low-pH relatif jarang terjadi, namun dapat terjadi jika ada kontaminan masuk ke boiler dan pH air boiler kurang dari 5. Kontaminan yang dimaksud seperti asam kuat (asam klorida atau asam sulfat)



Gambar 2. 18 Kegagalan akibat *low-pH corrosion* (Port & Herro. 1991)

f. Oxygen Corrosion

Salah satu masalah korosi yang paling sering ditemui, hasil dari paparan oksigen terlarut terhadap unsur besi boiler. Karena sifat oksida besi secara alami terbentuk karena keadaan stabil besi itu, maka baja spontan akan kembali ke bentuk oksidanya ini jika kondisi termodinamika sesuai. Umumnya, kondisi ini terjadi jika baja yang tidak tercakup oleh bentuk pelindung oksida besi. Permukaan logam yang tidak dilindungi dapat disebabkan oleh 3 kondisi :

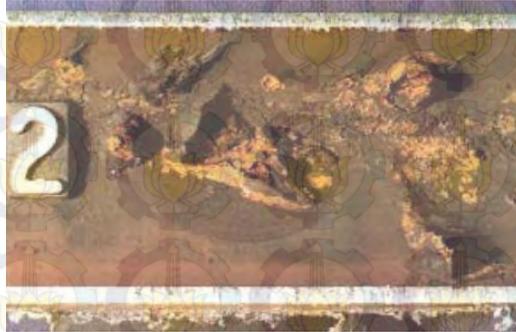


Kemungkinan produk korosi yang terbentuk adalah magnetite (Fe_3O_4), hematite (Fe_2O_3), dan besi oksida (FeO), tergantung dari konsentrasi oksigen dan temperatur. Produk ini, hanya terbentuk Fe_3O_4 sebagai lapisan permukaan padat yang mencegah serangan lebih lanjut yang mendasari dari logam. Oksida besi lainnya, Fe_2O_3 dan FeO terbentuk pada temperatur diatas 565°C , tidak membentuk lapisan pelindung padat, dan hasil korosi pada logam pokok pada tingkat yang sama.



Laporan Tugas Akhir Jurusan Teknik Material dan Metalurgi

Penyebab retak magnetit, karena sebagian besar untuk mekanik dan tegangan termal diinduksi selama operasi normal boiler. Tekanan meningkat selama boiler *start-up*, *shutdown* boiler, dan selama perubahan beban yang cepat. Namun, jika tingkat oksigen berlebihan tidak ada, baik selama operasi atau padam, celah-celah di magnetit tidak dapat diperbaiki sehingga korosi mulai terjadi.



Gambar 2. 19 Kegagalan akibat *oxygen corrosion* (Port & Herro, 1991)

g. *Coal-Ash Corrosion*

Saat proses pembakaran batubara, mineral dalam batubara ikut terbakar dan terjadi peningkatan temperatur. Temperatur tinggi ini menyebabkan pelepasan senyawa alkali yang mudah menguap dan sulfur oksida. *Coal-ash corrosion* terjadi ketika deposit *fly ash* menempel di permukaan *tube* ditemperatur berkisar antara 1050 sampai 1350°F (566 sampai 732°C). Seiring berjalan waktu, senyawa volatile alkali dan senyawa sulfur mengembun di *fly ash* dan bereaksi dengan logam *tube* membentuk sulfat alkali kompleks seperti $K_3Fe(SO_4)_3$ dan $Na_3Fe(SO_4)_3$ diantara *tube* dan deposit. Slag yang mencair mengalir ke oksida besi sebagai pelindung tabung menyebabkan oksida tersebut bereaksi. Akibatnya logam yang ada di bawah oksida besi tersebut akan terekos, dan mempercepat terjadinya oksidasi di keseluruhan bagian *tube*.



Gambar 2. 20 Kontur kasar dari permukaan *tube* akibat mekanisme *coal-ash corrosion* (Port & Herro. 1991)

h. Dew-Point Corrosion selama periode tidak beroperasi

Dew-Point Corrosion (korosi titik embun) dapat mengakibatkan korosi signifikan di permukaan logam selama periode idle. Saat boiler mendingin, suhu permukaan eksternal mungkin turun di bawah titik embun, yang memungkinkan terjadinya kelembaban di permukaan tabung. Kelembaban, berkombinasi dengan deposit belerang, dapat membentuk suatu elektrolit rendah pH yang mampu menghasilkan tingkat korosi 12,7 mm / tahun.



Gambar 2. 21 Kegagalan akibat *dew-point corrosion* (Port & Herro. 1991)



II. 9 Mekanisme Kegagalan

Sebuah komponen disebut mengalami kegagalan apabila terjadi kebocoran ataupun perpatahan pada material, dan/atau terdapat penipisan dinding material yang cenderung untuk menjadi kegagalan material, sehingga memerlukan penggantian. Seperti dijelaskan sebelumnya, kegagalan material boiler dapat berupa perpatahan creep dan juga korosi. Dan secara garis besar, Rogers mengklasifikasikan mekanisme kegagalan material boiler dalam:

1. *Stress Rupture*

Stress Rupture, adalah mekanisme kegagalan akibat tegangan yang dapat dipengaruhi oleh faktor internal dan eksternal. Kegagalan ini terjadi akibat: (1) adanya *overheating*, (2) *creep* pada temperatur tinggi, (3) cacat lasan karena material yang berbeda. *Overheating* terjadi dalam waktu yang singkat (*short-term*), dimana menurut Neves dipengaruhi oleh terhambatnya aliran proses karena pembentukan lapisan oksida internal di dalam boiler, tidak adanya sirkulasi pendinginan boiler, dan terjadinya *overfiring* oleh gas pembakar. (Neves. 2002) Terjadinya *creep* juga, seperti diketahui, dipengaruhi faktor eksternal maupun internal, seperti adanya deposit (abu, debu, ataupun *scale*), radiasi panas, imbas dari pemanasan gas yang terlalu tinggi, adanya tegangan sisa pada lasan, dan terakhir adalah pemilihan material yang salah.

2. *Water/gas-side corrosion*

Water/gas-side corrosion, yaitu proses korosi yang terjadi pada dinding *tube* bagian dalam yang dipengaruhi karena adanya air atau uap yang ada ditepi *tube*. Jenis korosi yang terjadi dapat berupa:

- (1) *caustic corrosion*, disebabkan karena adanya deposit akibat *heat flux*
 - (2) kerusakan akibat hidrogen,
 - (3) *pitting*, disebabkan karena adanya konsentrasi oksigen dan kontak dengan air
 - (4) SCC
-



3. *Fire-side corrosion*

Fire-side corrosion, yaitu proses korosi yang terjadi pada dinding luar *tube*. Masalah yang timbul dipengaruhi:

(1) rendahnya temperatur permukaan, (2) dinding *waterwall*, (3) kehadiran abu dari bahan bakar.

4. *Erosion*

Erosion, proses pengikisan yang disebabkan oleh aliran debu ataupun abu, jatuhnya *slag*, *soot blower*, dan partikel sisa pembakaran.

5. *Fatigue*

Fatigue, didefinisikan sebagai kegagalan akibat tegangan *cyclic*, yang dipengaruhi oleh: (1) vibrasi, (2) panas (termal), dan (3) proses korosi.

Kurangnya perhatian terhadap perawatan/ pemeliharaan kondisi komponen dari aspek: *cleaning*, *chemical*, material, dan kondisi lasan dapat menjadi penyebab utama terjadinya kegagalan dengan mekanisme seperti di atas. (Rogers, 2006)

II. 9 PENELITIAN SEBELUMNYA

1. Sariyusda dkk (2012) dalam penelitiannya menemukan tegangan izin material SA 213 lebih kecil dari tegangan yang terjadi sehingga menunjukkan terjadi panas yang berlebih (*overheating*) pada *tube superheater*. Dimana hasil dari pengamatan visual menunjukkan terjadinya peristiwa mengembung (*bulging*) dan mulut ikan (*fish mouth*). Komposisi kimia menunjukkan kandungan unsur kimia yang diizinkan masih dalam batas standar SA 213. Pada *tube superheater* terjadi deformasi pada daerah yang pecah yang menandakan menurunnya kekuatan material seiring dengan kenaikan nilai kekerasan. Dari mikrostruktur menunjukkan terjadinya peristiwa dislokasi pada batas butir dimana pecah secara intragranular dengan perpatahan *brittle*.



