



TUGAS AKHIR - TM141585

**EVALUASI KOROSI PADA BAGIAN LUAR TUBE
HRSG DAN METODE PENCEGAHAN
(STUDI KASUS PLTGU PT.PJB UP GRESIK)**

BAGUS ADI MULYA PUTRA
NRP. 2113 105 023

Dosen Pembimbing
Ir. Witantyo, M.Eng.Sc

JURUSAN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016



FINAL PROJECT - TM141585

CORROSION EVALUATION AT OUTER SURFACE OF HRSG TUBE AND THE PREVENTION METHOD (CASE STUDY OF PLTGU PT.PJB GRESIK)

BAGUS ADI MULYA PUTRA
NRP. 2113 105 023

Supervisor
Ir. Witantyo, M.Eng.Sc

MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2016

LEMBAR PENGESAHAN

EVALUASI KOROSI PADA BAGIAN LUAR *TUBE* HRSG DAN METODE PENCEGAHAN (STUDI KASUS PLTGU PT.PJB UP GRESIK)

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk 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 :

BAGUS ADI MULYA PUTRA
NRP. 2113 105 023

Disetujui oleh Pembimbing dan Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Ir. Witantyo, M.Eng. Sc (Pembimbing)
(NIP.19630314198803102)
2. Ir. Sudiyono Kromodihardjo, Msc. PhD (Penguji I)
(NIP. 195208011978031005)
3. Dr.Eng. Sutikno, ST, MT (Penguji II)
(NIP.197407032000031001)
4. Indra Sidharta, ST, Msc (Penguji III)
(NIP. 198006192006041004)

SURABAYA
Januari 2016

**EVALUASI KOROSI PADA BAGIAN LUAR *TUBE* HRSG
DAN METODE PENCEGAHANNYA
(STUDI KASUS PLTGU PT.PJB UP GRESIK)**

Nama Mahasiswa : Bagus Adi Mulya Putra
NRP : 2113 105 023
Jurusan : Teknik Mesin FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Ir. Witantyo, M.Eng.Sc

Abstrak

Heat Recovery Steam Generator (HRSG) merupakan suatu alat yang berfungsi menaikkan efisiensi turbin gas pada pembangkit listrik. PT PJB unit Gresik memiliki beberapa HRSG yang sering mengalami korosi pada pipanya. Penelitian ini membahas korosi pada permukaan luar pipa untuk mencari penyebab dan cara pencegahannya.

Dalam penelitian ini digunakan metode Root Cause Failure Analysis (RCFA) untuk menentukan penyebab kerusakan akibat korosi. Data yang digunakan adalah pola operasi HRSG, bahan bakar, emisi gas buang, treatment pada HRSG dan analisa sampel sisi luar tube yang terkorosi.

Siklus mati hidup HRSG yang sangat tergantung pada kebutuhan daya listrik masyarakat merupakan penyebab utama korosi. Saat HRSG dimatikan dalam waktu yang lama, korosi terjadi pada permukaan fin tube HRSG oleh acid dew point karena sulfur yang terkandung bahan bakar turbin gas. Disarankan untuk melakukan preservasi menggunakan dehumidifikasi untuk menurunkan kelembaban agar kerusakan akibat korosi bisa dihindari.

Kata Kunci: HRSG, korosi tube, RCFA, Dehumidifikasi

CORROSION EVALUATION AT OUTER SURFACE OF HRSG TUBE AND THE PREVENTION METHOD (CASE STUDY OF PLTGU PT.PJB UP GRESIK)

Student Name : Bagus Adi Mulya Putra
NRP : 2113 105 023
Department : Mechanical Engineering-ITS
Supervisor : Ir. Witantyo, M.Eng.Sc

Abstract

Heat Recovery Steam Generator (HRSG) is an equipment to increase efficiency of gas turbine in power plant. PT.PJB GRESIK has some HRSG which have severe corrosion at outer surface its tube. This research focus in finding the cause of the problem and how to prevent it.

Root Cause Failure Analysis (RCFA) methode is used to find cause and damage result by corrosion. The RCFA methode that used are observe operation pattern of HRSG, type of fuel consumed, exhaust gas emission, prevention treatment of HRSG and XRD analysis of the corroded Pre-heater tube sample.

On-off cycle of the HRSG, that depend on power demand, is the main cause corrosion. When HRSG was off for a long period of time, corrosion could attack fin tube surface due to acid dewpoint. Sulfur is from the gas turbine fuels. It was suggested that preservaton with dehumidifier should be done to reduce moisture to prevent the corrosion in HRSG chamber.

