



TUGAS AKHIR (*Manufaktur*) - TM091486

**ANALISA KERUSAKAN *SUPERHEATER TUBE* PADA BOILER
31F-28 DI PT BADAQ NGL BONTANG KALTIM**

RIZKY HIJRAH PERMANA
NRP. 2107100074

Dosen Pembimbing
Ir. WITANTYO, M.Eng.Sc

JURUSAN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2014



FINAL PROJECT (*Manufacture*) - TM091486

**FAILURE ANALYSIS OF *SUPERHEATER TUBE* BOILER 31F-
28 IN PT. BADAK NGL BONTANG EAST KALIMANTAN**

Rizky Hijrah Permana
NRP. 2107100074

Academic Supervisor
Ir. WITANTYO, M.Eng.Sc

DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2014

ANALISA KERUSAKAN SUPERHEATER TUBE PADA BOILER 31F-28 DI PT BADAQ NGL BONTANG KALTIM

Nama Mahasiswa : Rizky Hijrah Permana
NRP : 2107.100.074
Jurusan : Teknik Mesin FTI – ITS
Dosen Pembimbing : Ir. Witantyo, M.Eng.Sc

Abstrak

PT Badak NGL menggunakan steam generator sebagai sumber utama untuk penyediaan energi. Selama beroperasi tahun 1999 sampai sekarang, beberapa kali ditemukan kerusakan yang terjadi pada bagian superheater tube khususnya di U-bend section. Untuk mengatasi kerusakan U-bend yang berulang, telah dilakukan upaya preventive maintenance oleh pihak PT Badak NGL berupa upgrade material pada U-bend superheater tube boiler 31F-28, tetapi masalah masih belum terpecahkan.

Pada penelitian ini, masalah kerusakan pada U-bend superheater tube akan dievaluasi ulang dengan menggunakan metode Root Cause Failure Analysis (RCFA). RCFA digunakan untuk mencari penyebab terjadinya kerusakan serta memberikan solusi untuk pencegahannya agar masalah kerusakan U-Bend tube tidak berulang. Metode yang dilakukan adalah process analysis, mapping, and flowcharts serta metode why analysis.

Hasil yang didapatkan pada penelitian ini adalah ditemukan penyebab kerusakan superheater tube diakibatkan oleh endapan deposit akibat terjadi water carry over yang menyebabkan overheating pada U-bend. Water carry over kemungkinan besar terjadi karena fungsi cyclone separator dan screen dryer yang kurang baik, sehingga direkomendasikan untuk sering dibersihkan dan dicek keausannya.

Kata kunci: Superheater tube, RCFA (Root Cause Failure Analysis), Boiler.

**FAILURE ANALYSIS OF SUPERHEATER TUBE BOILER
31F-28 IN PT. BADAK NGL BONTANG EAST
KALIMANTAN**

Student Name : Rizky Hijrah Permana
NRP : 2107.100.074
Department : Mechanical Engineering
Student Advisor : Ir. Witantyo, M.Eng.Sc

Abstract

PT Badak NGL uses steam generators as the main source for energy supply. During its operation from 1999 until now, several times in the damage that occurs in the superheater tube, especially in the U-bend section. To overcome the damage that repeated U-bend, preventive maintenance efforts have been made by the PT Badak NGL in the form of upgraded materials on the U-bend tube boiler superheater 31F-28, but the problem still unsolved.

In this study, the problem of damage to the U-bend superheater tube will be re-evaluated using the Root Cause Failure Analysis (RCFA). RCFA used to find the cause of the damage and provide a solution to the problem in order to prevent damage to the U-Bend tube is not repeated. The method does is process analysis, mapping, and flowcharts and why analysis methods.

The results obtained in this study were found to cause damage to the superheater tube caused by sediment deposits occurring as a result of water carry-over which causes overheating in the U-bend. Water carry-over likely to occur due to the function of a cyclone separator and screen dryer is not good, so it is recommended to frequently cleaned and checked.

Keyword: *Superheater tube, RCFA (Root Cause Failure Analysis), Boiler.*

**ANALISA KERUSAKAN SUPERHEATER TUBE PADA
BOILER 31F-28 DI PT BADAQ NGL BONTANG KALTIM**

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:
RIZKY HIJRAH PERMANA
NRP. 2107100074

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Ir. Witantyo, M.Eng.Sc
NIP. 196303141988031002(Pembimbing)
2. Dr. Sutikno, ST. MT
NIP. 197407032000031001(Penguji 1)
3. Indra Sidharta, ST. MSc
NIP. 198006192006041004(Penguji 2)
4. Wahyu Wijanarko, ST. MSc
NIP. 198204142010121001(Penguji 3)

SURABAYA
Januari, 2014

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Wr.Wb,

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT karena berkat rahmat-Nyalah penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “*Analisa Kerusakan Superheater Tube Pada Boiler 31F-28 di PT. Badak NGL Bontang Kaltim*”. Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya. Pada kesempatan ini, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih kepada:

1. Kedua Orangtua Ayahanda Murhansyah, S.Ip dan Ibunda Titin, adik Syahirul F.A dan Muamal Caesar A., dan keluarga besar tersayang.
2. Dewi Purwaningtyas yang selalu memberi semangat di dalam hidup penulis.
3. Bapak Ir. Bambang Pramujati, MSc.Eng., Ph.D selaku Kepala Jurusan Teknik Mesin ITS.
4. Ibu Wiwiek Hendrowati, ST., MT., Ph.D selaku dosen koordinator Tugas Akhir Teknik Mesin ITS.
5. Bapak Ir. Witantyo, M.Eng.Sc selaku dosen pembimbing.
6. Bapak Dr. Sutikno, ST. MT, Indra Sidharta, ST. MSc, Wahyu Wijanarko, ST. MSc selaku dosen penguji tugas akhir penulis.
7. PT Badak NGL Management, Inspection Section, Maintenance Planning & Turn Around Section, Stationary Equipment and Shop Section, dan Training Section HRD Departement, atas kesempatan yang diberikan kepada penulis sehingga dapat melaksanakan pengambilan data tugas akhir di PT Badak NGL.
8. Teman-teman angkatan M50 yang telah berjuang bersama penulis menempuh pendidikan S1.

9. Teman-teman Kos Update 1 Reza S., Dayat, Dipa, Bapink, Faldy, Hage. Terimakasih atas dorongan semangat dan kebersamaan kalian semua.
10. Dan tentunya kepada pihak-pihak yang terkait dalam penyelesaian tugas akhir ini yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu.

Terima kasih, *Wassalamualaikum Wr.Wb*

Akhir kata, salah dan khilaf adalah fitrah manusia. Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih memiliki banyak kekurangan. Oleh karena itu, kritik dan saran sangat penulis harapkan demi kesempurnaan tugas akhir ini. Semoga laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat untuk kita semua.

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL	x
BAB I PENDAHULUAN	1
I.1 Latar Belakang	1
I.2 Rumusan Masalah	2
I.3 Tujuan Penulisan.....	2
I.4 Batasan Masalah	3
I.5 Sistematika Penulisan	3
BAB II STUDI LITERATUR	5
II.1 Superheater Tube	5
II.2 Kondisi Aktual Superheater Tube Boiler 31F-28.....	6
II.3 Jenis Kerusakan Superheater Tube	7
II.4 Root Cause Failure Analysis	9
II.5 Process analysis, mapping, and flowcharts.....	11
II.6 Why analysis.....	11

II.7 Penelitian terdahulu.....	12
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	20
III.1 Diagram Alir Analisa Kerusakan <i>Superheater Tube</i> pada boiler 31F-28	20
III.2 Studi Lapangan dan Pengambilan Data	21
III.3 Perumusan Masalah	21
III.4 Studi Literatur dan Historical Record	21
III.5 Pemilihan Metode Analisa.....	21
III.6 Mencari Akar Masalah Kerusakan.....	22
III.6.1 Process analysis, mapping, and flowcharts.....	22
III.6.2 Why Analysis.....	22
III.7 Mencari Alternatif Penyelesaian Masalah	22
III.8 Uji Kelayakan	22
III.9 Solusi Permasalahan	22
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	50
V.1 Kesimpulan	50
V.2 Saran.....	50
DAFTAR PUSTAKA.....	51
RIWAYAT HIDUP PENULIS.....	53

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	<i>Lokasi Superheater tube pad boiler 31F-28 ...</i>	5
Gambar 2.2	<i>Decolorization pada U-Bend Section</i>	7
Gambar 2.3	<i>Deteriorated pada U-Bend Section.....</i>	8
Gambar 2.4	<i>Bulging pada U-Bend Section</i>	8
Gambar 2.5	<i>Bulging pada U-Bend Section.....</i>	9
Gambar 2.6	<i>RCFA Process.....</i>	10
Gambar 2.7	<i>Process analysis, mapping, and flowcharts..</i>	11
Gambar 2.9	<i>Tube yang mengalami kegagalan: (a dan b) longitudinal view and (c dan d) cross sectional view.</i>	12
Gambar 2.10	<i>Bentuk-bentuk korosi lokal (kiri) dan Localized Corrosion pada Superheater tube (kanan</i>	14
Gambar 2.11	<i>Process analysis, mapping dan flowcharts penelitian superheater tube</i>	15
Gambar 2.12	<i>Why Analysis Superheater Tube Failure</i>	16
Gambar 2.13	<i>Foto yang menunjukkan superheater tube yang mengalami kegagalan (identifikasi tube A) pecahnya superheater tube dan tabung lainnya (identifikasi tube B) penipisan lokal</i>	17
Gambar 2.14	<i>Creep life assessment based on cavity classification.....</i>	18
Gambar 2.15	<i>Kemampuan material menahan tegangan vs temperatur</i>	19
Gambar 3.1	<i>Flowchart analisa kerusakan superheater tube boiler 31F-28.....</i>	20

Gambar 4.1	<i>Grafik historical record replacement of boiler superheater tube.....</i>	<i>24</i>
Gambar 4.2	<i>Grafik pergantian superheater tube berdasarkan jenis kerusakan</i>	<i>25</i>
Gambar 4.3	<i>Penggelembungan pada U-Bend superheater tube (A). Penumpukan deposit pada bagian dalam U-Bend superheater tube (B)</i>	<i>28</i>
Gambar 4.4	<i>Why analysis kerusakan U-bend superheater tube pada boiler 31F-28</i>	<i>28</i>
Gambar 4.5	<i>Lokasi kerusakan yang terjadi pada U-bend superheater tube.....</i>	<i>29</i>
Gambar 4.6	<i>Water carry over pada boiler.....</i>	<i>30</i>
Gambar 4.7	<i>Deposit pada U-bend superheater tube.....</i>	<i>30</i>
Gambar 4.8	<i>Bekas endapan deposit pada U-bend superheater tube Boiler 31F-28.....</i>	<i>31</i>
Gambar 4.9	<i>Process analysis, mapping, and flowcharts kerusakan U-bend superheater tube pada boiler 31F-28... </i>	<i>32</i>
Gambar 4.10	<i>Heat transfer pada superheater tube.....</i>	<i>34</i>
Gambar 4.11	<i>Heat transfer pada superheater tube.....</i>	<i>37</i>
Gambar 4.12	<i>Temperatur pipa SA 213 T22 (A) SA 213 TP316H (B) diameter 2,5” tanpa deposit.....</i>	<i>41</i>
Gambar 4.13	<i>Temperatur pipa SA 213 T22 (A) SA 213 TP316H (B) diameter 2,5” dengan deposit 5%.....</i>	<i>41</i>
Gambar 4.14	<i>Temperatur pipa SA 213 T22 (A) SA 213 TP316H (B) diameter 2,5” dengan deposit 10%.....</i>	<i>42</i>
Gambar 4.15	<i>Grafik pengaruh variasi deposit 5% dan 10% terhadap temperatur pada pipa superheater tube</i>	<i>43</i>

Gambar 4.16	<i>Vertical centrifugal separator</i>	45
Gambar 4.17	<i>Screen dryer</i>	46
Gambar 4.18	<i>Pergantian diameter U-Bend menjadi 2”</i> ...	48

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 <i>Spesifikasi Boiler 31F-28</i>	6
Table 2.2 <i>The maximum allowable stress for different operating temperature of seamless tube SA213-T 22</i>	13
Tabel 4.1 <i>Spesifikasi superheater tube pada boiler 31F-28</i>	23
Tabel 4.2 <i>Historical record replacement of boiler superheater tube</i>	24
Tabel 4.3 <i>Amount of superheater tubes replacement basic on defect catagories</i>	25
Tabel 4.4 <i>Hasil inspeksi kerusakan superheater tube boiler 31F-28</i>	26
Tabel 4.5 <i>Data yang dibutuhkan untuk perhitungan laju perpindahan panas SH tube</i>	35
Tabel 4.6 <i>Perhitungan hambatan panas SH tube</i>	36
Tabel 4.7 <i>Perhitungan $T_{1,2}$</i>	36
Tabel 4.8 <i>Data yang dibutuhkan untuk perhitungan laju perpindahan panas SH tube dengan variasi deposit 5% dan 10%</i>	38
Tabel 4.9 <i>Data jari-jari (r)</i>	39
Tabel 4.10 <i>Perhitungan hambatan panas SH tube</i>	39
Tabel 4.11 <i>Laju Perpindahan Panas (q')</i>	40
Tabel 4.12 <i>Perhitungan $T_{1,2,3}$</i>	40
Tabel 4.13 <i>Hasil perhitungan V dan Re pada pipa diameter 2" dan 2.5"</i>	47

Tabel 4.14 *Tabel Strength Calculation of Material Superheater Tube* 49

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Boiler yang dipakai PT Badak NGL untuk menghasilkan steam terdapat 11 boiler (pada Utilitas I) dengan kapasitas masing-masing 295 ton/jam (max untuk Train ABCD), serta 10 buah boiler (pada utilitas II) yang berkapasitas masing-masing 379 ton/jam (max untuk train EFGH), setiap boiler menghasilkan High Pressure Steam (temperature 449 °C dan tekanan 62.5 kg/cm²). Boiler ini adalah jenis water tube type yang dilengkapi pula dengan 6 buah burner, fire ignitor spark assembly dan 2 buah flame scanner. Sebagai bahan bakar digunakan boil off gas dari tangki penyimpanan dan gas dari train serta feed gas sebagai make up.

Perawatan berkala pada setiap unit boiler dilakukan pada interval waktu 24 bulan sesuai dengan Undang-Undang Uap 1930. Menurut Undang-Undang ini, pengoperasian, inspeksi dan perawatan boiler harus dilakukan dibawah pengawasan petugas Ahli Keselamatan & Kesehatan Kerja (AK-3) Uap Depnaker. Pemeriksaan dan perawatan boiler ini atau di PT Badak NGL biasa disebut sebagai Boiler Biennial Inspection & Maintenance Program dimaksudkan untuk pemeriksaan secara detail semua bagian boiler, melakukan pembersihan/perawatan dan perbaikan sesuai hasil pemeriksaan. Kemudian dilanjutkan dengan pengujian, baik pengujian NDT maupun uji tekan boiler (hydrotest) dan uji PSV (Pressure Safety Valve) popping test untuk keperluan re-sertifikasi, yang dilakukan oleh Petugas Inspektur AK-3 Uap Depnaker agar boiler layak untuk dioperasikan dalam 2 tahun berikutnya.