Laporan Tugas Akhir Jurusan Teknik Material dan Metalurgi

2. Silaban (2007) mengemukakan bahwa dengan adanya deposit pada pipa maka akan mengakibatkan terganggunya perpindahan panas ke air ketel, sehingga temperature pipa semakin meningkat. Pada temperatur yang semakin meningkat kekerasan pipa semakin menurun. Peningkatan temperatur juga diikuti dengan perubahan struktur mikro yaitu terjadinya dekomposisi fasa perlit menjadi ferit dan sferoid karbida, yang menyebabkan pipa menjadi lebih lunak, sehingga dengan adanya tekanan uap maka dapat menyebabkan terjadinya deformasi yang mengakibatkan pipa menjadi *bulging*.

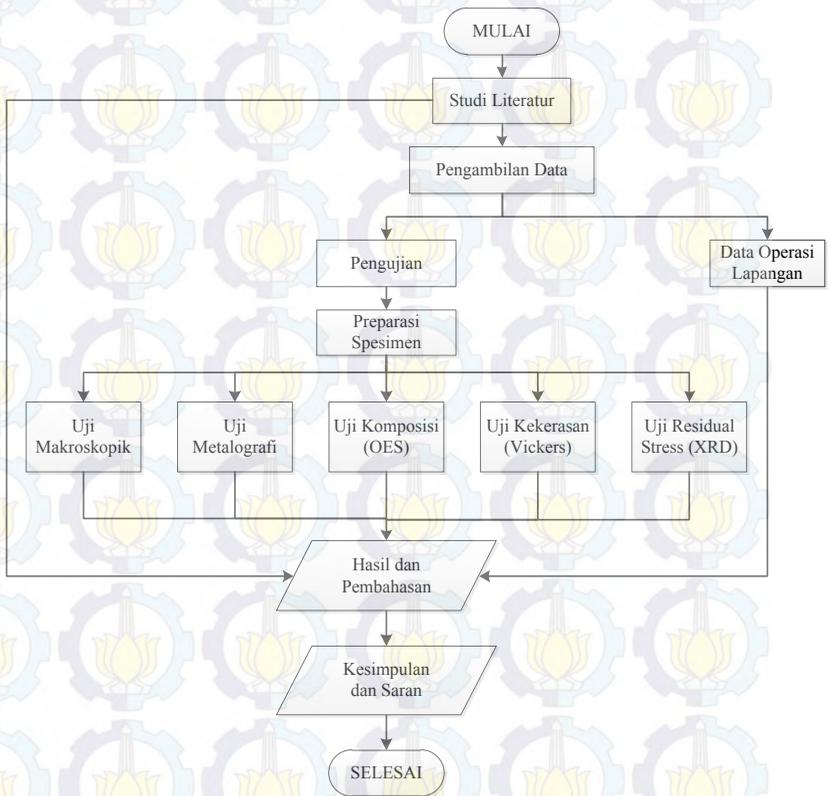


(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

III. 1 Diagram Alir Penelitian

Pelaksanaan penelitian analisa kegagalan *hanger tube outlet section secondary superheater* ini dilakukan beberapa langkah-langkah penelitian seperti ditunjukkan dalam Gambar 3.1 dibawah ini.



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian



III. 2 Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini antara lain studi lapangan, studi literatur, dan penelitian di laboratorium. Studi lapangan mengacu pada pencarian informasi tentang komponen yang akan diteliti beserta informasi tentang keagalannya dengan cara terjun langsung ke lapangan yaitu di PT. PJB UP. Gresik. Studi literatur mengacu pada buku-buku, jurnal penelitian terbaru, dan situs industri yang mempelajari permasalahan analisa kegagalan pada *hanger tube outlet section secondary superheater*. Sedangkan penelitian di laboratorium mengacu pada pengujian-pengujian yang mendukung proses analisa. Pengujian yang dilakukan antara lain uji makroskopik, uji komposisi kimia, uji metallografi, uji kekerasan, dan uji XRD.

III. 3 Bahan Penelitian

Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah *hanger tube outlet section secondary superheater*, yaitu standart JIS STBA 24 yang dikonversikan ke ASTM A213 T22. Komposisi standart dari ASTM A213 T22 ini disajikan pada Tabel 3.1 serta sifat mekanik yang disajikan pada Tabel 3.2.

Tabel 3. 1 Komposisi *hanger tube outlet section secondary superheater* berdasarkan ASTM A213 T22

Unsur	Komposisi (%)
Karbon	0,05 - 0,15
Kromium	1,90 – 2,60
Mangan	0,30 – 0,60
Molibdenum	0,87 – 1,13
Fosfor	≤ 0,025
Silicon	≤ 0,05
Sulfur	≤ 0,025



Tabel 3. 2 Sifat mekanik tube secondary superheater berdasarkan ASTM A213 T22

Sifat Mekanik	Nilai
Kekuatan tensile, min [Mpa]	415
Kekuatan yield, min [Mpa]	205
Elongation in 2 in atau 50 mm, min, %	30

III. 4 Alat-alat Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah

1. Penggaris
2. Alat pemotong
3. Mesin grinding dan polishing
4. Resin
5. Kertas gosok dari grade 80 - 2000
6. Larutan etsa
7. Mikroskop stereo
8. Mesin OES
9. Mikroskop optik
10. Mesin uji kekerasan
11. Mesin XRD

III. 5 Tahapan Penelitian

5.1 Data Operasional Lapangan

Review dokumen perusahaan dilakukan untuk mendapatkan data-data perusahaan yang mendukung penelitian. Data-data yang diambil antara lain :

1. Spesifikasi boiler
2. Data operasi
3. Spesifikasi material

5.2 Preparasi Spesimen

Pertama, sampel specimen diambil dari tube secondary superheater yang mengalami kegagalan. Karena dimensi yang terlalu besar untuk dilakukan pengujian, maka diperlukan proses pemotongan untuk mendapatkan bagian yang ingin



diteliti. Proses pemotongan ini dilakukan dengan menggunakan gergaji dan gerinda tangan.

a. Pengamatan Makroskopik

Pengamatan makroskopik dilakukan untuk mengetahui bentuk, tampilan, dan lokasi komponen yang mengalami kegagalan secara makro (kasat mata). Pengamatan ini dilakukan dengan menggunakan mikroskop stereo *Stemi DV 4* yang berada di Laboratorium Metalurgi Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS. Berikut pada Gambar 3.1 merupakan gambar dari alat mikroskop stereo *Stemi DV 4*.



Gambar 3. 2 Pengamatan secara makro dengan menggunakan alat mikroskop stereo *Stemi DV 4*



Laporan Tugas Akhir Jurusan Teknik Material dan Metalurgi

b. Pengujian Komposisi OES (*Optical Emission Spectroscopy*)

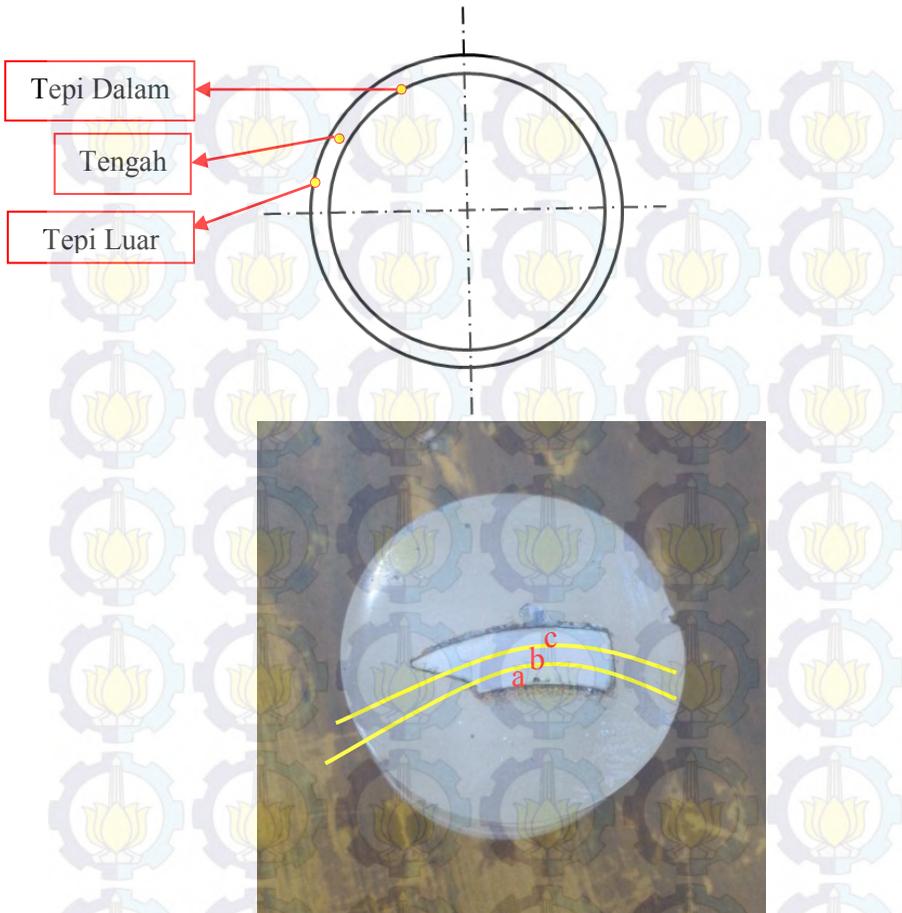
Identifikasi kimia dilakukan untuk mengetahui unsur apa saja yang terdapat pada *hanger tube outlet section secondary superheater* yang mengalami kegagalan secara kuantitatif yang kemudian dibandingkan dengan komposisi standart dari ASTM A213 T22. Pada indentifikasi komposisi kimia ini dilakukan dengan metode OES (*Optical Emission Spectroscopy*) di PT. Barata Indonesia yang berada di Gresik.