Keyword: HRSG, tube corrosion, RCFA, Dehumidified

KATA PENGANTAR

Astungkara, segala puji dan syukur atas kehadiran Sang Hyang Widhi Wasa yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penyusun dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul :“**Evaluasi korosi pada bagian luar tube HRSG dan metode pencegahan (Studi kasus PLTGU PT.PJB UP Gresik)**” tepat pada waktunya.

Tugas Akhir ini merupakan salah satu persyaratan yang harus dipenuhi untuk memenuhi gelar Sarjana pada Program Studi Sarjana Teknik Mesin FTI-ITS dengan tujuan agar mahasiswa dapat menerapkan teori yang telah didapat selama masa perkuliahan terutama mata kuliah korosi dan perawatan.

Keberhasilan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir tidak lepas dari dukungan berbagai pihak. Melalui kesempatan ini penulis ingin menyampaikan apresiasi dan rasa terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu penulis memberikan bimbingan, motivasi, bantuan dan dukungan. Oleh karena itu penulis ingin mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua saya Ir.Nyoman Riana dan Dra,MSi Luh Kusrimayuni yang telah berjasa memberikan dukungan penuh tanpa henti.
2. Bapak Ir.Witanty, M.Eng Sc selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, motivasi dan arahan yang bermanfaat dalam penulisan Tugas Akhir
3. Bapak Ir.Sudiyono Kr.,Msc,PhD, bapak Dr.Eng. Sutikno,ST,MT., bapak Indra Sidharta,ST,Msc selalu dosen penguji yang telah memberikan saran dan masukan yang bermanfaat dalam penulisan Tugas Akhir ini.

4. Bapak Ir.Bambang Pramujati, Msc.Eng, PhD selaku Ketua Jurusan S1 Teknik Mesin FTI-ITS.
5. Prof. Dr. Ir. Prabowo, M.eng selaku dosen wali saya yang telah memberi arahan dan motivasi untuk akademik.
6. Seluruh Bapak/Ibu Dosen dan seluruh karyawan Program Studi Teknik Mesin FTI-ITS yang telah banyak membantu dan membimbing selama perkuliahan.
7. Pembimbing lapangan PT. PJB UP Gresik terima kasih atas bantuannya kepada: bapak Putu Sudarsana, bapak Hilman Aziz dan bapak Fuad Arifin.
8. Teman-teman PT. PJB UP Gresik: Taufik Adriansyah ,Wahyu Dewantoro & Mas Ageng Terima kasih atas bantuannya dan konsultasinya selama menyusun TA.
9. Serta berbagai pihak-pihak yang belum tertulis, tetapi sangat berperan dalam penyelesaian tugas akhir ini.

Kekurangan atau kesalahan tentu masih ada, namun bukan suatu yang disengaja hal tersebut semata-mata disebabkan karena kekurangan dan keterbatasan pengetahuan yang dimiliki penulis. Oleh karena itu kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan demi kesempurnaan Tugas Akhir ini.

Akhir kata semoga Tugas Akhir ini bermanfaat bagi pembaca dan mahasiswa, khususnya mahasiswa Jurusan S1 Teknik Mesin FTI-ITS.

“Om shantih, shantih, shantih Om”

Surabaya, Januari 2016

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	iv
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	7
1.3 Batasan Masalah	7
1.4 Tujuan Penelitian	8
1.5 Manfaat Penelitian	8
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI. 11	
2.1 Korosi.....	11
2.1.1 Definisi Korosi	11
2.1.2 Klasifikasi Korosi.....	11
2.1.3 Aspek-Aspek Korosi	13
2.2 Metode Pencegahan Korosi	16
2.2.1 Pencegahan Korosi di Dalam Pipa HRSG	16
2.2.2 Pencegahan Korosi Permukaan Pipa HRSG	24
2.3 Penelitian Terdahulu	30
2.3.1 Analisa Kerusakan <i>plain tube high pressure secondary economizer</i> PLTGU HRSG 3.2 PT.PJB Gresik ditinjau dari aspek korosi	30
2.3.2 <i>Caustic Corrosion in Boiler waterside Tube</i>	32
2.3.3 <i>Superior Corrosion Protection effectiveness of VpCI-337 as Compared to Nitrogen Blanketing</i>	34