Superheater tube merupakan bagian dari boiler yang berfungsi sebagai tempat pemanasan lanjut *saturated steam* menjadi *superheated steam*. Selama beroperasi tahun 1999 sampai sekarang beberapa kali ditemukan kerusakan yang terjadi

pada bagian *superheater tube* khususnya di U-bend section. Kerusakan yang terjadi diakibatkan material mengalami *overheating*. Upaya preventive maintenance telah dilakukan salah satunya melakukan upgrade material *superheater tube*. Material yang digunakan untuk *superheater tube* awalnya adalah SA 213 T22. Pada tahun 2002 terjadi kerusakan secara signifikan dan pada tahun 2003 dilakukan *upgrade* material menjadi SA 213 TP316H. Namun ternyata pada saat dilakukan biennial inspection masih ditemukan sejumlah kerusakan pada *superheater tube boiler*.

Penelitian dilakukan pada 1 sample boiler modul 2, yaitu boiler 31F-28. Penelitian yang akan dilakukan menggunakan metode *Root cause Failure Analysis (RCFA)* yang terdiri atas metode *Process analysis, mapping and flowcharts, dan why analysis*. Penelitian ini dilakukan untuk mempertahankan *life time* dari *Superheater tube* pada boiler 31F-28. Mengingat pentingnya peranan boiler dalam menunjang proses produksi uap guna keperluan *utilities* dan *process train* di PT Badak NGL.

I.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan permasalahan pada tugas akhir ini adalah mencari penyebab kerusakan *superheater tube* tersebut sehingga dapat dianalisa untuk meningkatkan *reliability* dari *superheater tube* pada boiler 31F-28, dimana akan dilakukan dengan metode RCFA.

I.3 Tujuan Penulisan

Adapun tujuan penelitian ini berdasarkan rumusan masalah di atas adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui variasi jenis kerusakan pada *superheater tube* pada boiler 31F-28.
2. Mengetahui penyebab terjadinya kerusakan pada *superheater tube* pada boiler 31F-28 dengan menggunakan metode RCFA.

3. Mengetahui strategi *maintenance* yang tepat untuk meningkatkan *reliability* dari *superheater tube* pada boiler 31F-28.

I.4 Batasan Masalah

Agar pembahasan permasalahan ini tidak meluas khususnya pada pembahasan tujuan penulisan, maka perlu adanya beberapa batasan masalah sebagai berikut :

1. Analisa difokuskan pada *superheater tube*, khususnya *U-Bend section* boiler 31F-28 *utilities 2* train H.
2. Data dari lapangan, literatur, dan informasi pekerja diperoleh penulis selama melaksanakan kerja praktek di PT BADAK NGL. Untuk data kerusakan *superheater tube*, diambil dari *inspection report*.
3. Analisa pada boiler 31F-28 pada periode biennial 1999-2010.

I.5 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan yang digunakan dalam penyusunan laporan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bab I Pendahuluan

Dalam bab ini, peneliti membahas tentang latar belakang pemilihan masalah sebagai topik tugas akhir, rumusan masalah yang dapat diberikan berdasarkan latar belakang, tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian, batasan masalah dan asumsi yang digunakan pada penelitian, serta sistematika penulisan yang digunakan dalam penyusunan tugas akhir ini.

2. Bab II Studi Literatur

Dalam bab ini, peneliti membahas penelitian terdahulu yang berhubungan tentang kerusakan yang terjadi pada *superheater tube* boiler 31F-28 dengan metode *root cause failure analysis*.

3. Bab III Metodologi Penelitian

Dalam bab ini, peneliti membahas tentang variabel-variabel penelitian yang digunakan, bahan dan peralatan yang

digunakan, serta prosedur yang mencakup tahap persiapan dan pengambilan data pada penelitian yang dilakukan.

4. Bab IV Analisa Data dan Pembahasan

Dalam bab ini peneliti membahas data *historical record* dari boiler, analisa *process analysis, mapping, and flowcharts, why analysis* , dan menentukan solusi yang tepat untuk mengatasi kerusakan yang terjadi.

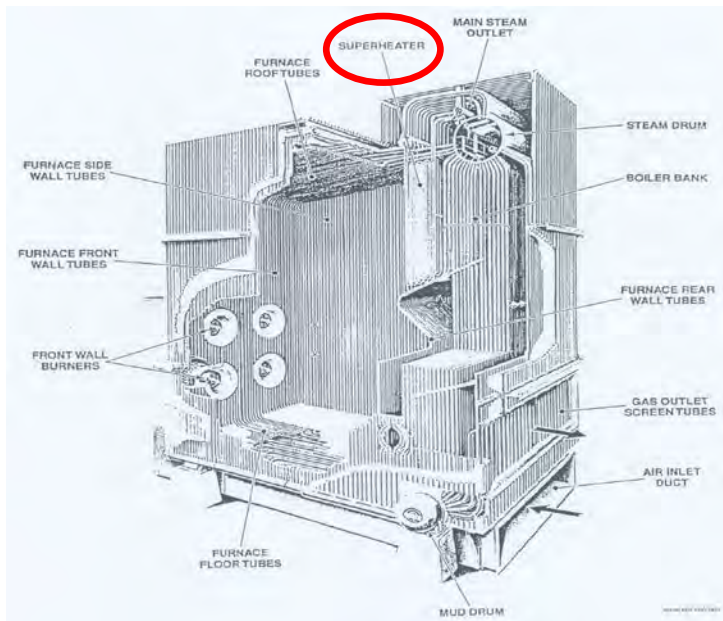
5. Bab V Kesimpulan dan Saran

Bab ini berisi tentang kesimpulan dan saran dari hasil pembahasan yang telah diperoleh.

BAB II STUDI LITERATUR

II.1 Superheater Tube

Superheater tube merupakan bagian tube pada boiler yang berfungsi sebagai tempat pemanasan lanjut *saturated steam* menjadi *superheated steam*. Berikut adalah gambar dari superheater tube :



Gambar 2.1 Lokasi Superheater tube pad boiler 31F-28

II.2 Kondisi Aktual Superheater Tube Boiler 31F-28

Tabel 2.1 Spesifikasi Boiler 31F-28

No	Spesifikasi	31F-28
1	Bentuk / Tipe Ketel uap	Pipa air dengan Drum Uap dan Drum Air, dilengkapi dengan pemanas mula dan pemanas lanjut
2	Pabrik Pembuat	Babcock & Wilcox, Canada
3	Tahun Pembuatan	1999
4	Kapasitas (ton/jam)	379
5	Tek.Desain (kg/cm ²)	73.8
6	Tek.Operasi (kg/cm ²)	67.1
7	Tek Uji (kg/cm ²)	75
8	Bahan Bakar	Gas Alam
9	Suhu Desain (°C)	450 (S/H Outlet)
		288 (S/H Inlet)
10	SH Tube Material	SA213-T22
11	Diameter SH Tube (inch)	2.5
12	Ketebalan SH Tube (inch)	0.2283
13	Jumlah Baris SH Tube	88

Kondisi Superheater tube boiler 31F-28 di PT BADAK NGL selalu ditemukannya berbagai macam kerusakan pada saat dilakukan *biennial inspection*. Selama masa kerja boiler dari tahun 1999, *superheater tube* boiler 31F-28 mengalami proses upgrade material pada tahun 2003 dikarenakan banyak terjadi

kerusakan yang cukup signifikan. Pada awal operasi, superheater tube boiler menggunakan material SA213-T22. Setelah dilakukan upgrade material menggunakan *austenitic stainless steel* SA 213 TP316H yang mempunyai temperatur kerja lebih tinggi namun ternyata masih dijumpai kerusakan superheater tube saat dilakukan *biennial inspection* dengan pola kerusakan yang sama.

II.3 Jenis Kerusakan Superheater Tube

Menurut manual book PT BADAK NGL dan hasil inspeksi, kerusakan pada U-Bend *superheater tube* disebabkan oleh *overheating*. Adapun jenis kerusakan akibat *overheating* ini dibagi dengan tahapan sebagai berikut :

(A) *Decolorization*

Peristiwa perubahan warna setempat di Superheater tube (*U-bend Section*) akibat adanya *overheating*.



Gambar 2.2 *Decolorization pada U-Bend Section* ^[13]

(B) *Deteriorated*

Pemburukan dari Superheater tube akibat timbulnya *Hot Spot* akibat oksidasi yang berlebihan dan biasanya disertai dengan pengelupasan lapisan permukaan luar dari Superheater tube.



Gambar 2.3 *Deteriorated pada U-Bend Section* ^[13]

(C)Bulging

Pengelembungan dari bagian U-bend akibat *Long Term Overheating* atau pemanasan yang berlebihan dalam jangka waktu yang sangat lama.



Gambar 2.4 *Bulging pada U-Bend Section* ^[13]

(D)Bursting

Pecahnya bagian yang mengalami *Bulging* sehingga meninggalkan bekas lubang, pada daerah tadi.



Gambar 2.5 *Bulging pada U-Bend Section* ^[13]

II.4 Root Cause Failure Analysis

Analisis kegagalan adalah langkah-langkah pemeriksaan kegagalan atau kerusakan pada suatu komponen yang mencakup situasi dan kondisi kegagalan atau kerusakan tersebut sehingga dapat ditentukan penyebab dari kegagalan atau kerusakan yang terjadi pada komponen tersebut. Analisis kegagalan mempunyai tujuan sebagai berikut :

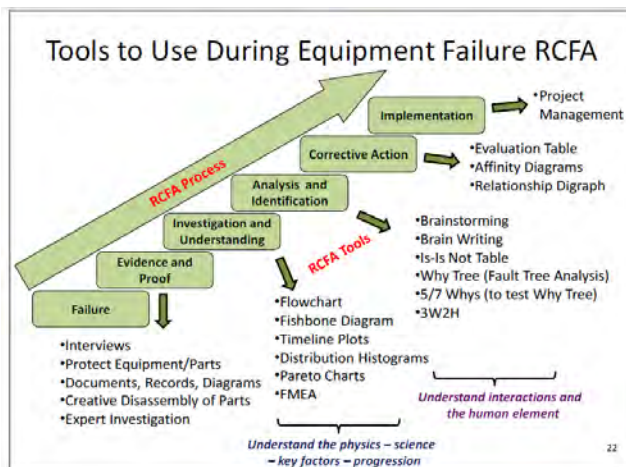
1. Menemukan penyebab utama kegagalan material.
2. Menghindari kegagalan/kerusakan yang sama dimasa yang akan datang dengan melakukan langkah-langkah penanggulangan.
3. Sebagai bahan pengaduan teknis terhadap pembuat atau produsen komponen tersebut.
4. Sebagai langkah awal untuk perbaikan kualitas komponen tersebut.
5. Sebagai penentuan waktu kapan *maintenance* dilakukan.

Kegiatan analisis kegagalan seringkali harus dilakukan oleh berbagai ahli dari disiplin ilmu yang bekerja sama sesuai dengan prosedur atau tahapan yang telah ditetapkan. Adapun tahapan atau

langkah utama dalam melakukan analisis kegagalan adalah sebagai berikut :

1. Melakukan investigasi lapangan yang meliputi :
 - Melakukan observasi lapangan
 - Menemukan bukti bahwa terjadi kerusakan
 - Melakukan wawancara/interview terhadap pihak terkait
 - Mendokumentasikan temuan lapangan (fotografi)
 - Menentukan jenis kerusakan
2. Mempelajari aspek desain, operasi dan inspeksi terkini
3. Melakukan analisa dan identifikasi dengan metode RCFA, yang meliputi:
 - *Brainstorming* dan Interview
 - Process analysis, mapping dan flowcharts
 - Why Analysis
4. Mempersiapkan saran untuk perbaikan

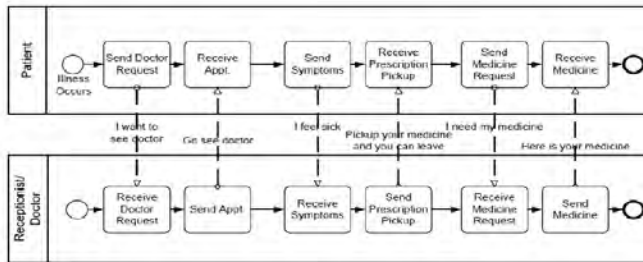
Untuk lebih jelasnya tahapan RCFA dapat dilihat pada **gambar 2.6:**



Gambar 2.6 RCFA Process^[17]

II.5 Process analysis, mapping, and flowcharts

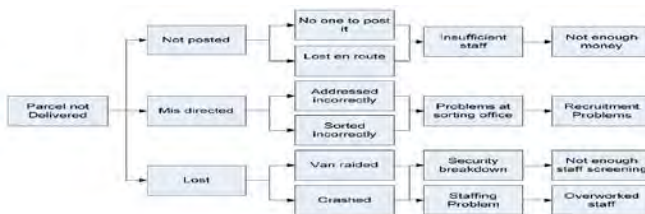
Process analysis, mapping, and flowcharts merupakan alat (tool) dari RCFA. Metode ini berdasarkan proses yang dikelompokkan dalam bentuk diagram proses. Tujuan dari metode ini untuk mengetahui secara jelas penyebab dari kerusakan atau kegagalan dari *superheater tube*. Berikut adalah contoh dari *process analysis, mapping, and flowcharts* (Gambar 2.7):



Gambar 2.7 Process analysis, mapping, and flowcharts^[3]

II.6 Why analysis

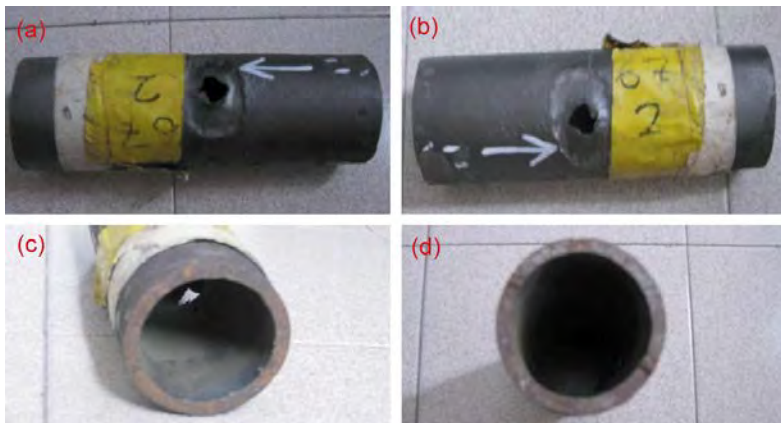
Metode *why analysis* merupakan salah satu alat (tool) dari RCFA. *Why analysis* adalah teknik grafik yang mengandung sebuah penjabaran secara skematik dari kombinasi kejadian-kejadian dalam sebuah sistem, yang dapat menghasilkan hasil yang tidak diinginkan. Dalam metode ini kita harus melakukan *brainstorming* terhadap suatu permasalahan dengan membuat pertanyaan mengapa (why) yang berkelanjutan. Metode ini bertujuan untuk mengkombinasikan sebuah sistem dan mencari akar permasalahan, gambar 2.8 adalah contoh dari *why analysis*:



Gambar 2.8 Contoh why analysis^[4]

II.7 Penelitian terdahulu

M.M. Rahman, J. Purbolaksono, J. Ahmad^[5] melakukan penelitian pada sebuah *superheater tube* pada boiler yang menggunakan material SA 213 T22 *low chromium ferritic steel* dengan kadar Cr sebesar 1.9 % - 2.6 %. Dari penelitian tersebut didapatkan bahwa kegagalan metalurgi *superheater tube* pada umumnya disebabkan karena temperatur material lebih tinggi dari spesifikasi desain dari material itu sendiri. Temperatur material mungkin meningkat secara bertahap selama bertahun-tahun karena terendapnya scale di dalam pipa atau meningkat secara cepat karena di dalam pipa tidak mengalir uap atau fluida pendingin. Kerusakan pada *superheater tube* dapat dilihat pada gambar 2.6:



Gambar 2.9 Tube yang mengalami kegagalan: (a dan b) longitudinal view and (c dan d) cross sectional view.^[5]

Dalam kasus kerusakan *superheater tube*, pada penelitian ini penyebab kegagalan material disebabkan oleh faktor internal. Faktor internal penyebab kegagalan *superheater tube* salah satunya adalah korosi. Adapun jenis-jenis korosi yang biasa terjadi pada boiler adalah sebagai berikut :

1. *Erosion-corrosion*

Proses erosi korosi terjadi karena aliran dalam tube yang turbulent sehingga mengikis lapisan film (proses erosi) kemudian teroksidasi karena lingkungan (steam) yang korosif (proses korosi). Jadi pada dasarnya proses erosi korosi adalah peristiwa korosi yang didahului oleh peristiwa erosi.