c. Pengujian Mikroskop Optik

Pengamatan mikroskop optik dilakukan untuk menganalisa fasa, bentuk, dan ukuran struktur mikro. Hal ini dilakukan untuk mengetahui proses manufaktur yang terjadi pada material tersebut. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan mikroskop optik.

Pada pengujian metallografi dibagi menjadi dua tahap, yaitu :

1. Tahap persiapan
 - *Mounting* : Membuat cetakan pada spesimen dengan resin agar penggosokan menjadi lebih mudah.
 - *Grinding* : Menggosok spesimen dengan kertas gosok grade 80 – 2000 dan dialiri dengan air. Spesimen diputar 90° atau tegak lurus terhadap arah gosokan ketika pindah grade.
 - *Polishing* : Memoles spesimen dengan pasta alumina diatas piringan yang berputar cepat. Proses ini akan menghasilkan permukaan yang mengkilatseperti cermin.
 - *Etching* : Mencilup permukaan spesimen ke dalam larutan nital 2% (Alkohol 98% dan HNO₃ 2%) yang sesuai dengan *ASM Metals Handbook volume 09 2004* selama 3 detik



Gambar 3. 3 Spesimen uji untuk uji metalografi dan uji kekerasan (a) tepi dalam, (b) tengah, dan (c) tepi luar

2. Tahap pengamatan
 - Tahap pengamatan dilakukan untuk mengamati struktur mikro spesimen dengan menggunakan mikroskop optik dengan beberapa kali perbesaran dengan menggunakan mikroskop optik *Olympus*



Laporan Tugas Akhir Jurusan Teknik Material dan Metalurgi

BX51M-RF yang berada di Laboratorium Metalurgi Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS. Berikut pada Gambar 3.4 merupakan alat mikroskop optik *Olympus BX51M-RF*.



Gambar 3. 4 Mikroskop optik *Olympus BX51M-RF*

d. Pengujian Kekerasan Vickers

Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui distribusi kekerasan dengan melakukan indentasi di beberapa titik pada sampel material. Pengujian ini dilakukan dengan metode Vickers dimana dalam pengujiannya menggunakan indentor piramida intan, pembebanan sebesar 60 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 dan disajikan pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5 *Universal Hardness Tester HBRV 187.5A*

e. Pengujian XRD

Pengujian ini digunakan untuk mengidentifikasi unsur/senyawa (analisa kualitatif) dan penentuan komposisi (analisa kualitatif). Namun pada penelitian ini dilakukan untuk menghitung tegangan sisa (*residual stress*) pada bagian permukaan benda uji dengan menggunakan analisa *Rietveld* dengan menggunakan program *Rietica* dan MAUD.



Gambar 3.6 *PAN Analytical*

XRD ini dilakukan dengan menggunakan PAN Analytical yang terdapat pada Gambar 3.6 dimana alat ini berada di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4. 1. Data Operasi Lapangan

Tube outlet section secondary superheater boiler di PLTU unit 3 buatan Ishikawajima-Harima Heavy Industries yang memiliki kapasitas nominal sebesar 643000 kg/jam milik PT. PJB UP. Gresik ini mengalami *rupture* (pecah) ketika proses produksi sedang berlangsung.

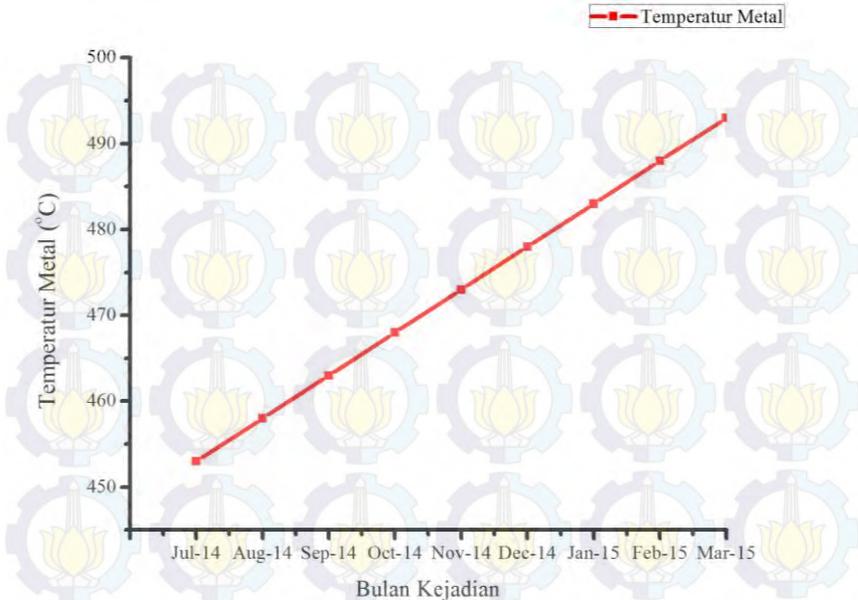
Berikut ini merupakan kronologi kejadian yang terjadi pada PLTU 3 sampai ditemukannya adanya indikasi kebocoran yang terdapat pada Tabel 4.1

Tabel 4. 1 Kronologi Kejadian pada PLTU unit 3

Tanggal	Kejadian
17-19 Juli 2015	PLTU unit 3 mengalami Reserve Shutdown (RSH)
22 Juli 2015	Ada indikasi kebocoran <i>tube boiler</i>
23-27 Juli 2015	PLTU unit 3 <i>shutdown</i> , dan ditemukan kebocoran pada <i>tube secondary superheater</i>

Kejadian ini membuat PLTU unit 3 mengalami shut down selama 4 hari untuk melakukan pergantian *tube* yang pecah sehingga mengganggu waktu operasional dari unit dan pada akhirnya menurunkan produksi listrik.

Berikut ini merupakan data temperatur *hanger tube outlet section secondary superheater* sampai bulan Maret pada Gambar 4.1. Dari Gambar 4.1 terlihat bahwa terjadi kenaikan temperatur sebesar $\pm 3^{\circ}\text{C}$ setiap bulan yang terjadi terus menerus secara linier dari bulan Juli 2014 sampai bulan Maret 2015 sehingga diperkirakan pada saat terjadinya pecah pada bulan Juli terjadi kenaikan temperatur yang signifikan.



Gambar 4. 1 Temperatur Material *Hanger Tube Outlet Section Secondary Superheater*

4.2 Hasil Pengujian

4.2.1 Hasil Pengujian Komposisi Kimia

Berikut ini adalah hasil uji spektrometri dari *tube outlet section secondary superheater boiler* yang terbuat dari material ASTM A213 T22 yang ditampilkan pada Tabel 4.2

Tabel 4. 2 Hasil Pengujian Komposisi

Unsur	ASTM A213 T22	Komposisi (%)
C	0,05 - 0,15	0,0744
Cr	1,90 – 2,60	9,07
Mn	0,30 – 0,60	0,529
Mo	0,87 – 1,13	2,22
P	≤ 0,025	0,0181
Si	≤ 0,5	0,206



Unsur	ASTM A213 T22	Komposisi (%)
S	$\leq 0,025$	0,0090
Ni	-	0,0765
Al	-	0,0073
Co	-	0,0157
Cu	-	0,0167
Nb	-	0,0063
Ti	-	$< 0,0010$
V	-	0,0097
W	-	0,0230
Pb	-	0,0036
Sn	-	$< 0,0005$
B	-	0,0008
Ca	-	0,0002
Se	-	$< 0,0035$
N	-	0,0862

Berdasarkan hasil pengujian komposisi pada Tabel 4.2, ada beberapa unsur-unsur yang tidak diketahui pada standar ASTM A213 T22 tapi ditemukan pada pengujian spektrometri yaitu Nikel (Ni), Aluminium (Al), Kobalt (Co), Tembaga (Cu), Niobium (Nb), Titanium (Ti), Vanadium (V), Tungsten (W), Timbal (Pb), Timah (Sn), Boron (B), Kalsium (Ca), Selenium (Se), Nitrogen (N) yang memiliki konsentrasi tidak terlalu signifikan dibanding dengan unsur-unsur lain setelah dilakukan uji spektrometri.