BAB III METODE PENELITIAN	37
3.1 Diagram Alir Penelitian	37
3.2 Metodologi Penelitian	38
3.2.1 Studi lapangan, studi literatur dan identifikasi permasalahan	38
3.2.2 Pengambilan Data.....	38
3.2.3 Pengolahan Data dan Analisa	39
3.2.4 Solusi dan Metode Pencegahan Korosi	40
3.2.5 Kesimpulan dan Saran.....	40
 BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN.....	 41
4.1 Identifikasi Siklus <i>ON</i> dan <i>OFF</i> pada unit HRSG	43
4.1.1 Siklus <i>ON/OFF</i> HRSG dan penggunaan bahan bakar tahun 2015	44
4.1.2 Siklus <i>ON/OFF</i> HRSG dan penggunaan bahan bakar tahun 2014	47
4.1.3 Siklus <i>ON/OFF</i> HRSG Blok 2.....	50
4.2 Analisis Dampak Siklus <i>ON/OFF</i> Terhadap Korosi....	53
4.3 Analisis Gas Buang	55
4.4 Hasil Pengujian XRD(<i>X-ray Diffraction</i>)	56
4.5 Mekanisme Terjadinya Acid Dew Point	59
4.6 Metode Preservasi dan Perawatan HRSG	65
4.6.1 Preservasi	65
4.6.2 Proses Perawatan yang Dilakukan Pihak PJB pada Unit HRSG	69
 BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	 75
5.1 Kesimpulan.....	75
5.2 Saran.....	75
 DAFTAR PUSTAKA	 77
LAMPIRAN	80

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Kapasitas Daya PT PJB UP Gresik.....	1
Gambar 1.2 Konfigurasi Sistem HRSGs per Blok	2
Gambar 1.3 Distribusi Temperatur gas buang pada HRSGs.....	3
Gambar 1.4 Lokasi Kebocoran pada beberapa komponen <i>tube</i> HRSG	6
Gambar 1.5 Kebocoran dan korosi pipa HRSG.....	6
Gambar 2.1 Proses korosi	12
Gambar 2.2 Prinsip kerja <i>daerator</i>	18
Gambar 2.3 Penampang bagian dalam <i>daerator</i>	18
Gambar 2.4 <i>Continues Blowdown (CBD)</i>	23
Gambar 2.5 Perusahaan STS (<i>south tek sytems</i>) USA	25
Gambar 2.6 Unsur yang terlibat dalam segitiga korosi.....	26
Gambar 2.7 Perbandingan pencegahan korosi dengan udara kompresi vs nitrogen	27
Gambar 2.8 Perbandingan HRSG sebelum dan sesudah dilakukan proses <i>CO₂ blasting</i>	28
Gambar 2.9 Butiran padat <i>dry ice blasting</i>	29
Gambar 2.10 Prinsip kerja sistem <i>ice blasting</i>	30
Gambar 2.11 <i>Pitting corrosion</i> pada permukaan pipa HRSG.....	31
Gambar 2.12 Proses korosi erosi	31
Gambar 2.13 Korosi erosi pada pipa <i>superheater</i>	33
Gambar 2.14 Lapisan air yang terbentuk ketika pipa tidak terisi air secara penuh	34
Gambar 2.15 Hasil percobaan VpCI 337 vs Nitrogen	35
Gambar 2.16 Grafik perbandingan korosi VpCI terhadap nitrogen <i>blanketing systems</i>	36
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	37
Gambar 4.1 Siklus <i>on/off</i> HRSG1.2 & penggunaan	

bahan bakar	44
Gambar 4.2 Siklus <i>on/off</i> HRSG 2.2 & penggunaan	
bahan bakar	45
Gambar 4.3 Siklus <i>on/off</i> HRSG 3.2 & penggunaan	
bahan bakar	46
Gambar 4.7 (a)HRSG 2.1, (b)HRSG 2.2, (c)HRSG 2.3	51
Gambar 4.8 Temperatur pembentukan <i>acid dewpoint</i>	52
Gambar 4.9 Deskripsi proses terjadinya korosi kondisi atmosfer	
pada logam	54
Gambar 4.10 Unsur gas buang <i>Natural Gas</i> Blok-2	55
Gambar 4.11 Sampel Potongan pipa yang diuji komposisi	
Kimia	57
Gambar 4.12 Grafik XRD dan prosentase unsur pembentuk	
Korosi.....	58
Gambar 4.13 Perbandingan <i>water dewpoint</i> dan	
<i>acid dew point</i>	60
Gambar 4.14 Titik embun SO ₃ terhadap variasi uap air	60
Gambar 4.15 Titik embun SO ₂ terhadap variasi uap air	61
Gambar 4.16 Titik embun NO ₂ terhadap variasi uap air.....	61
Gambar 4.17 Dampak terjadinya <i>acid dew point corrosion</i>	63
Gambar 4.18 Grafik perbandingan <i>acid dew point</i> dari tipikal gas	
buang terhadap fungsi kandungan sulfur trioksida dan uap air...	64
Gambar 4.19 Ilustrasi cara kerja <i>dehumidifer</i>	66
Gambar 4.20 Laju Korosi dan kandungan kelembaban udara	
menunjukkan nilai RH dijaga dibawah 40%	67
Gambar 4.21 Lokasi <i>dehumidifer</i> dan <i>corrosion monitoring</i>	67
Gambar 4.22 Lokasi pemasangan <i>dehumidifer</i> di luar ruangan ..	68
Gambar 4.23 Diagram program perawatan.....	69
Gambar 4.24 Mekanisme terjadinya korosi celah.....	72