Akibat dari erosi-korosi tersebut menyebabkan material rentan terhadap kegagalan. Ditambah lagi dengan naiknya temperatur serta naiknya tekanan akan membuat efek tambahan jika temperatur dan tekanan tersebut melebihi dari desain material itu sendiri.

Table 2.2 *The maximum allowable stress for different operating temperature of seamless tube SA213-T 22.*

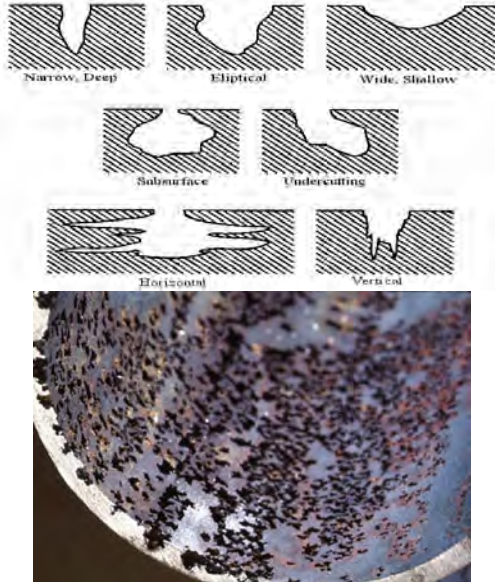
Temperatur (C°)	Max. allowable stress (MPa)
537,38	55.16
565.56	39.30
593.33	26.20
621.11	16.55
648.89	9.65

2. Localized Corrosion

Korosi merupakan sumber dari permasalahan overheating, karena formasi dari lapisan oksida (akibat korosi) yang menghambat proses transfer panas (*overheating*). Untuk menjaga temperatur outlet yang konstan, pada saat peningkatan ketebalan, maka terjadi peningkatan temperatur metal S/H tube. Biasanya peningkatan temperature tube sebesar 0.6 – 1.1 °C untuk setiap 30µm pembentukan oksida di internal tube.

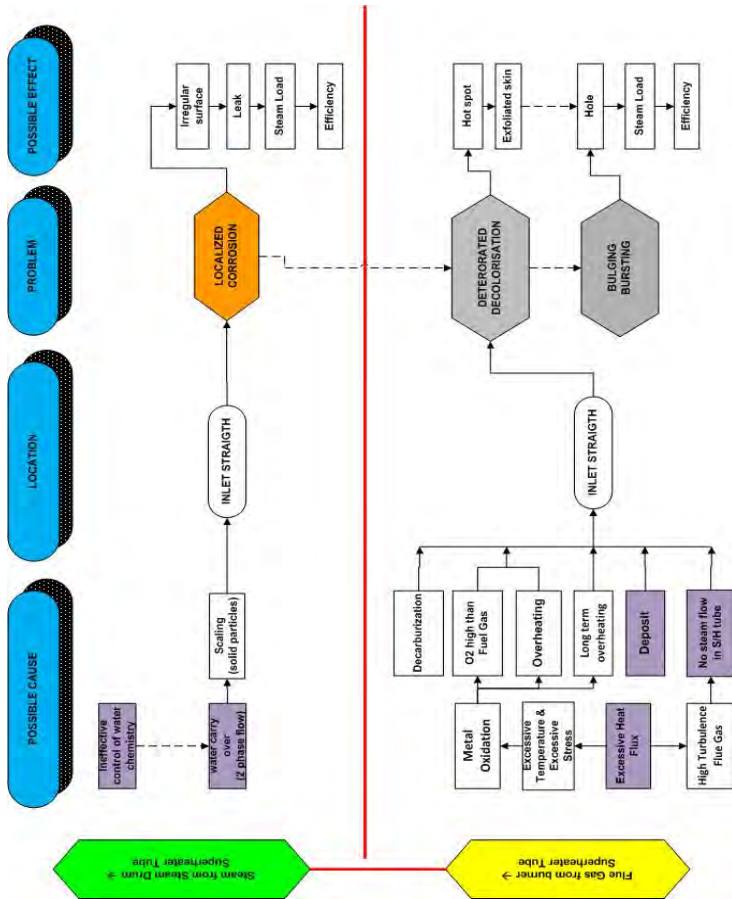
Korosi yang terjadi pada permukaan tube akibat terkonsentrasinya aliran fluida pada tempat tertentu. Terkonsentrasinya aliran pada tempat tertentu ini akan mengerosi permukaan setempat tube dengan kandungan dari fluida yang bersifat korosif. Korosi jenis ini terjadi pada tempat yang terdapat pengarah aliran sehingga arah aliran fluida terkonsentrasi pada tempat tertentu. Dalam kasus yang terjadi di S/H tube, korosi

lokal terjadi pada *inlet straight* sebagai pengarah aliran, dan steam sebagai media korosif yang mengandung *Phosphate* dan *Sodium* yang terkonsentrasi pada beberapa titik di bagian *inlet straight*.



Gambar 2.10 Bentuk-bentuk korosi lokal (kiri) dan *Localized Corrosion* pada *Superheater tube* (kanan)^[8]

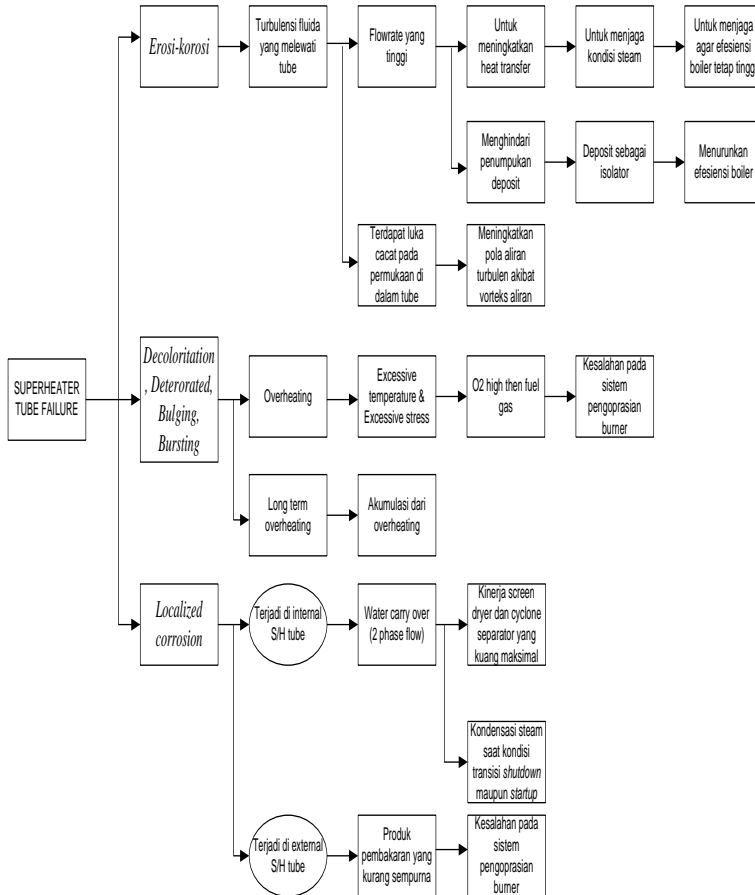
Dari penelitian tersebut dapat dibuat *process analysis*, *mapping* dan *flowcharts*. Metode ini adalah sebuah alat untuk mengorganisir dan memberi penjelasan berupa proses dalam bentuk grafik untuk memperjelas kemungkinan terjadi kerusakan pada *superheater tube*. Berikut **gambar 2.11** merupakan *process analysis*, *mapping* dan *flowcharts* pada penelitian *superheater tube*:



Gambar 2.11 *Process analysis, mapping dan flowcharts penelitian superheater tube*

Selain itu terapat pula metode yang sering digunakan pada analisa RCFA yaitu dengan menggunakan *why analysis*. *Why analysis* merupakan alat bantu (*tool*) untuk sebuah *problem solving*. *Tool* ini membantu mengidentifikasi akar masalah atau

penyebab dari kerusakan *superheater tube*. Dengan menggunakan teknik iterasi dengan bertanya mengapa (Why) dan diulang beberapa kali sampai menemukan akar masalahnya. Berikut adalah *why analysis* dari penelitian kerusakan *superheater tube*:



Gambar 2.12 Why Analysis Superheater Tube Failure

K. Chandra, Vivekanand Kain, G.K. Dey^[6] dalam penelitian ini penulis menganalisa kerusakan pada material 2.25Cr – 1Mo superheater tube. Kegagalan dianalisa pada superheater tube yang pecah dan yang mengalami penipisan lokal. Pada kedua tabung terlihat deposit-deposit, tebal, keras deposit kalsium sulfat pada permukaan diameter luar dan terdapat lapisan oksida yang tebal. Alasan utama superheater tube yang mengalami penipisan pada diameter luar adalah siklus pembentukan deposit kalsium sulfat yang terus menumpuk dan menyebabkan *overheating* pada permukaan superheater tube.



Gambar 2.13 Foto yang menunjukkan superheater tube yang mengalami kegagalan (identifikasi tube A) pecahnya superheater tube dan tabung lainnya (identifikasi tube B) penipisan lokal.^[6]

Dalam kasus kali ini kerusakan *superheater tube* diakibatkan oleh faktor eksternal. Kasus yang sering dijumpai akibat faktor eksternal ini salah satunya adalah disebabkan oleh *overheating*.

Ada beberapa faktor yang menyebabkan *overheating* :

- Temperatur *Flue Gas* yang tinggi melebihi dari temperature desain dari material S/H tube. (*excessive temperature*)

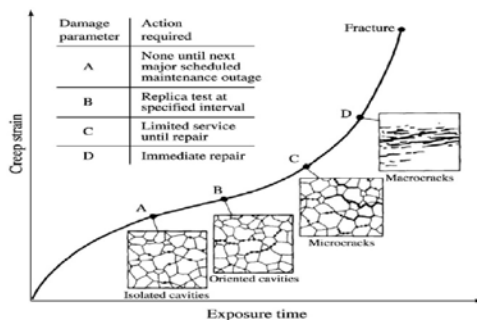
- *Stress* material yang tinggi akibat dari heat flux yang melebihi batas penyerapan panas dari material tube dan melebihi maksimal *stress* yang diijinkan oleh material. (*excessive stress*)
- *Flue Gas Turbulent* yang tinggi akibat jilatan api yang besar dan pengarah aliran berupa *nose section* menyebabkan pelepasan permukaan luar material. (*excessive oxidation*)

Peristiwa *overheating* dapat terjadi sewaktu-waktu berdasarkan factor penyebab diatas, hal ini terjadi melalui beberapa tahapan yang disebut *Stress-Rupture Mechanism*.

Stress-Rupture Failures

Kekuatan dari S/H tube bergantung pada *level stress* saat metal temperatur berada dalam *creep range*. Karena peningkatan dari *stress* maupun temperatur, dapat mengakibatkan pengurangan waktu *rupture*.

Proses terjadinya *creep* pada material yang diakibatkan karena *overheating*, dapat diklasifikasikan berdasarkan proses *cavitasnya* terhadap lapisan film dan material itu sendiri. Karakteristik perubahan tingkatan *cavitasi* pada *steel* dibagi dalam 4 tahapan. Untuk memperjelas proses terjadinya *Stress-Rupture Mechanism*, dapat dilihat dalam **gambar 2.14**.

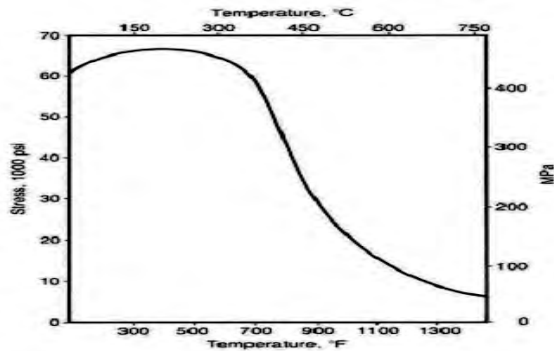


Gambar 2.14 Creep life assessment based on cavity classification.^[1]

Overheating dapat dibedakan menjadi dua yaitu :

Long-term overheating

Merupakan kondisi dimana temperatur logam melebihi temperatur desain selama beberapa waktu (hari, minggu, bulan atau tahun). *Overheating* tipe ini merupakan penyebab terbanyak kegagalan boiler dibandingkan mekanisme lain. Karena baja akan kehilangan banyak kekuatan (*strength*) pada temperatur tinggi sehingga *rupture* yang disebabkan oleh *normal internal pressure* menjadi lebih mudah. *Long-term overheating* terjadi karena adanya scale yang tebal di permukaan bagian dalam tube. *Long-term overheating* dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti temperatur, waktu dan metalurgi tube.



Gambar 2.15 Kemampuan material menahan tegangan vs temperatur^[8]

Short-term overheating

Short-term overheating terjadi saat temperatur tube meningkat diatas temperatur desain dalam periode waktu yang singkat. Kegagalan ini biasanya disebabkan oleh pengoperasian boiler yang kacau.

ANALISA KERUSAKAN *SUPERHEATER TUBE* PADA BOILER 31F-28 DI PT BADAK NGL BONTANG KALTIM

Rizky Hijrah Permana dan Ir. Witantyo, M.Eng.Sc
Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia
e-mail: rizkyhp@hotmail.com

Abstrak— PT Badak NGL menggunakan steam generator sebagai sumber utama untuk penyediaan energi. Selama beroperasi tahun 1999 sampai sekarang, beberapa kali ditemukan kerusakan yang terjadi pada bagian *superheater tube* khususnya di U-bend section. Untuk mengatasi kerusakan U-bend yang berulang, telah dilakukan upaya preventive maintenance oleh pihak PT Badak NGL berupa upgrade material pada U-bend *superheater tube* boiler 31F-28, tetapi masalah masih belum terpecahkan. Pada penelitian ini, masalah kerusakan pada U-bend *superheater tube* akan dievaluasi ulang dengan menggunakan metode *Root Cause Failure Analysis (RCFA)*. RCFA digunakan untuk mencari penyebab terjadinya kerusakan serta memberikan solusi untuk pencegahannya agar masalah kerusakan U-Bend tube tidak berulang. Metode yang dilakukan adalah *process analysis, mapping, and flowcharts* serta metode *why analysis*. Hasil yang didapatkan pada penelitian ini adalah ditemukan penyebab kerusakan *superheater tube* diakibatkan oleh endapan deposit akibat terjadi *water carry over* yang menyebabkan *overheating* pada U-bend. *Water carry over* kemungkinan besar terjadi karena fungsi cyclone separator dan screen dryer yang kurang baik, sehingga direkomendasikan untuk sering dibersihkan dan dicek keausannya.