Selanjutnya, ditemukan juga perbedaan konsentrasi atau kadar dari unsur-unsur yang telah ada dari standar yaitu terletak pada kromium (Cr) dan molybdenum (Mo). Kadar kromium pada ASTM A213 T22 menunjukkan bahwa persen (%) kromium adalah 1,90 – 2,60 sedangkan pada hasil pengujian spektrometri persen (%) kromium adalah 9,07 yang sangat jauh dari standar. Sedangkan untuk kadar molybdenum pada ASTM A213 T22 menunjukkan persen (%) molybdenum adalah 0,87 – 1,13



sedangkan pada hasil pengujian spektrometri persen (%) molybdenum adalah 2,22.

4.2.2 Hasil Pengujian Makroskopik

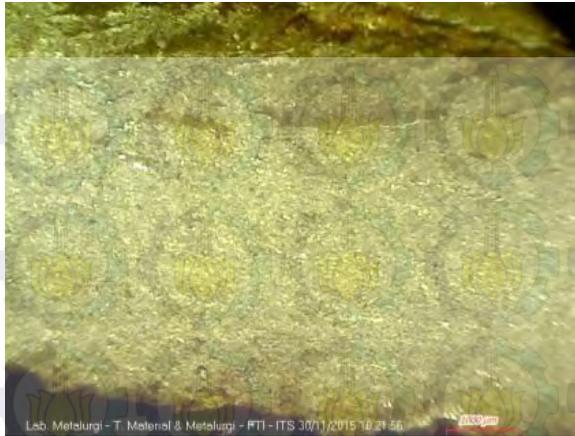
Berikut ini adalah hasil dari pengamatan secara makroskopik dari *Hanger Tube Outlet Section Secondary Superheater* yang mengalami kegagalan.

Fish mouth effect



Gambar 4. 2 *Fishmouth Effect* dari *Hanger Tube Outlet Section Secondary Superheater*

Pengamatan yang dilakukan secara makroskopik menunjukkan pipa mengalami pemanasan yang berlebih (*overheating*). Ini ditandai dengan terjadinya mulut ikan (*fishmouth effect*) seperti yang terlihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4. 3 Hasil Mikroskop Stereo

Dari hasil pengujian dengan menggunakan mikroskop stereo spesimen uji terlihat mengkilap dan relatif rata dengan bentuk berbutir (*granular*).

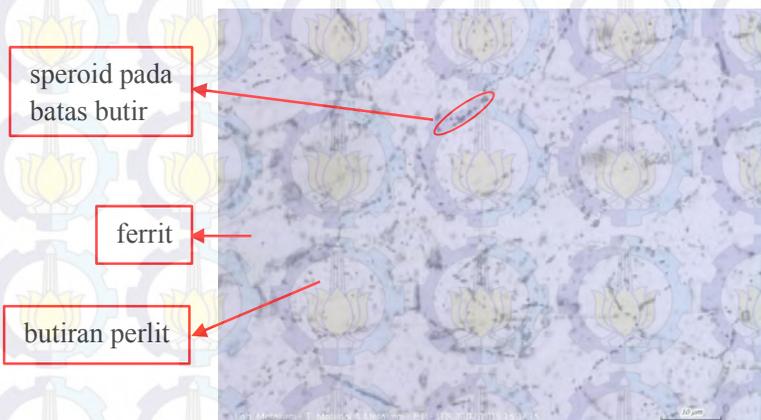
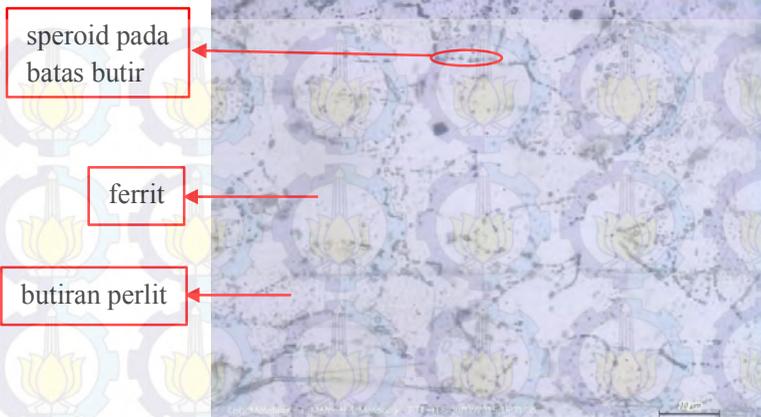
4.2.3 Hasil Pengujian Metalografi

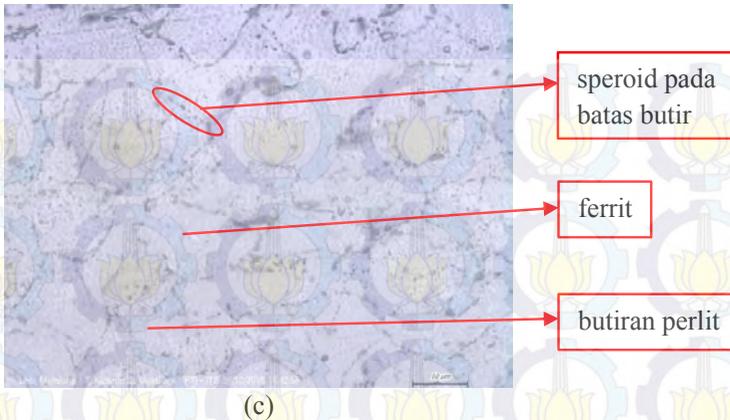
Dari pengujian metalografi terlihat struktur mikro dari spesimen yang diamati dibawah mikroskop optik. Pengujian struktur mikro ini menggunakan ASTM E3-01.

Dari hasil pengujian struktur mikro yang dilihat dibawah mikroskop optik pada bagian tepi dalam, tengah, dan tepi luar seperti pada gambar 3.3 sehingga didapatkan gambar struktur mikro pada bagian yang dekat dari pecah dan yang jauh dari pecah sebagai berikut :