Kata kunci : *Superheater tube, RCFA (Root Cause Failure Analysis), Boiler.*

I. PENDAHULUAN

Superheater tube merupakan bagian dari boiler yang berfungsi sebagai tempat pemanasan lanjut *saturated steam* menjadi *superheated steam*. Selama beroperasi tahun 1999 sampai 2010 beberapa kali ditemukan kerusakan yang terjadi pada bagian *superheater tube* khususnya di U-bend section. Kerusakan yang terjadi diakibatkan material mengalami *overheating*. Upaya preventive maintenance telah dilakukan salah satunya melakukan upgrade material *superheater tube*. Material yang digunakan untuk *superheater tube* awalnya adalah SA 213 T22. Pada tahun 2002 terjadi kerusakan secara signifikan dan pada tahun 2003 dilakukan upgrade material menjadi SA 213 TP316H. Namun ternyata pada saat dilakukan biennial inspection masih ditemukan sejumlah kerusakan pada *superheater tube* boiler.

II. METODOLOGI

Penelitian dilakukan pada 1 sample boiler modul 2, yaitu boiler 31F-28. Penelitian yang akan dilakukan menggunakan metode *Root cause Failure Analysis (RCFA)* yang terdiri atas metode *Process analysis, mapping and flowcharts, dan why analysis*. Penelitian ini dilakukan untuk mempertahankan *life time* dari *Superheater tube* pada boiler 31F-28. Mengingat pentingnya peranan boiler dalam menunjang proses produksi uap guna keperluan *utilities* dan *process train* di PT Badak NGL.

III. HASIL DISKUSI

3.1 Data Spesifikasi Superheater Tube

Dari hasil studi lapangan didapatkan beberapa informasi mengenai spesifikasi *superheater tube* yang dipakai pada boiler 31F-28. Data spesifikasi *superheater tube* dapat di lihat pada Tabel 4.1.

Tabel 1. Spesifikasi *superheater tube* pada boiler 31F-28

No	Spesifikasi SH Tube	Keterangan	
		SA 213 T22	SA 213 TP316H
1	Material	SA 213 T22	SA 213 TP316H
2	Type	Pendant	Pendant
3	Diameter (inch)	2,5	2,5
4	Ketebalan (inch)	0,18	0,18
5	Jumlah Baris	8	8
6	Jumlah Kolom	88	88
7	Suhu Maksimum Desain (C°)	602	816

3.2 Inspeksi Visual Superheater Tube

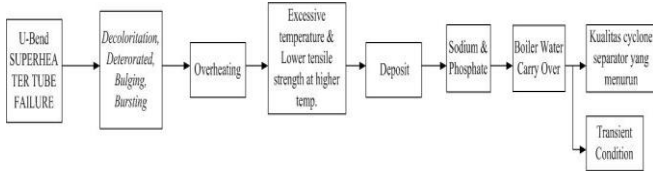
Hasil inspeksi, kerusakan pada U-Bend *superheater tube* disebabkan oleh *overheating*. Dari hasil yang ditemui di lapangan berikut adalah gambar dari kerusakan U-Bend *superheater tube* :



Gambar 1. Penggelembungan pada U-Bend *superheater tube* (A). Penumpukan deposit pada bagian dalam U-Bend *superheater tube* (B)

3.3 Failure analysis

3.3.1 Why Analysis Kerusakan U-Bend Superheater Tube Boiler 31F-28

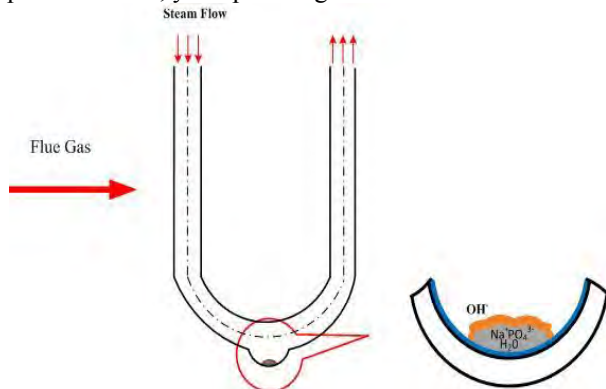


Gambar 2. Why analysis kerusakan U-bend superheater tube pada boiler 31F-28

Dengan menggunakan why analysis dapat diketahui kerusakan U-bend superheater tube. Pada kasus superheater tube boiler 31F-28 ditemukan fenomena kerusakan berupa *decolorization-deteriorated, bulging-bursting*. Kerusakan ini diakibatkan oleh *overheating* pada bagian U-bend tube yang disebabkan oleh penumpukan deposit *sodium phosphate* yang bersifat sebagai insulator pada bagian dalam pipa. Kondisi ini membuat transfer panas berkurang ke steam, sehingga panas lebih banyak diserap oleh superheater tube itu sendiri daripada ditransferkan ke steam. Deposit ini terbawa (*water carry over*) selama boiler beroperasi.

Fenomena water carry over adalah semburan halus yang dibawa uap dari drum boiler menuju superheater tube. Water carry over kemungkinan dapat terjadi disebabkan oleh kualitas separator (*cyclone separator* dan *screen dryer*) pada steam drum yang cacat atau berlubang sehingga air tidak dapat dipisahkan dari uap.

Deposit yang lolos dari penyaringan uap air selanjutnya akan masuk ke dalam superheater tube. Selanjutnya deposit ini akan mengendap pada bagian bawah superheater tube, yaitu pada bagian U-bend.



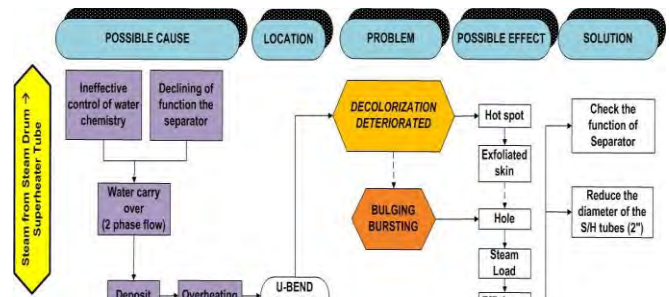
Gambar 3. Deposit pada U-bend superheater tube

Penurunan kualitas separator ditengarai menjadi penyebab terbawanya deposit-deposit ini. Deposit yang mengendap akan menyebabkan *overheating* dan membuat penggelembungan pada pipa. Penggelembungan (*Bulging*) pipa ini selanjutnya mencapai tahap dimana pipa tadi akan pecah (*Bursting*) dan turut memecah deposit yang mengendap. Selanjutnya deposit yang pecah tadi akan turut terbawa dan mengendap pada bagian pipa-pipa selanjutnya, tentu saja hal ini menyebabkan pipa yang terkena endapan deposit ini akan mengalami kerusakan serupa. Endapan deposit pada U-bend superheater tube dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Bekas endapan deposit pada U-bend superheater tube Boiler 31F-28

3.3.2 Process Analysis, Mapping, and Flowcharts Kerusakan U-Bend Superheater Tube Boiler 31F-28



Gambar 5. Process analysis, mapping, and flowcharts kerusakan U-bend superheater tube pada boiler 31F-28

Dari gambar 5 dapat dilihat analisa dimulai dari steam yang mengalir dari steam drum menuju ke superheater tube. Steam ini menyebabkan *water carry over* yang diakibatkan oleh tidak efektifnya pengontrolan air kimia yang masuk kedalam steam drum boiler. Pada proses boiler feed water yang diumpankan menuju steam drum mengandung unsur kimia seperti TSP three sodium phosphate (Na_3PO_4), MSP mono sodium phosphate (NaPO_4) untuk menjaga pH air make up dalam boiler tetap pada range 8.3-9.0.

Air yang diumpankan pada steam drum ini selanjutnya akan dipisahkan kandungan uap dan air oleh cyclone separator dengan menggunakan prinsip gaya sentrifugal dan gaya inersia. Uap yang terpisah oleh air selanjutnya akan disaring oleh screen dryer agar benar-benar terpisah untuk masuk ke superheater tube.

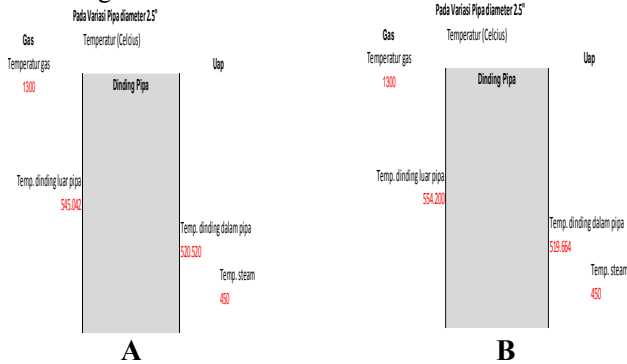
Pada kasus boiler 31F-28 ini terjadi proses *water carry over* yang berdampak pada penimbunan deposit oleh unsur kimia boiler feed water tadi pada U-bend superheater tube. Hal ini menyebabkan timbulnya *overheating* akibat penumpukan deposit tersebut. Akibatnya terjadi defect seperti *decolorization-deteriorated*, dan *bulging-bursting*. Timbulnya defect menyebabkan timbulnya *hot spot*, pengelupasan permukaan kulit luar superheater tube, penggelembungan serta lubang akibat *overheating* yang terjadi pada U-bend superheater tube.

3.4 Pengaruh deposit terhadap temperatur pipa

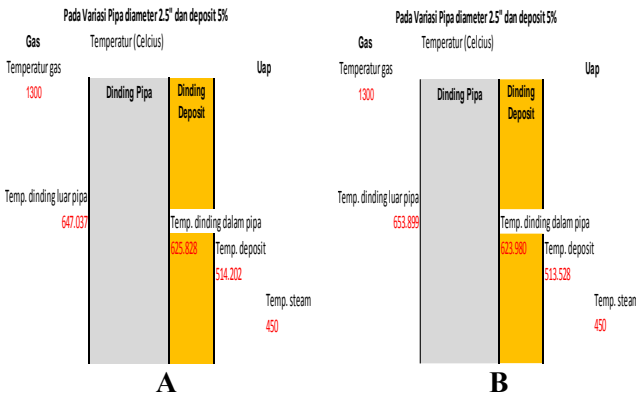
Pipa U-bend yang terdapat endapan deposit di dalamnya dapat mempengaruhi terhadap temperatur pada pipa tersebut. Dalam analisa kali ini akan menggunakan perhitungan koefisien perpindahan panas pada U-bend superheater tube boiler 31F-28 berdiameter 2,5 inch, perhitungan ini nantinya akan dibandingkan dengan pipa

yang memiliki variasi penambahan deposit sebesar 5% dan 10% terhadap diameter luar pipa.

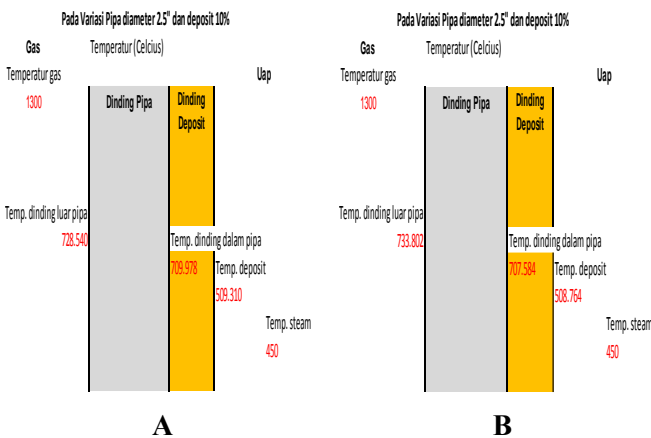
Apabila semua nilai temperatur telah kita dapatkan, maka kita dapat menganalisa pengaruh penebalan deposit sebesar 5% dan 10% terhadap temperatur pada pipa SA 213 T22 dan SA 213 TP316H dengan diameter pipa 2.5". Hasil dari perhitungan dari temperatur pada *superheater tube* adalah sebagai berikut:



Gambar 6. Temperatur pipa SA 213 T22 (A) SA 213 TP316H (B) diameter 2,5" tanpa deposit



Gambar 7. Temperatur pipa SA 213 T22 (A) SA 213 TP316H (B) diameter 2,5" dengan deposit 5%



Gambar 8. Temperatur pipa SA 213 T22 (A) SA 213 TP316H (B) diameter 2,5" dengan deposit 10%

Jadi kesimpulannya akibat endapan deposit ini akan mempengaruhi temperatur yang diserap oleh pipa. Akibatnya temperatur pada dinding *superheater tube* akan mengalami peningkatan temperatur. Tentunya sangat penting untuk menjaga kondisi di dalam pipa agar tidak terjadi endapan deposit yang merugikan. Maka dari itu rekomendasi yang dapat diberikan akan dijelaskan selanjutnya.

3.5 Rekomendasi penyelesaian masalah

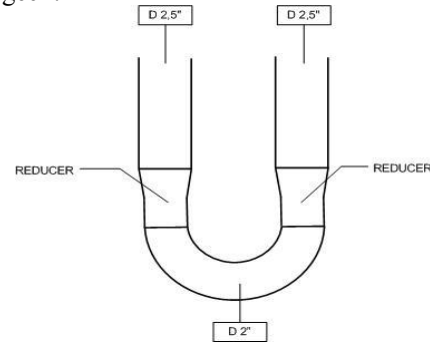
Pada tahap ini akan dibahas solusi dari permasalahan yang ditimbulkan oleh *water carry over*. Adapun rekomendasi yang dapat diberikan adalah sebagai berikut:

1. Mengecek fungsi separator

Fungsi separator adalah memisahkan antara uap dengan air. Pengecekan fungsi separator ini sangat penting, karena jika terjadi kerusakan maka uap air tidak akan dapat dipisahkan secara maksimal. Hal ini akan terjadi proses *water carry over* pada *superheater tube*.

2. Mengurangi diameter U-bend *superheater tube* menjadi 2 inch

Deposit terjadi karena *water carry over* menempati posisi U-bend yang berada paling bawah. Untuk mengurangi kemungkinan pengendapan maka kecepatan steam di dalam U-bend harus dinaikkan. Untuk menaikkan kecepatan itu perlu mengurangi diameter pipa. Diameter pipa yang lebih kecil juga membuat diameter belokan U-bend menjadi sedikit lebih besar, sehingga boundary layer didasar U-bend akan mengecil.