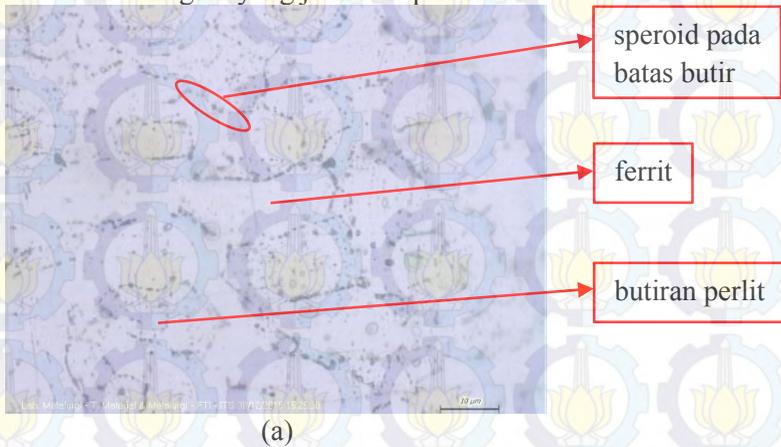
A. Bagian yang dekat dari pecah

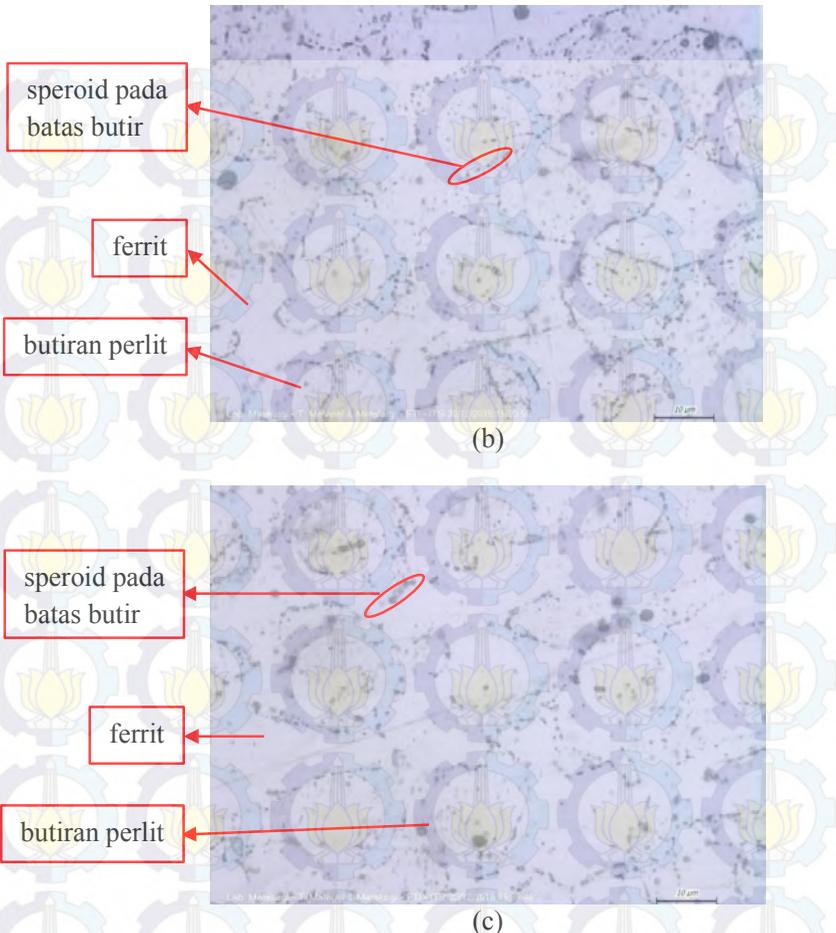




Gambar 4. 4 Struktur mikro dengan perbesaran 100x bagian dekat pecah pada: (a) tepi dalam, (b) tengah, dan (c) tepi luar

B. Bagian yang jauh dari pecah





Gambar 4. 5 Struktur mikro dengan perbesaran 100x bagian jauh dari pecah pada: (a) tepi dalam, (b) tengah, dan (c) tepi luar

Dari hasil pengujian metalografi pada Gambar 4.5 dan Gambar 4.5 didapatkan struktur mikro berupa spheroid yang terbentuk menjadi bulat-bulatan gelap pada batas butir dengan fasa ferrit dan butiran perlit pada material uji baik di daerah yang dekat dari pecah maupun yang jauh dari pecah. Dimana pada



bagian tengah memiliki batas butir yang lebih kecil sehingga menyebabkan daerah tengah memiliki kekerasan yang lebih tinggi diantara daerah tepi dalam dan tepi luar.

4. 2.4 Hasil Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan bertujuan untuk mengetahui distribusi kekerasan pada *hanger tube outlet section secondary superheater* pada bagian tepi dalam, tengah, dan tepi luar seperti pada Gambar 3.3.

Pengujian ini disesuaikan dengan standar uji kekerasan *Vickers* pada ASTM E92-82 dengan 3 titik indentasi pada masing-masing daerah yang dekat dari pecah dan jauh dari pecah dengan beban yang diberikan yaitu 60-kgf. Berikut ini adalah hasil pengujian kekerasan yang ditampilkan pada tabel

Tabel 4. 3 Data Hasil Uji Kekerasan Daerah Dekat dari Pecah (*Hardness Vickers*)

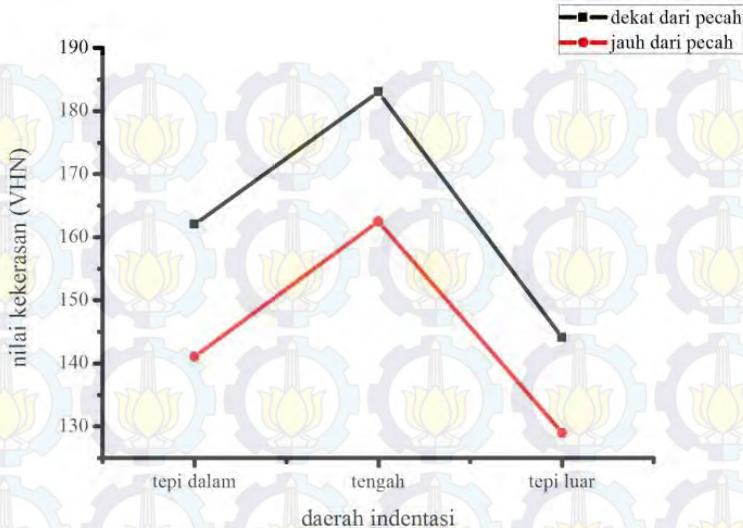
Posisi Titik Indentasi	Angka Kekerasan Spesimen (VHN)	Rata-rata Angka Kekerasan Spesimen (VHN)
Tepi Dalam	165	162
	156	
	165	
Tengah	199	183
	169	
	181	
Tepi Luar	143	144
	151	
	138	



Tabel 4. 4 Data Hasil Kekerasan Daerah Jauh dari Pecah
(*Hardness Vickers*)

Posisi Titik Indentasi	Angka Kekerasan Spesimen (VHN)	Rata-rata Angka Kekerasan Spesimen (VHN)
Tepi Dalam	131	141
	141	
	151	
Tengah	162	162
	162	
	162	
Tepi Luar	126	129
	132	
	129	

Dari hasil uji kekerasan pada Tabel 4. 3 dan Tabel 4. 4 didapatkan nilai kekerasan pada daerah yang dekat dari pecah yaitu di tepi dalam, tengah, dan tepi luar secara berturut-turut yaitu 162,0523 VHN, 182,9883 VHN, 144,0677 VHN sedangkan pada yang terdapat pada daerah yang jauh dari pecah yaitu di tepi dalam, tengah, dan tepi luar secara berturut-turut yaitu 141,0292 VHN, 162,452 VHN, 128,9792 VHN. Dari hasil tersebut dapat dilihat pada daerah tepi dalam dan tepi luar baik pada daerah yang dekat dari pecah maupun daerah yang jauh dari pecah memiliki nilai kekerasan yang lebih rendah dibandingkan dengan bagian tengah. Pada daerah yang dekat dari pecah memiliki nilai kekerasan yang lebih tinggi daripada komponen yang jauh dari pecah. Untuk memperjelas perbandingan distribusi kekerasan rata-rata pada setiap daerah, berikut ini ditampilkan diagram yang menunjukkan rata-rata ketiga titik pada masing-masing daerah pada Gambar 4.6



Gambar 4. 6 Perbandingan nilai distribusi kekerasan rata-rata ketiga daerah pada bagian yang jauh dari pecah dan dekat dari pecah

4.2.5 Hasil Analisa Rietveld

Analisa Rietveld bertujuan untuk menganalisa tegangan dan regangan sisa dengan metode Rietveld pada *hanger tube outlet section secondary superheater*. Dimana analisa ini menggunakan Program Rietica dan MAUD berdasarkan data pengujian difraksi sinar-X. Hasil output dari program Rietica dapat dilihat pada Tabel 4.5 dan hasil perhitungan regangan dan tegangan sisa pada *hanger tube outlet section secondary superheater* dapat dilihat pada Tabel 4.6

Tabel 4. 5 Hasil Output Program Rietica pada *hanger tube outlet section secondary superheater*

Bagian	Rp	Rwp	\bar{X}^2
Dekat dari Pecah	9,654	12,384	2,818
Jauh dari Pecah	8,528	13,185	4,490



Tabel 4. 6 Hasil Perhitungan Regangan dan Tegangan Sisa

Bagian	Regangan	Tegangan (GPa)
Dekat dari Pecah	0,79168	162,2944
Jauh dari Pecah	0,58585	120,0993

4.3 Pembahasan

Diawali dengan pengujian spektrometri untuk mengidentifikasi kecocokan komposisi kimia antara kondisi nyata dan standarnya, hasil dari uji spektrometri ini menunjukkan material ini tergolong baja kromium molybdenum dengan standar ASTM A213 T22 namun terdapat perbedaan komposisi pada bagian kromium dan molybdenum. Dimana kadar kromium pada ASTM A213 T22 menunjukkan bahwa persen (%) kromium adalah 1,90 – 2,60 sedangkan pada hasil pengujian spektrometri persen (%) kromium adalah 9,07 yang sangat jauh dari standar. Sedangkan untuk kadar molybdenum pada ASTM A213 T22 menunjukkan persen (%) molybdenum adalah 0,87 – 1,13 sedangkan pada hasil pengujian spektrometri persen (%) molybdenum adalah 2,22 yang masih tidak begitu jauh dari standar. Dari perbedaan kromium dan molybdenum yang ada, maka bisa dikatakan spesifikasi material untuk *hanger tube outlet section secondary superheater* milik PT. PJB UP. Gresik ini tidak sesuai standar yang ada pada ASTM A213 T22.

Presentase dari unsur karbon yang mencapai 0,0744% menunjukkan bahwa *hanger tube outlet section secondary superheater* ini termasuk ke dalam jenis baja karbon rendah. Analisa unsur paduannya akan dilakukan pada Tungsten (W), Kromium (Cr), Vanadium (V), Molybdenum (Mo), Cobalt (Co) dimana unsur-unsur inilah yang berpengaruh pada temperatur tinggi. Tungsten (W) dapat membentuk karbida yaitu paduan yang sangat keras (Fe_4W_2C) yang menyebabkan kenaikan temperatur untuk proses hardening dan tempering. Kromium (Cr) dapat menaikkan hardenability dimana kromium ini merupakan elemen pembentuk karbida, akan tetapi Kromium ini menaikkan



sensitifitas terhadap *overheating*. Sedangkan Vanadium (V) akan menurunkan sensitifitas terhadap *overheating* serta menghaluskan batas butir dan juga merupakan elemen pembentuk karbida. Molybdenum (Mo) dapat menaikkan *hardenability* namun lebih sensitif terhadap *overheating*. Cobalt (Co) untuk menaikkan ketahanan keausan. (Sugito, 2005) Dari analisa unsur paduan ini dapat kita ketahui bahwa dengan kadar kromium (Cr) yang melebihi standar makan akan menaikkan sensitifitas terhadap *overheating* begitu juga dengan molybdenum (Mo). Sehingga dengan berlebihnya unsur kromium (Cr) dan molybdenum (Mo) ini akan mendorong *hanger tube outlet section secondary superheater terjadi overheating*.

Namun apabila ditinjau dari komposisinya, *hanger tube outlet section secondary superheater* ini lebih mendekati standart ASTM A213 T9 yang dapat dilihat pada Tabel 4.7 berikut ini

Tabel 4. 7 Tabel perbandingan antara ASTM A213 T22 dan ASTM A213 T9 terhadap hasil uji komposisi

Unsur	ASTM A213 T22	Komposisi (%)	ASTM A213 T9
C	0,05 - 0,15	0,0744	$\leq 0,15$
Cr	1,90 – 2,60	9,07	8,00 – 10,00
Mn	0,30 – 0,60	0,529	0,30 – 0,60
Mo	0,87 – 1,13	2,22	0,90 – 1,10
P	$\leq 0,025$	0,0181	$\leq 0,025$
Si	$\leq 0,5$	0,206	0,25 – 1,00
S	$\leq 0,025$	0,0090	$\leq 0,025$

Dari Tabel 4.6 dapat kita lihat bahwa kadar kromium dari *hanger tube outlet section secondary superheater* lebih cocok dengan ASTM A213 T9. Untuk kadar molybdenum sama-sama tidak memenuhi standar diantara ASTM A123 T22 dan ASTM A213 T9. Namun kadar silicon 0,206 berada sedikit dibawah standar ASTM A213 T9 yaitu 0,25-1,00.



Pengamatan yang dilakukan secara visual kegagalan *tube* menunjukkan pipa mengalami pemanasan yang berlebihan (*overheating*). Ini ditandai dengan terjadinya mulut ikan “*fish mouth effect*”. Pada mikroskop stereo memperlihatkan terjadinya patah getas (*brittle*) yang terlihat mengkilap dan relatif rata dengan bentuk berbutir (*granular*)

Bila dilihat dari hasil metalografi, pada bagian yang tepi dalam, tengah, dan tepi luar tidak ada perbedaan yang terlalu signifikan. Begitu pula pada bagian yang jauh dari retak maupun dekat dari retak. Hal ini menunjukkan struktur mikro yang homogen pada material. Fasa yang terbentuk yaitu berupa spheroid yang terbentuk menjadi bulat-bulatan gelap pada batas butir dengan fasa ferrit dan butiran perlit pada material uji. Spheroid ini merupakan endapan karbida yang telah terdifusi dan mengendap pada batas butir. Hal ini yang menyebabkan terjadinya penurunan sifat mekanis pada material ini (Wijonarko, 2012) dan apabila terus berlangsung maka akan menyebabkan ruang kosong (*formation of void*) sepanjang batas butir dan peristiwa pemisahan butir akibat tegangan. (Sariyusda, 2012) Dimana tegangan ini mengakibatkan *tube* akan pecah atau gagal.

Pada bagian tepi dalam dan tepi luar memiliki nilai kekerasan yang lebih rendah dibandingkan di bagian tengah. Hal ini dikarenakan adanya pengaruh temperatur dari dalam pipa berupa *super saturated steam* pada tepi dalam pipa dan juga panas dari burner pada tepi luar pipa yang dapat menurunkan kekerasan sehingga pada bagian tengah pipa mengalami memiliki nilai kekerasan yang lebih tinggi. Lebih rendahnya kekerasan pada bagian tepi dalam dan tepi luar akan menyebabkan *tube* menjadi lebih lunak sehingga dengan adanya tekanan uap dari dalam *tube* maka dapat menyebabkan terjadinya deformasi yang mengakibatkan pipa *bulging* (Silaban, 2007). Hal ini disertai dengan menurunnya kekuatan tetapi material menjadi rapuh (*brittle*). Hal ini mengindikasikan bahwa pada daerah tersebut terjadi *long term overheating*, sehingga *tube* mengalami pecah.



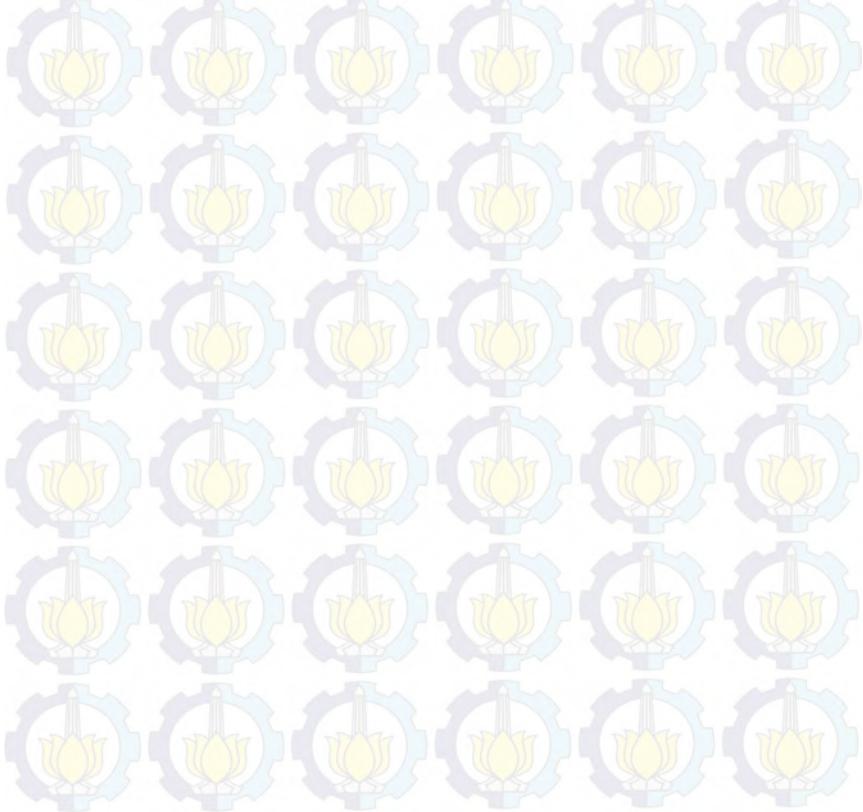
Bila dilihat dari hasil analisa *Rietveld* yang digunakan untuk menghitung analisa regangan dan tegangan sisa dapat diketahui bahwa daerah yang dekat dari pecah memiliki nilai regangan dan tegangan sisa yang lebih besar dibandingkan dengan daerah yang jauh dari retak sehingga dapat meningkatkan nilai *yield strength* sehingga memicu laju regangan *crack* dan pertumbuhan *crack* menjadi lebih besar (Tajalla, 2015). Tegangan sisa yang semakin besar ini dapat menyebabkan *tube* mengalami kegagalan atau pecah.