Gambar 9. Pergantian diameter U-Bend menjadi 2"

Faktor perbedaan diameter dalam pipa sangat mempengaruhi laju aliran uap. Hal ini dapat dilihat dari nilai kecepatan yang dihasilkan oleh steam dan juga dilihat dari karakteristik aliran angka yang ditunjukkan oleh bilangan Reynolds. Aliran didalam *superheater tube* menunjukkan karakteristik aliran turbulen, dimana angka tersebut lebih besar dari 2300 bilangan Reynolds. Berdasarkan pada laju aliran massa steam (load steam) yang keluar dari *superheater tube*, dapat diketahui berapa kecepatan laju aliran uap yang melewati *superheater tube*.

$$\dot{m} = \rho v A$$

Dengan $\dot{m} = 379 \text{ ton/hr}$, $T_{\text{out s/h}} = 450 \text{ }^\circ\text{C}$, $P = 67.1 \text{ Kg/cm}^2$, $\mu = 0.00002677 \text{ Kg/m s}$ dan $\rho = 21.1906 \text{ Kg/m}^3$, maka didapatkan hasil sebagai berikut:

Tabel 2. Hasil perhitungan V dan Re pada pipa diameter 2" dan 2.5"

Diameter pipa	Kecepatan aliran steam
	V (m/s)
2"	5.180790256
2.5"	3.042679158
	Reynolds Number
	Re
2"	170831.6979
2.5"	130917.7498

Namun hal ini juga memiliki kekurangan, sebab prosedur pemasangan pipa dengan diameter yang berbeda ini memerlukan studi lebih lanjut terhadap teknis pelaksanaannya. Perbedaan diameter pipa akan berpengaruh terhadap *minimum allowable wall thickness* (MAWT). Berikut adalah perhitungan tebal yang diijinkan (t'_{req}) pada Superheater Tube :

$$t'_{req} = \frac{P \cdot D}{2S + P} (0.005D) + e$$

Dimana :

t'_{req} = tebal minimum (in)

P = Maximum Allowable Working Pressure, MAWP (Psi)

S = Maximum Allowable Working Stress, MAWS (Psi)

D = Outside Diameter (in)

e = Thickness Factor

Tabel 3. *Tabel Strength Calculation of Material Superheater Tube*

Material Type	SA 213 T22	SA 213 T22
P (Psi)	973	973
T (F)	842	842
S (Psi)	7251	7251
D (in)	2	2,5
e	0	0
t' req	(in)	0.13576141
	(mm)	3.4483398
		0.16970176
		4.31042475

Dari tabel diatas dapat dikalkulasikan sebagai berikut :

Diameter 2” :

$$t'_{req} = \frac{973 \times 2}{2 \times 7251 + 973} (0.005 \times 2) + 0 = 3.448 \text{ mm}$$

Diameter 2,5”:

$$t'_{req} = \frac{973 \times 2.5}{2 \times 7251 + 973} (0.005 \times 2.5) + 0 = 4.31 \text{ mm}$$

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1 Kesimpulan

Setelah dilakukan rangkaian analisa data dan pembahasan, maka dapat diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Kerusakan superheater tube disebabkan oleh *overheating* akibat adanya deposit.
2. Berdasarkan analisa perbandingan temperatur didapatkan fakta bahwa deposit menyebabkan peningkatan temperatur pada permukaan *superheater tube*.
3. Separator yang rusak berperan dalam proses terjadinya *water carry over* pada U-Bend superheater tube.
4. Berdasarkan analisa laju kecepatan aliran didapatkan bahwa pipa dengan diameter 2” dapat meningkatkan kecepatan aliran sehingga mengurangi kemungkinan penumpukan deposit tidak terjadi pada U-bend *superheater tube*.

4.2 Saran

Beberapa saran yang dapat diberikan oleh penulis untuk pencegahan dan penanganan kegagalan pada U-bend *superheater tube* ini adalah sebagai berikut:

1. Pengecekan dan pengontrolan secara ketat fungsi *separator* pada steam drum dapat mencegah *water carry over* pada U-Bend superheater tube.
2. Pemilihan diameter 2” secara teknis dapat menguntungkan. Namun terdapat dampak negatif pula, yaitu prosedur pemasangan pipa dengan diameter yang berbeda ini memerlukan studi lebih lanjut terhadap teknis pelaksanaannya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Neves, Daniel Leite Cypriano, “*Stress and Integrity Analysis of Steam Superheater Tubes of High Pressure Boiler*”, Material Research, Vol 7, No.1, 155-161, 2004.
- [2] Hopskin, Andrew, “*Safety, Culture and Risk-The organisational causes of disaster*”.
- [3] Widhyaestoeti, Dahlia, “*Bisniss Process Analysis*”.
- [4] Vorley, Geof, “*Mini Guide to Root Cause Anlysis*”, Quality Management & Training Limited, 2008.
- [5] Rahman, M.M. dkk, J. Purbolaksono, J. Ahmad., “*Root cause failure analysis of a division wall superheater tube of a coal-fired power station*”, Engineering Failure Analysis, 2010.
- [6] Chandra, K. dkk, Vivekanand Kain, G.K. Dey., “*Failure of 2.25Cr-1Mo steel of superheater tube in a fluidized bed combustor due to fireside corrosion*”, Engineering Failure Analysis, 2010.
- [7] Mcdonalds, Fox., “*Introduction to Fluid Mechanics 7 ed*”.
- [8] R. Viswanathan., “*Damage Mechanisms and Life Assessment of High-Temperature Component*”, Metal Park, Ohio: ASM International, 1989.
- [9] Denny, A. Jones., “*Principle and Prevention of Corrosion*”.
- [10] Metal Hand Book Vol 13., “*Corrosion dan ASTM annual year book*”.
- [11] Derek, H. Lister, “*Corrosion For Engineering chapter 10 erosion-corrosion*”.
- [12] PT BADAK NGL, “*Kursus Sertifikasi Operator Pesawat Uap*”.
- [13] Operating Manual Vol 2, “*Steam And Power System, Pertamina Bontang LNG Expansion*”.
- [14] ASME Section I, “*Boiler And Pressure Vessel Code*”.
- [15] Babcock & Wilcock, “*STEAM : Its Generation and Use 41st ed*”.
- [16] PT BADAK NGL, “*Inspection Report Boiler 31F-28: 1989-2010*”.
- [17] Sondalini, Mike, “*RCFA and 5-Whys Tips for Successful Use*”, [Online], Tersedia: www.lifetime-reliability.com, [20 November 2013].
- [18] Incropera dkk, DeWitt, Bergmann, Lavine, “*Fundamental of Heat and Mass Transfer sixth edition*”, John Wiley & Sons (Asia), Wiley asia student edition, 2007.

BAB IV

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Dari hasil studi lapangan dan studi literatur pada komponen *U-Bend superheater tube* yang mengalami kegagalan diperoleh beberapa data. Data yang didapat ini nantinya digunakan untuk mempermudah dalam analisa dan pembahasan. Data yang diperoleh adalah sebagai berikut:

IV.1 Data Spesifikasi Superheater Tube

Dari hasil studi lapangan didapatkan beberapa informasi mengenai spesifikasi *superheater tube* yang dipakai pada boiler 31F-28. Data spesifikasi *superheater tube* dapat di lihat pada **Tabel 4.1**.

Tabel 4.1 Spesifikasi superheater tube pada boiler 31F-28

No	Spesifikasi SH Tube	Keterangan	
1	Material	SA 213 T22	SA 213 TP316H
2	Type	Pendant	Pendant
3	Diameter (inch)	2,5	2,5
4	Ketebalan (inch)	0,18	0,18
5	Jumlah Baris	8	8
6	Jumlah Kolom	88	88
7	Suhu Maksimum Desain (C°)	602	816

IV.2 Data Kerusakan U-Bend Superheater Tube

IV.2.1 Historical Record Superheater Tube Boiler 31F-28

Berdasarkan hasil inspeksi yang dilakukan oleh PT BADAQ NGL setiap 2 tahun sekali (*biennial inspection*),

didapatkan beberapa data yang berkaitan dengan kerusakan pada U-Bend *superheater tube*. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada **tabel 4.2**:

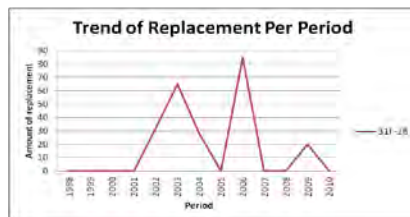
Tabel 4.2 *Historical record replacement of boiler superheater tube*

HISTORICAL RECORD REPLACEMENT OF BOILER SUPERHEATER TUBE

Boiler tag Number	Year Constr.	Year in service	YEAR OF REPLACEMENT													Total tube	
			1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010		
31F-28	1998	1998					32	65	28		85				20		230

Keterangan: Upgrade

Pada boiler **31F-28** terjadi penggantian S/H tube secara signifikan setiap tahunnya. Kerusakan terjadi setelah boiler beroperasi selama 4 t ahun yaitu pada tahun 2002. Dimana pergantian S/H tube pada tahun 2002 sebesar 32 tube. Pada tahun 2003 terjadi pergantian S/H tube sebesar 65 tube dengan 44 tube dilakukan proses upgrade material tube dan sisanya masih menggunakan material original yaitu SA 213 T22. Dan akhirnya pada tahun 2006 dilakukan upgrade material secara keseluruhan sebesar 85 tube menggunakan material *austenitic stainless steel* SA 213 TP316H. Setelah dilakukan upgrade material pada tahun 2006 terjadi kerusakan S/H tube dalam kurun waktu 3 tahun yaitu pada tahun 2009 dilakukan pergantian material sebesar 20 tube.



Gambar 4.1 *Grafik historical record replacement of boiler superheater tube*

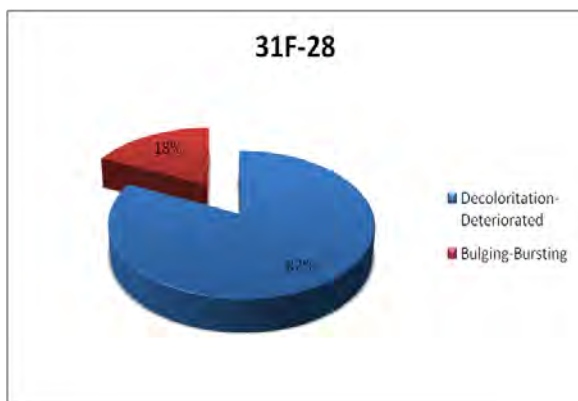
IV.2.2 Historical Record Jenis Kerusakan Superheater Tube Boiler 31F-28

Tabel 4.3 Amount of superheater tubes replacement basic on defect catagories

**AMOUNT OF SUPERHEATER TUBES REPLACEMENT
BASIC ON DEFECT CATAGORIES**

Boiler Tag Number	Amount of S/H Tubes Replacement		Total Defect
	Decoloritation-Deteriorated	Bulging-Bursting	
31F-28	189	41	230

Pada boiler 31F-28 *defect* yang terjadi berupa fenomena *bulging*, *bursting*, *decoloration*, dan *deteriorated* yang terjadi di permukaan luar S/H tube. Fenomena *defect* yang paling sering terjadi adalah *decoloration-deteriorated* dengan presentase terbesar yaitu 82 % yang telah mengalami penggantian tube sebesar 189 tube selama periode operasi. Sedangkan untuk *defect* seperti *bulging-bursting* sebanyak 18% yaitu dengan 41 dari total 230 tube yang mengalami pergantian selama periode 1999-2010.



Gambar 4.2 Grafik pergantian superheater tube berdasarkan jenis kerusakan

Tabel 4.4 Hasil inspeksi kerusakan superheater tube boiler 31F-28

NO TAG BOILER	TAHUN INSPEKSI	HASIL INSPEKSI
31-F-28	2002	<p>32 U-bend memburuk : 28 tube di 1st U-bend, 2 tube di 2nd U-bend, dan 2 tube di 3rd/end outlet u-bend. 28 buah first Inlet U-bend : 7 tube diantaranya telah pecah (burst) 10 tube dalam kondisi mengembung (bulged) tapi belum pecah 11 tube lainnya menandakan materialnya memburuk. 2 tube di 2nd U-bend telah mengembung (bulged) 2 tube di 3rd/end outlet U-bend telah memburuk</p>
	2003	<p>21 tube di 1st outer inlet U-bend mengalami cacat/rusak. 10 diantaranya bocor / lubang, yaitu : 5 lobang besar, 5 lobang kecil, sisanya bursing 13 tube yang mengalami cacat dari 21 tube tadi adalah tube baru yang dipasang pada biennial inspection periode Nopember 2002. Dengan kata lain tube tersebut hanya bertahan 3 bulan. 3 dari tube bagian dalam ditemukan kebocoran. Disekitar daerah bocor tadi hampir semuanya terbakar habis, mungkin dikarenakan tidak ada steam yang mengalir di dalam tube. 9 tube diganti baru dan 12 tube menggunakan tube dari boiler 31-F-21/27/29 44 tube di 1st inlet U-bend diganti dengan Stainless steel tube SA213 TP316H yang menggantikan material original yaitu Chromoly steel tube SA213 T22</p>
	2004	<p>16 tube di baris pertama diganti sepanjang 70 cm berdasarkan pada $t'_{act} < t'_{req}$ (5.37mm). 12 tube di baris kedua diganti sepanjang 65 cm Untuk itu, total tube yang harus diganti sebanyak 28 tube tiap baris tadi</p>
	2006	<p>Semua 85 inlet tube di baris 1 (44 tube) dan baris 2 (41 tube) di daerah roof telah di upgrade dari material SA 213 T22 ke SA 213 TP316H</p>
	2009	<p>Ditemukan indikasi bocor pada 1 U-bend tube dihitung dari utara No. 32 Indikasi cembung dan local spot warna hitam 19 U-bend tubes Dilakukan penggantian 20 U-bend tubes</p>

Pada dasarnya *decoloration, deteriorated, bulging dan bursting* merupakan beberapa tahapan dari proses *overheating* yang berlokasi di *U-bend section* (bagian yang mengalami pemanasan paling tinggi). Peristiwa ini dikronologiskan sebagai berikut :

1. Material pada *U-bend section* mengalami pemanasan yang berlebihan (*Overheating*), sehingga mengalami perubahan warna (*Decoloration*) pada *U-bend*, (memudar).
2. Proses pemudaran yang terus-menerus akan mengakibatkan *U-bend* memburuk (*Deteriorated*), ditandai dengan adanya *hot spot*, dan yang terburuk adalah terkelupasnya lapisan permukaan yang sangat ekstrim diberbagai titik (*exfoliation*).
3. Pemburukan dari *U-bend* tadi, diantaranya ada yang menggelembung (*Bulging*) karena proses pemanasan yang tinggi dan lama (*Long-Term Overheating*). Biasanya terjadi pada bagian *inner dan outer U-bend*.
4. Pengelembungan tersebut akan pecah (*Bursting*) apabila kekuatan dari material tube tidak mampu lagi menahan pemanasan yang berlebihan tadi.

Pada hasil pengamatan dari tiap periode pada boiler 31F-28, ditemukan lokasi dari timbulnya *overheating* ini berbeda-beda. Hal ini dikarenakan distribusi penyerapan panas dari S/H tube yang paling besar terjadi di *U-bend* baris pertama, kemudian terus berkurang sampai pada baris ke 3. Maka dari itu, tingkatan

terjadinya *overheating* ini pun juga bervariasi pada saat ditemukan (*inspection*). *Bursting* biasa terjadi di *U-bend* baris pertama, *Bulging* terdapat di *U-bend* baris kedua, dan *decoloration-deteriorated* pada *U-bend* baris ketiga.

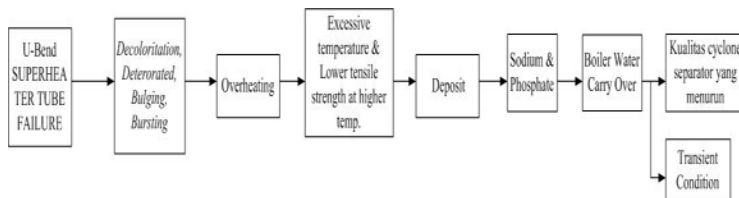
IV.3 Data Hasil Inspeksi Visual U-Bend Superheater Tube

Dari hasil yang ditemui di lapangan berikut adalah gambar dari kerusakan U-Bend *superheater tube* :



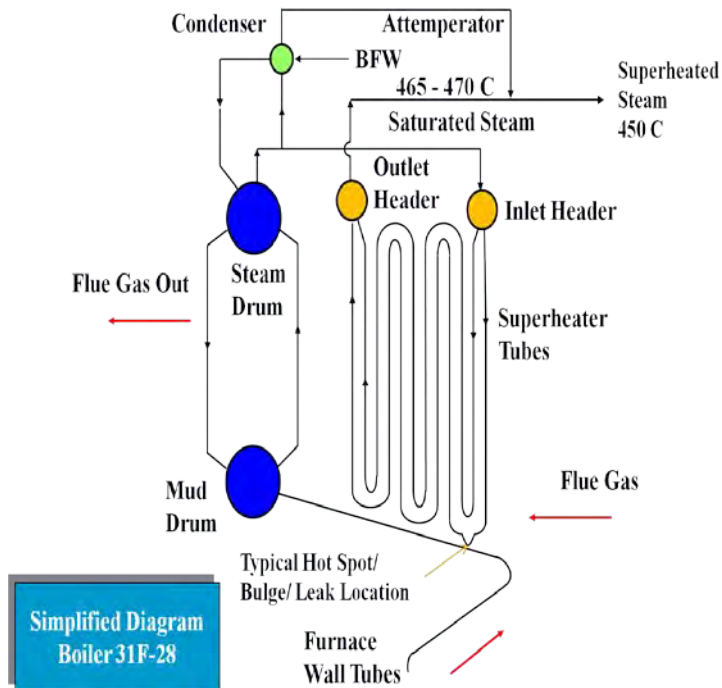
Gambar 4.3 *Pengelembungan pada U-Bend superheater tube (A). Penumpukan deposit pada bagian dalam U-Bend superheater tube (B)*

IV.4 Why Analysis Kerusakan U-Bend Superheater Tube Boiler 31F-28



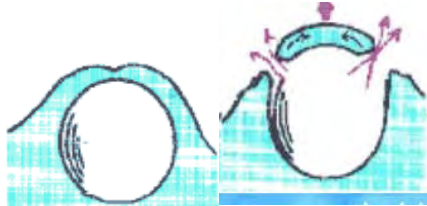
Gambar 4.4 *Why analysis kerusakan U-bend superheater tube pada boiler 31F-28*

Dengan menggunakan why analysis dapat diketahui kerusakan U-bend *superheater tube*. Pada kasus *superheater tube boiler 31F-28* ditemukan fenomena kerusakan berupa *decolorization-deteriorated, bulging-bursting*. Kerusakan ini diakibatkan oleh *overheating* pada bagian U-bend tube yang disebabkan oleh penumpukan deposit *sodium phosphate* yang bersifat sebagai insulator pada bagian dalam pipa. Kondisi ini membuat transfer panas berkurang ke steam, sehingga panas lebih banyak diserap oleh *superheater tube* itu sendiri daripada ditransferkan ke *steam*. Deposit ini terbawa (*water carry over*) selama boiler beroperasi. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada **gambar 4.5**.



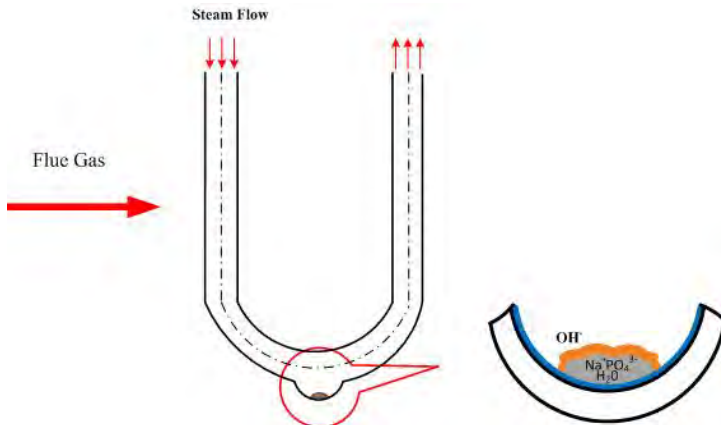
Gambar 4.5 Lokasi kerusakan yang terjadi pada U-bend *superheater tube*

Fenomena *water carry over* adalah semburan halus yang dibawa uap dari drum boiler menuju *superheater tube*. *Water carry over* kemungkinan dapat terjadi disebabkan oleh kualitas *separator* (*cyclone separator* dan *screen dryer*) pada steam drum yang cacat atau berlubang sehingga air tidak dapat dipisahkan dari uap.



Gambar 4.6 *Water carry over* pada boiler

Deposit yang lolos dari penyaringan uap air selanjutnya akan masuk ke dalam *superheater tube*. Selanjutnya deposit ini akan mengendap pada bagian bawah *superheater tube*, yaitu pada bagian U-bend.



Gambar 4.7 *Deposit pada U-bend superheater tube*

Penurunan kualitas *separator* ditengarai menjadi penyebab terbawanya deposit-deposit ini. Deposit yang mengendap akan menyebabkan *overheating* dan membuat penggelembungan pada pipa. Penggelembungan (*Bulging*) pipa ini selanjutnya mencapai tahap dimana pipa tadi akan pecah (*Bursting*) dan turut memecah deposit yang mengendap. Selanjutnya deposit yang pecah tadi akan turut terbawa dan mengendap pada bagian pipa-pipa selanjutnya, tentu saja hal ini menyebabkan pipa yang terkena endapan deposit ini akan mengalami kerusakan serupa. Endapan deposit pada U-bend *superheater tube* dapat dilihat pada **gambar 4.8**.



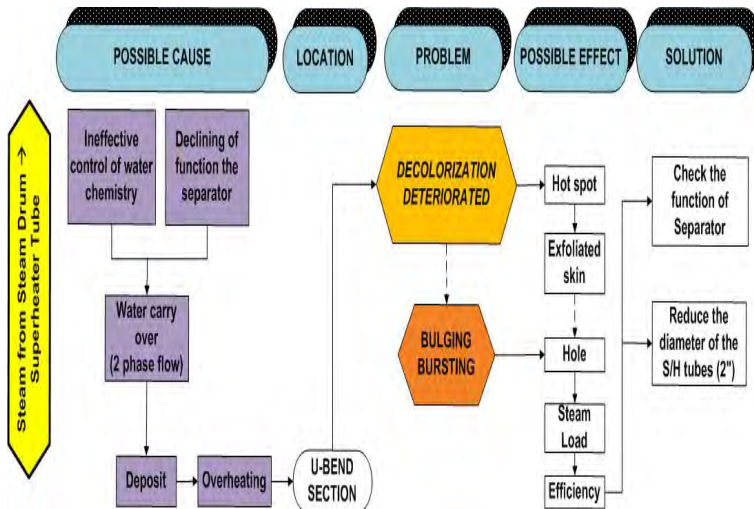
Gambar 4.8 Bekas endapan deposit pada U-bend *superheater tube* Boiler 31F-28

IV.5 Process Analysis, Mapping, and Flowcharts Kerusakan U-Bend Superheater Tube Boiler 31F-28

Pada pembahasan why analysis telah ditemukan penyebab kerusakan pada U-bend *superheater tube*, yaitu *overheating* akibat penumpukan deposit. Deposit ini diakibatkan oleh adanya *water carry over* dari steam drum *Process analysis*,

mapping amd flowcharts bertujuan untuk mengelompokkan secara sistematis dengan tujuan untuk mempermudah menganalisa solusi dari hasil *why analysis* yang didapatkan sebelumnya.

Solusi yang didapatkan pada *process analysis, mapping amd flowcharts* ini akan dibahas satu persatu dengan studi kelayakan, sehingga dapat diterapkan pada permasalahan kerusakan pada U-Bend *superheater tube* nantinya. Untuk pembahasan lebih lanjut terlebih dahulu lihat **gambar 4.9**.



Gambar 4.9 *Process analysis, mapping, and flowcharts* kerusakan U-bend superheater tube pada boiler 31F-28

Dari **gambar 4.9** dapat dilihat analisa dimulai dari steam yang mengalir dari *steam drum* menuju ke *superheater tube*. Steam ini menyebabkan *water carry over* yang diakibatkan oleh tidak efektifnya pengontrolan air kimia yang masuk kedalam steam drum boiler. Pada proses *boiler feed water* yang diumpankan menuju steam drum mengandung unsur kimia seperti TSP *three sodium phosphate* (Na_3PO_4), MSP *mono sodium*

phosphate (NaPO_4) untuk menjaga pH air make up dalam boiler tetap pada range 8.3-9.0.

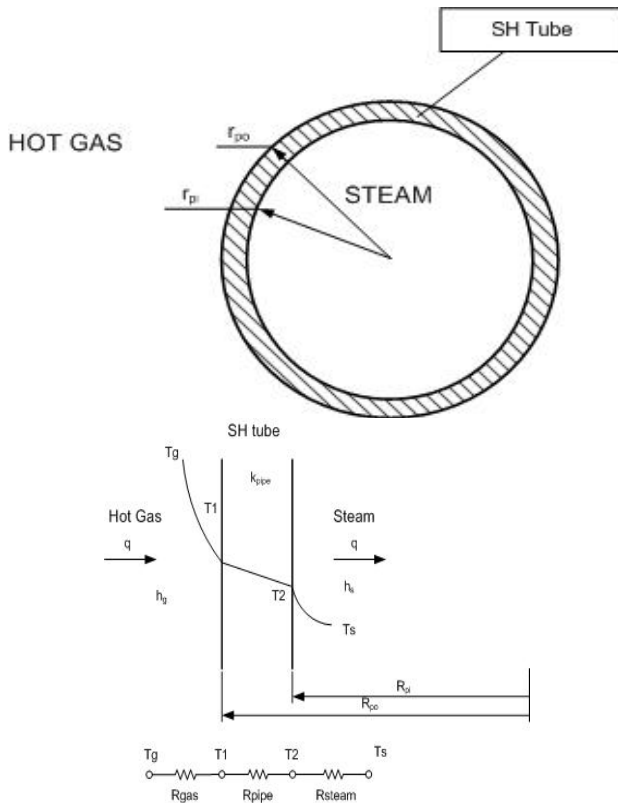
Air yang diumpankan pada steam drum ini selanjutnya akan dipisahkan kandungan uap dan air oleh *cyclone separator* dengan menggunakan prinsip gaya sentrifugal dan gaya inersia. Uap yang terpisah oleh air selanjutnya akan disaring oleh *screen dryer* agar benar-benar terpisah untuk masuk ke *superheater tube*.

Pada kasus boiler 31F-28 ini terjadi proses *water carry over* yang berdampak pada penimbunan deposit oleh unsur kimia *boiler feed water* tadi pada U-bend *superheater tube*. Hal ini menyebabkan timbulnya *overheating* akibat penumpukan deposit tersebut. Akibatnya terjadi *defect* seperti *decolorization-deteriorated*, dan *bulging-bursting*. Timbulnya *defect* menyebabkan timbulnya *hot spot*, pengelupasan permukaan kulit luar *superheater tube*, pengelembungan serta lubang akibat *overheating* yang terjadi pada U-bend *superheater tube*.

IV.5.1 Pengaruh deposit terhadap temperatur pipa

Pipa U-bend yang terdapat endapan deposit di dalamnya dapat mempengaruhi terhadap temperatur pada pipa tersebut. Dalam analisa kali ini akan menggunakan perhitungan koefisien perpindahan panas pada U-bend *superheater tube* boiler 31F-28 berdiameter 2,5 inch, perhitungan ini nantinya akan dibandingkan dengan pipa yang memiliki variasi penambahan deposit sebesar 5% dan 10% terhadap diameter luar pipa.

Pipa SA 213 T22 dan SA 213 TP316H berdiameter 2,5” tanpa deposit



Gambar 4.10 Heat transfer pada superheater tube

Langkah-langkah menghitung laju perpindahan panas pada *superheater tube* adalah sebagai berikut:

1. Menentukan koefisien konveksi steam (h_s)
2. Menentukan koefisien konveksi gas (h_g)

3. Menghitung hambatan panas pada gas, pipa, dan steam (R)
4. Menghitung laju perpindahan panas (q)
5. Menghitung temperatur pada tiap permukaan pipa ($T_{1,2}$)

Menghitung laju perpindahan panas (q')

Data yang dibutuhkan untuk perhitungan laju perpindahan panas adalah sebagai berikut:

Tabel 4.5 *Data yang dibutuhkan untuk perhitungan laju perpindahan panas SH tube*

No.	Data	Nilai	Satuan	Keterangan
1	Konduktivitas pipa (k_{pipe})	24.2	W/m K	Untuk SA 213 TP316H pada temp. film 1000C
		34.5	W/m K	Untuk SA 213 T22 pada temp. film 1000C
2	Koefisien konveksi uap (h_s)	2839.000	W/m^2K	Range = 1500 - 4500 W/m^2K (Tergantung kecepatan aliran dan density gas)
3	Koefisien konveksi gas (h_g)	227.000	W/m^2K	Range = 20- 300 W/m^2K (Tergantung kecepatan aliran dan density gas)
4	Temp. rata-rata gas (T_g)	1300	Celcius	
5	Temp. rata-rata uap (T_s)	450	Celcius	
6	Jari-jari dalam SH tube (r_{pi})	0.027178	(m)	

Untuk mengetahui laju perpindahan panas terlebih dahulu kita harus menghitung nilai hambatan panas (R') pada masing-masing pipa. Hasil yang didapat dapat dilihat pada **tabel 4.6**.