Pengaruh lingkungan begitu signifikan mempengaruhi kegagalan ini. Dimana dari data operasi menunjukkan bahwa PLTU sempat mengalami *shut down* selama 4 hari. Kemudian setelah beroperasi kembali, muncul adanya indikasi kebocoran. Hal ini dapat disebabkan karena adanya *shock thermal* pada material yang telah mengalami *long term overheating* dimana sebelumnya mengalam *shut down* dan kemudian beroperasi. Dari Gambar 4.1 yang memperlihatkan bahwa terjadi kenaikan temperatur secara linear dengan penambahan temperatur $\pm 3^{\circ}\text{C}$ setiap bulan maka dapat diprediksikan bahwa saat kejadian pecah bulan Juli temperatur pada material *hanger tube outlet section secondary superheater* yaitu mencapai 513°C .

Mekanisme terjadinya kegagalan yang terjadi tergolong pada *Stress Rupture*. Dimana kegagalan ini terjadi karena: (1) adanya *overheating*, (2) creep pada temperatur tinggi. (Rogers, 2006). Terjadinya *overheating* ini dipicu karena berlebihnya kadar kromium yang terdapat pada *hanger tube outlet section secondary superheater* sehingga menyebabkan *tube* menjadi lebih sensitif terhadap *overheating* (Sugito, 2005). *Overheating* yang terjadi pada komponen adalah jenis *long term overheating* karena terjadi kenaikan temperatur material secara perlahan dari bulan ke bulan. *Long term overheating* ini menyebabkan terjadinya perubahan struktur mikro fasa perlit, dimana fasa perlit yang semula berbentuk lamelar berubah menjadi butiran perlit (Hu, 2012). Perubahan struktur mikro ini diikuti dengan terbentuknya sferoid karbida pada batas butir. Perubahan struktur mikro ini



menyebabkan turunnya sifat mekanik material. Pada saat *tube* mengalami *shut down* maka akan menyebabkan penurunan temperatur material. Pada saat proses *start up* maka akan terjadi kenaikan temperatur pada material dimana uap belum terbentuk sepenuhnya. Sehingga menyebabkan terjadinya kekurangan aliran fluida yang masuk ke *tube*. Flux panas yang besar disertai dengan adanya uap tipis akan mengakibatkan temperatur dinding *tube* menjadi tinggi sekali. Hal ini menimbulkan adanya lapisan uap tipis yang mempunyai konduktivitas panas yang rendah, sehingga *tube* mengalami kegagalan atau pecah. (Sariyusda, 2012)



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

V. 1 Kesimpulan

1. Faktor utama penyebab kegagalan pada *hanger tube outlet section secondary superheater* adalah adanya *long term overheating* dan creep pada temperatur tinggi.
2. Mekanisme terjadinya kegagalan diawali dengan berlebihnya unsur kromium dari standar ASTM A213 T22 dimana unsur kromium menyebabkan material *hanger tube outlet section secondary superheater* lebih sensitif terhadap *overheating*. Dengan terjadinya *long term overheating* pada material menyebabkan perubahan struktur mikro fasa perlit, dimana fasa perlit yang semula berbentuk lamelar berubah menjadi butiran perlit. Perubahan struktur mikro ini diikuti dengan terbentuknya sferoid karbida pada batas butir. Hal ini menurunkan sifat mekanik material. Sehingga pada saat terbentuk uap tipis pada dinding *tube* saat proses *start up* menyebabkan temperatur di dinding *tube* menjadi tinggi. Dimana uap ini mempunyai konduktivitas yang rendah sehingga dapat menyebabkan *tube* mengalami kegagalan atau pecah.

V. 2 Saran

1. Dilakukan pengecekan awal komposisi material *hanger tube outlet section secondary superheater* sebelum digunakan agar tidak terjadi ketidaksesuaian komposisi.
2. Perlu dilakukan kontrol temperatur secara ketat agar tidak terjadi *overheating* pada material.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- _____, 1986. *ASM Metals Handbook 10th Edition Vol.13: Corrosion*. Ohio, Amerika: ASM Internasional
- _____, 2002. *Spheroidization evaluation standard of 12Cr1MoV steel used in power plant*. DL/T 773-2001
- _____, 2003. *ASTM E92 - 82 : Standard Test Method for Vickers Hardness for Metallic Materials*. Material Park: ASTM Internasional
- _____, 2004. *ASM Metals HandBook Volume 9 - Metallography and Microstructure*. Material Park: ASM International.
- _____, 2006. *ASTM A213/A213M – 06a : Standard Specification for Seamless Ferritic and Austenitic Alloy-Steel Boiler, Superheater, and Heat-Exchanger Tubes*. West Conshocken: ASTM Internasional.
- _____, 2007. *ASTM E3 - 01 : Standard Guide Preparation for Metallographic Specimen*. West Conshohocken: ASTM International.
- _____, 2012. *Handbook PT. PJB UP. Gresik*. Gresik : Program CSR
- _____, *Linee guida per la valutazione di vita residua per componenti in regime di scorrimento viscoso* ISPESL (Istituto Superiore per la Prevenzione e la Sicurezza del Lavoro) Circ. 48/03
- Abe, Fujio. 2007. *Topical Review: Precipitate design for creep strengthening of 9% Cr tempered martensitic steel for ultra-supercritical power plants*. Japan: Heat Resistant

Design Group Structural Metals Center National Institute
for Material Science (NIMS)

Brook, C. R. & Choudhury, A., 2002. *Failure Analysis of Engineering Materials*. New York: McGraw Hills.

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

Drew, M., S. Humphries, K. Thorogood, N. Barnett. 2006. *Remaining life assessment of carbon steel boiler headers by repeated creep testing*. Int.J. Press. Ves. & Pip. 83,343.

Hu, Zheng-Fei. 2012. *Heat-Resistant Steels, Microstructure Evolution and Life Assessment in Power Plant*. Shanghai : Tongji University

Neves, Daniel Leite Cypriano dkk. 2002. *Stress and Integrity Analysis of Steam Superheater*. Brazil: Duque de Caxias

Port D. Robert., Herro M. Harvey. 1991. *The Nalco Guide to Boiler Failure Analysis, Nalco Chemical Company*. New York: McGraw-Hill Inc.

Rogers, Mike. 2006. *Boiler Tube Failure, Prevention and Control*. Alberta Technology and Science Inc

Sariyusda dkk. 2012. *Analisa Kegagalan Tube Superheater Package Boiler Akibat Overheating*. Medan: Jurnal MEKINTEK

Silaban, Mawardi. 2007. *Pengaruh Deposit Pada Dinding Pipa Boiler Jenis Baja Karbon Rendah terhadap Strukturmikro dan Kekerasan*. Tangerang: Jurnal Sains Materi Indonesia

Sugito, Bibit. 2005. *Pengaruh Annealing Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Pahat HSS dengan Unsur Paduan Utama Crom*. Surakarta: MEDIA MESIN

Tajalla, Gusti Umindya Nur. 2015. *Studi Kasus Kegagalan U-Tube Economizer SA210-A1 B-1102 di Pabrik 1 PT. Petrokimia Gresik*. Surabaya: ITS Surabaya

Viswanathan, Ramaswamy. 2006. *Damage Mechanisms and Life Assessment of High Temperature Components*, ASM International