Tabel 4.6 Perhitungan hambatan panas SH tube

No.	Data	Rumus	Diameter
			2.5"
			SA 213 T22
1	R' conv. (gas)	$1/(hg \ 2 \ \pi \ r_{po})$	0.000717645
2	R' cond. (Pipe)	$\ln(r_{po}/r_{pi})/(2 \ \pi \ k_{pipe})$	0.022093818
3	R' conv. (steam)	$1/(hs \ 2 \ \pi \ r_{pi})$	0.002063752
			SA 213 TP316H
1	R' conv. (gas)	$1/(hg \ 2 \ \pi \ r_{po})$	0.001023089
2	R' cond. (Pipe)	$\ln(r_{po}/r_{pi})/(2 \ \pi \ k_{pipe})$	0.022093818
3	R' conv. (steam)	$1/(hs \ 2 \ \pi \ r_{pi})$	0.002063752

Setelah semua nilai hambatan panas diketahui barulah kita dapat menghitung nilai dari laju perpindahan panas (q') dari *superheater tube*.

$$q' = \frac{T_g - T_s}{R_{tot}}$$

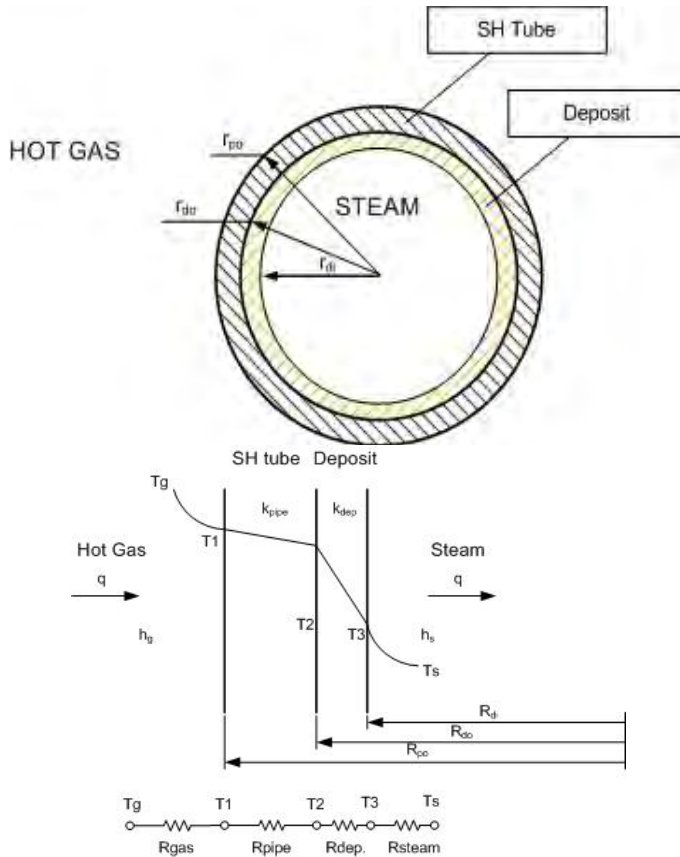
Maka hasil laju perpindahan panas yang didapatkan pada pipa berdiameter **2,5"** adalah SA 213 T22 **34170.560** W/m dan SA 213 TP316H **33756.068** W/m.

Jika nilai laju perpindahan panas pada pipa telah didapatkan maka kita bisa menghitung temperatur pada masing-masing dinding pipa. Dengan menggunakan Asas Black dimana $q_{lepas} = q_{terima}$ maka temperatur pada tiap titik dapat kita temukan.

Tabel 4.7 Perhitungan $T_{1,2}$

Rumus	Pipa
	2.5"
	SA 213 T22
$T1 = q' * R'conv (steam) + Ts$	520.5195549
$T2 = q' * (R'conv (steam) + R cond. pipe) + Ts$	545.0418764
SA 213 TP316H	
$T1 = q' * R'conv (steam) + Ts$	519.6641459
$T2 = q' * (R'conv (steam) + R cond. pipe) + Ts$	554.1995915

Pipa SA 213 T22 dan SA 213 TP316H dengan variasi deposit 5% dan 10%



Gambar 4.11 Heat transfer pada superheater tube

Langkah-langkah menghitung laju perpindahan panas pada *superheater tube* adalah sebagai berikut:

1. Menentukan koefisien konveksi steam (h_s)
2. Menentukan koefisien konveksi gas (h_g)

3. Menghitung hambatan panas pada gas, pipa, deposit, dan steam (R)
4. Menghitung laju perpindahan panas (q)
5. Menghitung temperatur pada tiap permukaan pipa ($T_{1,2,3}$)

Menghitung laju perpindahan panas (q')

Data yang dibutuhkan untuk perhitungan laju perpindahan panas adalah sebagai berikut:

Tabel 4.8 Data yang dibutuhkan untuk perhitungan laju perpindahan panas SH tube dengan variasi deposit 5% dan 10%

No.	Data	Nilai	Satuan	Keterangan
1	Konduktivitas pipa (k_{pipe})	24.2	W/m K	Untuk SA 213 TP316H pada temp. film 1000 °C
		34.5	W/m K	Untuk SA 213 T22 pada temp. film 1000 °C
2	Konduktivitas deposit (k_{dep})	2.1625	W/m K	Untuk Sodium Phosphate
3	Koefisien konveksi uap (h_s)	Diameter pipa (d)		Range = 1500 - 4500 W/m ² K (Tergantung kecepatan aliran dan density gas)
		2,5"		
		5% Deposit	378.998	
	10% Deposit	417.737	W/m ² K	
4	Koefisien konveksi gas (h_g)	277.000	W/m ² K	Range = 20- 300 W/m ² K (Tergantung kecepatan aliran dan density gas)
5	Temp. rata-rata gas (T_g)	1300	Celcius	
6	Temp. rata-rata uap (T_s)	450	Celcius	

Untuk mengetahui laju perpindahan panas terlebih dahulu kita harus menghitung nilai hambatan panas (R) pada pipa. Hasil yang didapat dapat dilihat pada **tabel 4.10**.

Tabel 4.9 Data jari-jari (r)

Data	Pipa		Deposit
	2.5"		
	(m)		
r_{di}	0.0258191	5%	
	0.0244602	10%	
r_{do}	0.027178		
r_{po}	0.03175		

Tabel 4.10 Perhitungan hambatan panas SH tube

No.	Data	Rumus	Diameter		Deposit
			2.5"		
			SA 213 T22		
1	R' conv. (gas)	$1/(hg \ 2 \ \pi \ r_{po})$	0.022093818		
2	R' cond. (Pipe)	$\ln(r_{po}/r_{di})/(2 \ \pi \ k_{pipe})$	0.000717645		
3	R' cond. (deposit)	$\ln(r_{do}/r_{di})/(2 \ \pi \ k_{dep})$	0.003776981		5%
			0.007758221		10%
4	R' conv. (steam)	$1/(hs \ 2\pi \ r_{di})$	0.00217237		5%
			0.002293058		10%
			SA 213 TP316H		
1	R' conv. (gas)	$1/(hg \ 2 \ \pi \ r_{po})$	0.022093818		
2	R' cond. (Pipe)	$\ln(r_{po}/r_{di})/(2 \ \pi \ k_{pipe})$	0.001023089		
3	R' cond. (deposit)	$\ln(r_{do}/r_{di})/(2 \ \pi \ k_{dep})$	0.003776981		5%
			0.007758221		10%
4	R' conv. (steam)	$1/(hs \ 2\pi \ r_{di})$	0.016272815		5%
			0.01558396		10%

Setelah semua nilai hambatan panas diketahui barulah kita dapat menghitung nilai dari laju perpindahan panas (q') dari *superheater tube*.

$$q' = \frac{T_g - T_s}{R_{tot}}$$

Maka hasil laju perpindahan panas yang didapatkan sebesar:

Tabel 4.11 Laju Perpindahan Panas (q')

Laju Perpindahan Panas (q')		
Material	Pipa	Deposit
	2.5"	
SA 213 T22	29554.10073	5%
	25865.15851	10%
SA 213 TP316H	29243.5304	5%
	25626.96781	10%

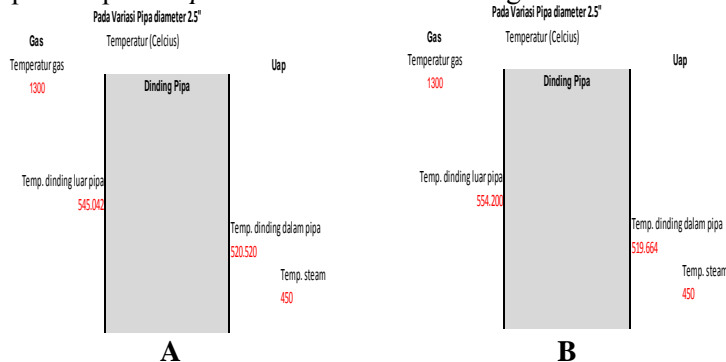
Jika nilai laju perpindahan panas pada pipa telah didapatkan maka kita bisa menghitung temperatur pada masing-masing dinding pipa maupun temperatur pada lapisan deposit. Dengan menggunakan Asas Black dimana $q_{\text{lepas}} = q_{\text{terima}}$ maka temperatur pada tiap titik dapat kita temukan.

Tabel 4.12 Perhitungan $T_{1,2,3}$

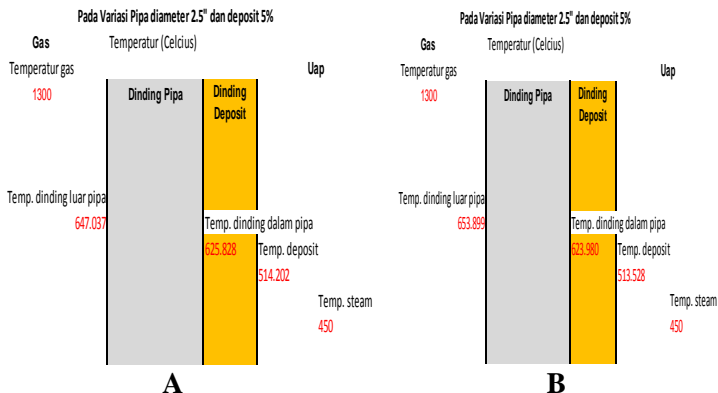
Rumus	Pipa	Deposit
	2.5"	
SA 213 T22		
$T1 = q' * (R'_{\text{conv}}(\text{steam}) + R'_{\text{cond. Dep}} + R'_{\text{cond. pipe}}) + T_s$	647.0370813	5%
	728.539899	10%
$T2 = q' * (R'_{\text{conv}}(\text{steam}) + R'_{\text{cond. Dep}}) + T_s$	625.8277373	5%
	709.9779048	10%
$T3 = q' * R'_{\text{conv}}(\text{steam}) + T_s$	514.2024518	5%
	509.3102977	10%
SA 213 TP316H		
$T1 = q' * (R'_{\text{conv}}(\text{steam}) + R'_{\text{cond. Dep}} + R'_{\text{cond. pipe}}) + T_s$	864.9483534	5%
	895.7788564	10%
$T2 = q' * (R'_{\text{conv}}(\text{steam}) + R'_{\text{cond. Dep}}) + T_s$	844.8026116	5%
	877.0607689	10%
$T3 = q' * R'_{\text{conv}}(\text{steam}) + T_s$	770.4296834	5%
	735.1189439	10%

IV.5.1.1 Pembahasan hasil perhitungan temperatur pada U-bend superheater tube

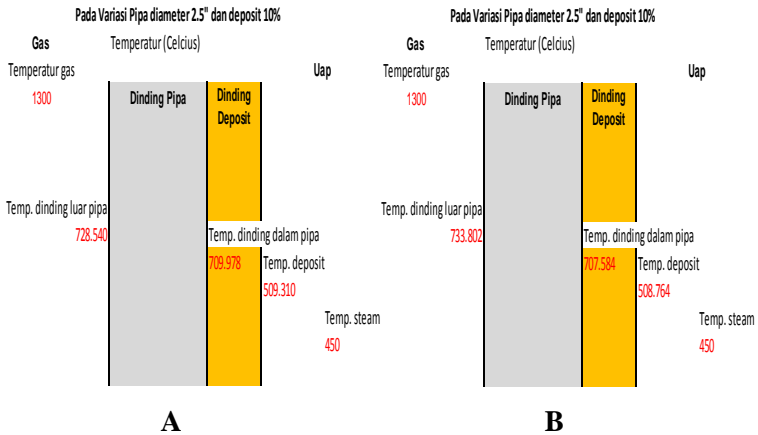
Apabila semua nilai temperatur telah kita dapatkan, maka kita dapat menganalisa pengaruh penebalan deposit sebesar 5% dan 10% terhadap temperatur pada pipa SA 213 T22 dan SA 213 TP316H dengan diameter pipa 2.5". Hasil dari perhitungan dari temperatur pada *superheater tube* adalah sebagai berikut:



Gambar 4.12 Temperatur pipa SA 213 T22 (A) SA 213 TP316H (B) diameter 2,5" tanpa deposit



Gambar 4.13 Temperatur pipa SA 213 T22 (A) SA 213 TP316H (B) diameter 2,5" dengan deposit 5%

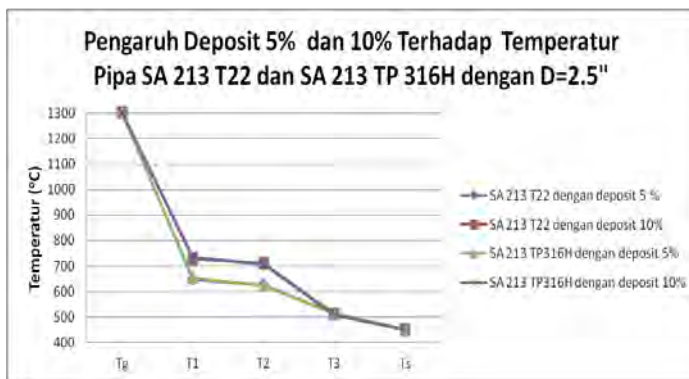


Gambar 4.14 Temperatur pipa SA 213 T22 (A) SA 213 TP316H (B) diameter 2,5" dengan deposit 10%

Dilihat dari hasil perhitungan perpindahan panas pada pipa bersih tanpa adanya deposit terlihat perbedaan temperatur antara material SA 213 T22 dengan SA 213 TP316H dengan diameter 2,5", yaitu dengan selisih temperatur pada sisi luar pipa adalah 9 °C. Temperatur pada pipa dengan material *stainless steel* SA 213 T P316H lebih tinggi dibandingkan dengan temperatur pada pipa dengan material SA 213 T22. Perbedaan temperatur ini disebabkan konduktivitas thermal pada material SA 213 TP316H lebih kecil dibandingkan dengan material SA 213 T 22. Jika konduktivitas thermal pada suatu material lebih kecil, maka perpindahan panas yang terjadi menjadi tidak maksimal. Hal ini akan menyebabkan temperatur pada pipa akan meningkat.

Ditinjau dari aspek temperatur desain material maka temperatur aktual pada kedua material tersebut sudah melebihi dari batas maksimum temperatur desainnya. Karena pada material SA 213 T22 temperatur maksimum dari desain adalah sebesar 602 °C, sedangkan untuk material dari SA 213 TP316H adalah sebesar 816 °C.

Faktor pengaruh deposit pada temperatur terhadap kedua material dapat dilihat pula perbedaannya. Pada material SA 213 T22 dampak peningkatan temperatur yang ditimbulkan oleh endapan deposit ini adalah sebesar 102 °C pada variasi deposit 5% dan untuk variasi deposit 10% sebesar 183 °C. Sedangkan untuk material SA 213 TP316H dampak peningkatan temperatur yang ditimbulkan oleh endapan deposit ini adalah sebesar 99 °C pada variasi deposit 5% dan untuk variasi deposit 10% sebesar 179 °C.



Gambar 4.15 Grafik pengaruh variasi deposit 5% dan 10% terhadap temperatur pada pipa superheater tube

Jadi kesimpulannya akibat endapan deposit ini akan mempengaruhi temperatur yang diserap oleh pipa. Akibatnya temperatur pada dinding *superheater tube* akan mengalami peningkatan temperatur. Tentunya sangat penting untuk menjaga kondisi di dalam pipa agar tidak terjadi endapan deposit yang merugikan. Maka dari itu rekomendasi yang dapat diberikan akan dijelaskan selanjutnya.

IV.5.2 Rekomendasi penyelesaian masalah

Pada tahap ini akan dibahas solusi dari permasalahan yang ditimbulkan oleh *water carry over*. Adapun rekomendasi yang dapat diberikan adalah sebagai berikut:

1. Mengecek fungsi separator

Fungsi separator adalah memisahkan antara uap dengan air. Pengecekan fungsi separator ini sangat penting, karena jika terjadi kerusakan maka uap air tidak akan dapat dipisahkan secara maksimal. Hal ini akan terjadi proses *water carry over* pada *superheater tube*.

2. Mengurangi diameter U-bend *superheater tube* menjadi 2 inch

Deposit terjadi karena *water carry over* menempati posisi U-bend yang berada paling bawah. Untuk mengurangi kemungkinan pengendapan maka kecepatan steam di dalam U-bend harus dinaikkan. Untuk menaikkan kecepatan itu perlu mengurangi diameter pipa. Diameter pipa yang lebih kecil juga membuat diameter belokan U-bend menjadi sedikit lebih besar, sehingga boundary layer didasar U-bend akan mengecil.

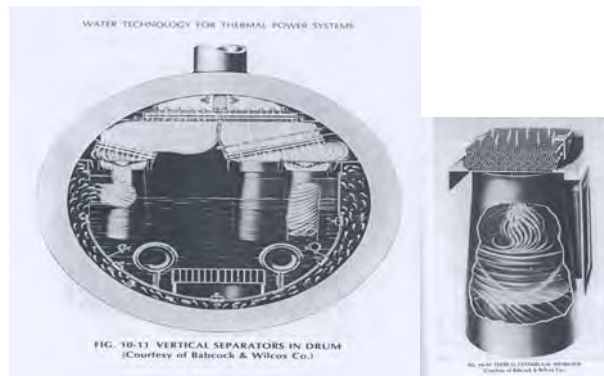
IV.5.2.1 Mengecek fungsi Separator

Laju penguapan persatuan luas permukaan air dalam *drum* saat ini terlalu berat kalau hanya dilakukan dengan pemisahan secara gravitasi. Oleh karena itu, digunakan jenis *cyclone* untuk memenuhi 2 tujuan, yaitu :

- Memasok uap yang bebas air untuk *superheater*
- Memasok air bebas uap ke pipa *downcomer*

Cyclone separator adalah alat yang menggunakan prinsip gaya sentrifugal dan tekanan rendah karena adanya perputaran

untuk memisahkan materi berdasarkan perbedaan massa jenis, ukuran, dan bentuk. Pada boiler siklon (cyclone) digunakan karena karakteristiknya yaitu sebagai alat pemisah partikel dengan gas. *Cyclone separator* yang dipakai oleh boiler 31F-28 di PT BADAQ NGL adalah *cyclone separator* tipe *vertical centrifugal*.(gambar 4.17)



Gambar 4.16 *Vertical centrifugal separator*

Peristiwa *water carry over* disangkut pautkan pada proses penyaringan uap air di steam drum sebelum melewati *saturated tube*. Hal ini mungkin saja kinerja dari alat penyaring uap air tidak cocok untuk penyaringan dengan kapasitas air yang teruapkan menjadi steam yang begitu besar. Ketika *cyclone separator* kelebihan beban, tekanan di dalam ruang pusaran turun begitu banyak menuju area penampungan air menuju saluran *downcomer* dan dapat membanjiri *cyclone separator*. Sehingga kualitas steam yang dihasilkan mengandung uap air begitu banyak yang tidak mampu disaring oleh *screen dryer*.

Screen Dryer (pengering) digunakan sebagai pemisah tingkat kedua untuk membebaskan hampir semua air dari uap sebelum dialirkan ke *superheater* Suatu pengering terdiri dari lempengan baja berbentuk V atau W yang dijajar secara berapatan, dengan uap mengalir antara lempengan membuat satu

atau lebih perubahan arah yang tajam dan melempar partikel lempengan tersebut. Air akan turun dari atas lempengan ke sisi bawah pengering dan dikembalikan ke air ketel. Kecepatan dari uap pada pengering tidak boleh terlalu tinggi atau akan terjadi resiko masuknya kembali air yang telah melekat pada lempengan dan pengering akan kelebihan beban. Tipikal kecepatannya kira-kira 0,105 m/s pada 170 kg/cm² dan 0,20 m/s pada 62 kg/cm² tekanan *drum*.



Gambar 4.17 *Screen dryer*

Pengecekan pada screen dryer ini sangat penting jika terjadi kerusakan maka steam tidak dapat benar-benar terpisah dari kandungan air. Kemungkinan kerusakan pada screen dryer diakibatkan oleh penumpukan kerak atau buntu. Hal ini menyebabkan laju aliran uap akan semakin tinggi akibat penyempitan akibat sumbatan. Akibat kecepatan uap yang meningkat maka air yang menempel pada lempengan-lempengan akan terdorong masuk menuju superheater tube.

Selain itu kerusakan pada screen dryer juga bisa disebabkan karena lempengan-lempengan tersebut mengalami korosi. Karena mengalami korosi terjadi pengkeroposan yang dapat menimbulkan lubang, sehingga uap yang masih mengandung air dapat lolos masuk menuju *superheater tube*.

Oleh karena itu alat penyaring uap air (*separator*) perlu dilakukan pengecekan secara ketat serta harus dibersihkan secara rutin, sehingga hasil penyaringan uap air menjadi maksimal (steam tanpa kandungan air).

IV.5.2.2 Mengurangi diameter *superheater tube* menjadi 2 inch

Faktor perbedaan diameter dalam pipa sangat mempengaruhi laju aliran uap. Hal ini dapat dilihat dari nilai kecepatan yang dihasilkan oleh steam dan juga dilihat dari karakteristik aliran angka yang ditunjukkan oleh bilangan Reynolds. Aliran didalam *superheater tube* menunjukkan karakteristik aliran turbulen, dimana angka tersebut lebih besar dari 2300 bilangan Reynolds. Berdasarkan pada laju aliran massa steam (load steam) yang keluar dari *superheater tube*, dapat diketahui berapa kecepatan laju aliran uap yang melewati *superheater tube*.

$$\dot{m} = \rho v A$$

Dengan $\dot{m} = 379$ ton/hr, $T_{out} = 450$ °C, $P = 67.1$ Kg/cm², $\mu = 0.00002677$ Kg m/s dan $\rho = 21.1906$ Kg/m³, maka didapatkan hasil sebagai berikut:

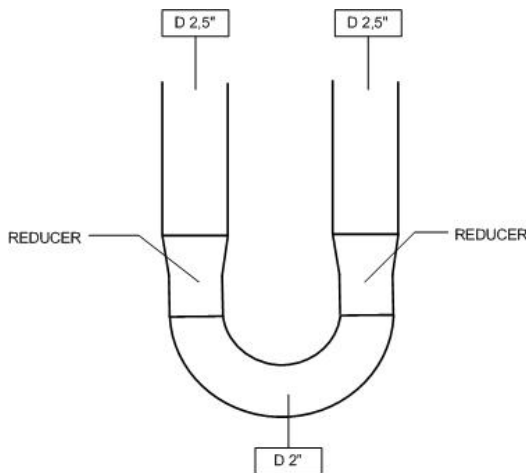
Tabel 4.13 Hasil perhitungan V dan Re pada pipa diameter 2" dan 2.5"

Diameter pipa	Kecepatan aliran steam
	V (m/s)
2"	5.180790256
2.5"	3.042679158
	Reynolds Number
	Re
2"	170831.6979
2.5"	130917.7498

Pada perhitungan diatas *superheater tube* dengan diameter 2" memiliki kecepatan dan nilai bilangan Reynolds yang lebih besar dibandingkan dengan pipa berdiameter 2,5". Kecepatan uap yang terjadi saat melewati bagian U-bend akan mengalami penurunan kecepatan. Karena pada pipa 2,5" lebih

rendah kecepatan uapnya dari pipa 2" maka otomatis sewaktu aliran uap melewati bagian U-bend akan mengalami penurunan kecepatan pula, sehingga deposit yang terbawa dapat mengendap pada U-bend. Jika memakai pipa 2" akan menguntungkan dari segi teknis., karena kecepatan aliran di dalam pipa lebih tinggi, maka uap akan dengan mudah membawa deposit yang terbawa masuk kedalam *superheater tube* dan tidak sempat mengendap.

Rekomendasi yang dapat dilakukan adalah dengan mengganti bagian U-bend tube menjadi lebih kecil dari 2,5", yaitu diganti dengan diameter 2". Proses pergantian ini dilakukan hanya pada bagian U-bend saja. Hal ini bertujuan untuk meningkatkan kecepatan yang menurun pada daerah pengarah aliran. Lihat pada **gambar 4.18**



Gambar 4.18 Pergantian diameter U-Bend menjadi 2"

Namun hal ini juga memiliki kekurangan, sebab prosedur pemasangan pipa dengan diameter yang berbeda ini memerlukan studi lebih lanjut terhadap teknis pelaksanaannya. Perbedaan diameter pipa akan berpengaruh terhadap *minimum allowable wall thickness* (MAWT).

Berikut adalah perhitungan tebal yang diijinkan (t'_{req}) pada Superheater Tube :

$$t'_{req} = \frac{P \cdot D}{2S + P} (0.005D) + e$$

Dimana :

t'_{req} = tebal minimum (in)

P = Maximum Allowable Working Pressure, MAWP (Psi)

S = Maximum Allowable Working Stress, MAWS (Psi)

D = Outside Diameter (in)

e = Thickness Factor

Tabel 4.14 *Tabel Strength Calculation of Material Superheater Tube*

Material Type		SA 213 T22	SA 213 T22
P (Psi)		973	973
T (F)		842	842
S (Psi)		7251	7251
D (in)		2	2,5
e		0	0
t'req	(in)	0.13576141	0.16970176
	(mm)	3.4483398	4.31042475

Dari tabel diatas dapat dikalkulasikan sebagai berikut :

Diameter 2" :

$$t'_{req} = \frac{973 \times 2}{2 \times 7251 + 973} (0.005 \times 2) + 0 = 3.448 \text{ mm}$$

Diameter 2,5" :

$$t'_{req} = \frac{973 \times 2.5}{2 \times 7251 + 973} (0.005 \times 2.5) + 0 = 4.31 \text{ mm}$$

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

V.1 Kesimpulan

Setelah dilakukan rangkaian analisa data dan pembahasan, maka dapat diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Kerusakan superheater tube disebabkan oleh *overheating* akibat adanya deposit.
2. Berdasarkan analisa perbandingan temperatur didapatkan fakta bahwa deposit menyebabkan peningkatan temperatur pada permukaan *superheater tube*.
3. Separator yang rusak berperan dalam proses terjadinya *water carry over* pada U-Bend superheater tube.
4. Berdasarkan analisa laju kecepatan aliran didapatkan bahwa pipa dengan diameter 2" dapat meningkatkan kecepatan aliran sehingga mengurangi kemungkinan penumpukan deposit tidak terjadi pada U-bend *superheater tube*.

V.2 Saran

Beberapa saran yang dapat diberikan oleh penulis untuk pencegahan dan penanganan kegagalan pada U-bend *superheater tube* ini adalah sebagai berikut:

1. Pengecekan dan pengontrolan secara ketat fungsi *separator* pada steam drum dapat mencegah *water carry over* pada U-Bend superheater tube.
2. Pemilihan diameter 2" secara teknis dapat menguntungkan. Namun terdapat dampak negatif pula, yaitu prosedur pemasangan pipa dengan diameter yang berbeda ini memerlukan studi lebih lanjut terhadap teknis pelaksanaannya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Neves, Daniel Leite Cypriano, "*Stress and Integrity Analysis of Steam Superheater Tubes of High Pressure Boiler*", Material Research, Vol 7, No.1, 155-161, 2004.
- [2] Hopskin, Andrew, "*Safety, Culture and Risk-The organisational causes of disaster*".
- [3] Widhyaestoeti, Dahlia, "*Bisniss Process Analysis*".
- [4] Vorley, Geof, "*Mini Guide to Root Cause Anlaysis*", Quality Management & Training Limited, 2008.
- [5] Rahman, M.M. dkk, J. Purbolaksono, J. Ahmad., "*Root cause failure analysis of a division wall superheater tube of a coal-fired power station*", Engineering Failure Analysis, 2010.
- [6] Chandra, K. dkk, Vivekanand Kain, G.K. Dey., "*Failure of 2.25Cr-1Mo steel of superheater tube in a fluidized bed combustor due to fireside corrosion*", Engineering Failure Analysis, 2010.
- [7] Mcdonalds, Fox., "*Introduction to Fluid Mechanics 7 ed*".
- [8] R. Viswanathan., "*Damage Mechanisms and Life Assessment of High-Temperature Component*", Metal Park, Ohio: ASM International, 1989.
- [9] Denny, A. Jones., "*Principle and Prevention of Corrosion*".
- [10] Metal Hand Book Vol 13., "*Corrosion dan ASTM annual year book*".
- [11] Derek, H. Lister, "*Corrosion For Engineering chapter 10 erosion-corrosion*".
- [12] PT BADAQ NGL, "*Kursus Sertifikasi Operator Pesawat Uap*".

- [13] Operating Manual Vol 2, “*Steam And Power System, Pertamina Bontang LNG Expansion*”.
- [14] ASME Section I, “*Boiler And Pressure Vessel Code*”.
- [15] Babcock & Wilcock, “*STEAM : Its Generation and Use* 41st ed”.
- [16] PT BADA K NGL, “*Inspection Report Boiler 31F-28: 1989-2010*”.
- [17] Sondalini, Mike, “RCFA and 5-Whys Tips for Successful Use”, [Online], Tersedia: www.lifetime-reliability.com, [20 November 2013].
- [18] Incropera dkk, DeWitt, Bergmann, Lavine, “*Fundamental of Heat and Mass Transfer sixth edition*”, John Wiley & Sons (Asia), Wiley asia student edition, 2007.

RIWAYAT HIDUP PENULIS



Rizky Hijrah Permana dilahirkan di kota Bontang Kalimantan Timur pada tanggal 18 September 1989. Penulis adalah putra pertama dari tiga bersaudara pasangan Murhansyah dan Titin. Penulis memulai jenjang pendidikannya di TK YPVDP Bontang dan SD YPVDP Bontang hingga lulus tahun 2001. Setelah itu penulis melanjutkan studinya di SMP YPVDP Bontang.

Pada tahun 2004, penulis diterima sebagai murid SMA YPVDP Bontang hingga lulus pada tahun 2007. Pada tahun yang sama penulis masuk ke Jurusan Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya dan mengambil bidang studi Teknik Manufaktur.

Selama menjadi mahasiswa, penulis selalu meluangkan waktunya untuk berkarya di bidang musik. Selain itu, penulis juga aktif dalam organisasi Mesin Music Club (MMC) sebagai kepala divisi *event*, menjadi asisten untuk Praktikum Metrologi Industri di Laboratorium Metrologi Teknik Mesin ITS, dan menjadi pengurus Laboratorium Sistem Manufaktur Teknik Mesin ITS.