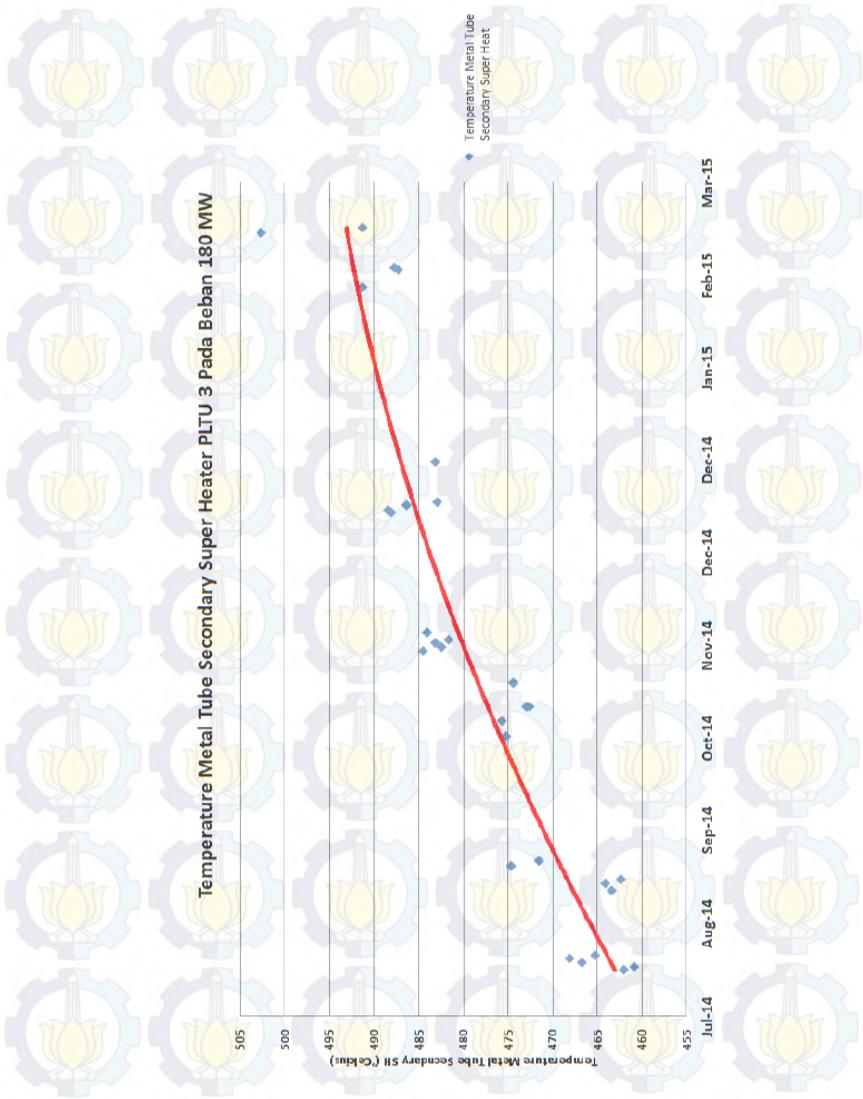
Wijonarko, Bambang. 2012. *Analisa Keandalan Antara Metode Iterasi dan Kovensional dalam Evaluasi Sisa Umur Pakai Tubing Boiler Berbasis Material SA213-T22*. Jakarta: FMIPA UI

Wulpi, D. J. 1999. *Understanding How Components Fail, 2nd edition*. Materials Park: ASM Intrenational.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN 1



LAMPIRAN 2



barata indonesia PT. (PERSERO)

UNIT FOUNDRY GRESIK

Chemical Results

Sample No :

Customer :

Furnace :

Name of Equipment :

Heat No :

Order No :

Lab. No :

10122015/00

Material :

Spektralanalyzer Foundry-MASTER

Grade :

	Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni
1	87,6	0,0744	0,206	0,529	0,0181	0,0090	9,07	2,22	0,0765
Ave	87,6	0,0744	0,206	0,529	0,0181	0,0090	9,07	2,22	0,0765

	Al	Co	Cu	Nb	Ti	V	W	Pb	Sn
1	0,0073	0,0157	0,0167	0,0063	< 0,0010	0,0097	0,0230	0,0036	< 0,0005
Ave	0,0073	0,0157	0,0167	0,0063	< 0,0010	0,0097	0,0230	0,0036	< 0,0005

	B	Ca	Se	N
1	0,0008	0,0002	< 0,0035	0,0862
Ave	0,0008	0,0002	< 0,0035	0,0862

Town
Gresik

Date
10/12/2015

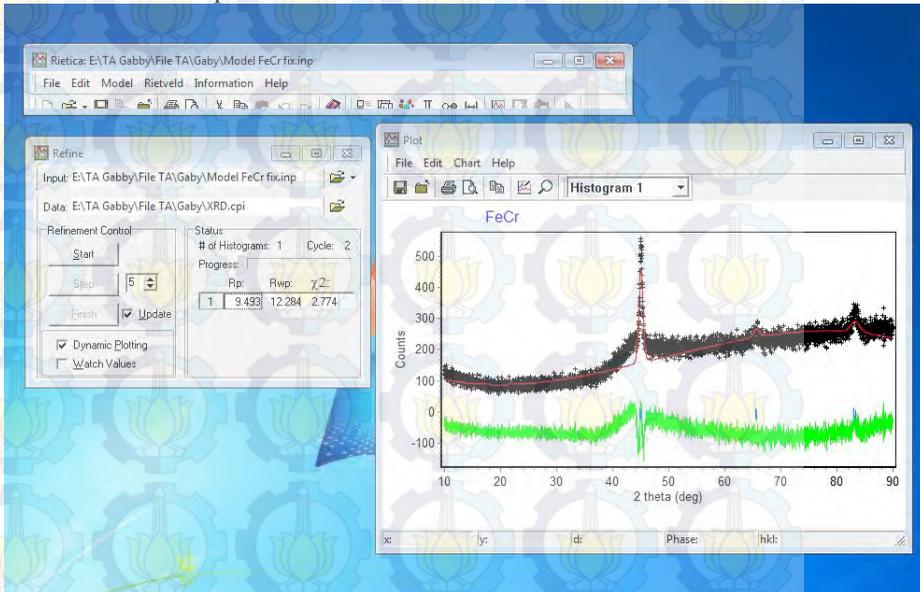
Tester
M.Vift: Susanto

QC. Manager
Ribut Setawan, ST

Jl. VETERAN No. 241 GRESIK 61123
Telp. (031) 3990555 Fax. (031) 3990666
Web: www.barata.co.id e-mail: info@barata.co.id

LAMPIRAN 3

- a. Daerah dekat dari pecah
1. Hasil Output Rietica



2. Hasil perhitungan Regangan dan Tegangan Sisa

Nilai modulus elastisitas = 205 GPa

Menggunakan hasil MAUD

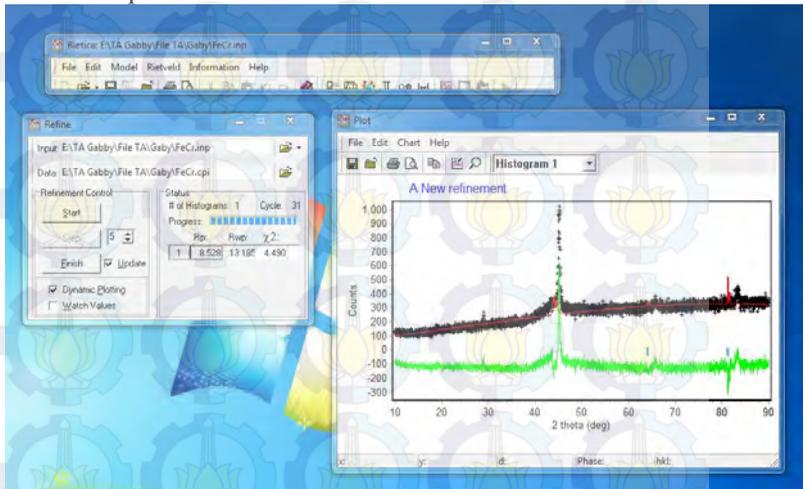
Regangan = 0,79168

$$\sigma = E \times \varepsilon$$

$$\sigma = 205 \times 0,79168$$

$$\sigma = 162,2944 \text{ GPa}$$

- b. Daerah jauh dari pecah
 1. Hasil Output Rietica



2. Hasil perhitungan Regangan dan Tegangan Sisa

Nilai modulus elastisitas = 205 GPa
 Menggunakan hasil MAUD
 Regangan = 0,585854418

$$\sigma = E \times \varepsilon$$

$$\sigma = 205 \times 0,58585$$

$$\sigma = 120,0993 \text{ GPa}$$

BIODATA PENULIS



Penulis yang bernama Gabriell Asprilla Hartono dilahirkan di Jombang pada tanggal 11 April 1995. Penulis merupakan anak pertama dari tiga bersaudara dari orang tua Bapak Rudi Hartono dan Ibu Kusmiarini. Penulis menempuh pendidikan formal di TK Pertiwi Kaliwungu Jombang, SDN Kaliwungu 2 Jombang, SMPN 2 Jombang, dan SMAN 3 Jombang. Kemudian penulis melanjutkan ke jenjang yang lebih tinggi yaitu di Intitut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, tepatnya di jurusan Teknik Material dan Metalurgi di tahun 2012 dan terdaftar dengan NRP 27 12 100 023.

Di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi ini 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 Sekretaris Umum di periode 2013/2014, dan di Unit Kegiatan Mahasiswa (UKM) Tenis Lapangan sebagai Bendahara Umum di periode 2013/2014, serta di Persekutuan Mahasiswa Kristen Katolik Teknik Material dan Metalurgi (PKKTM) sebagai Bendahara Umum di periode 2013/2014. Penulis juga pernah melaksanakan Kerja Praktik di PT. PJB UP. Gresik.

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