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Komponen Utama <i>Natural Gas</i>	53
Tabel 4.2 Spesifikasi Tube Preheater HRSG Dan Jenis Material yang Digunakan Pada PLTGU	56
Tabel 4.3 Hasil Analisa Grafik XRD.....	58
Tabel 4.4 Alternatif Untuk Perawatan HRSG.....	65
Tabel 4.5 Perbandingan Metode Pembersihan HRSG	74

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

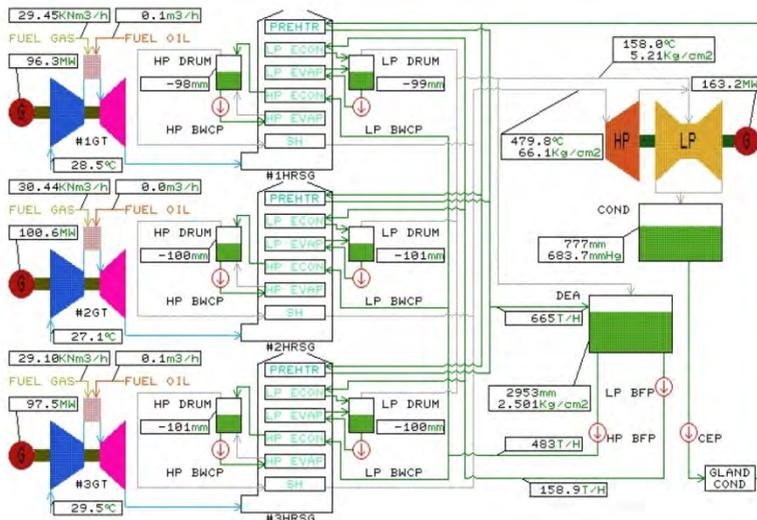
PT PJB UP Gresik adalah salah satu unit pembangkit PJB terletak di kabupaten Gresik, Jawa Timur yang mampu membangkitkan tenaga listrik dengan total daya terpasang 2.280 MW dengan jumlah Generator terpasang sebanyak 21 unit, disalurkan melalui saluran udara tegangan ekstra tinggi 150 kV dan 500 kV ke sistem interkoneksi Jawa dan Bali.

NO	GENERATION UNIT	Installed Capacity (MW)	MANUFACTURER	INITIAL OPERATION	
				OIL FIRING	GAS FIRING
1	PLTG 1 (17 MW)	20,10	ALSTOM-FRANCE	07 Juni 1978	04 Juli 1995
2	PLTG 2 (17 MW)	20,10	ALSTOM-FRANCE	09 Juni 1978	04 Juli 1995
3	PLTG 3 (17 MW)	21,35	ALSTOM-FRANCE	20 Agustus 1984	19 April 2001
4	PLTG 4 (17 MW)	20,00	GE - USA	02 September 1994	17 Oktober 1994
5	PLTG 5 (17 MW)	21,00	GE - USA	24 Februari 1995	20 Februari 1995
	PLTG	102,55			
6	PLTU 1 (85 MW)	100,00	TOSHIBA - JPN	31 Agustus 1981	30 Agustus 1997
7	PLTU 2 (85 MW)	100,00	TOSHIBA - JPN	14 November 1981	12 Agustus 1997
8	PLTU 3 (165 MW)	200,00	TOSHIBA - JPN	15 Maret 1988	19 April 1994
9	PLTU 4 (165 MW)	200,00	TOSHIBA - JPN	01 Juli 1988	28 Agustus 1993
	PLTU	600,00			
10	PLTGU GT 1.1 (106,6 MW)	112,45	MHI - JPN	30 Maret 1992	24 April 1994
11	PLTGU GT 1.2 (106,6 MW)	112,45	MHI - JPN	01 Mei 1993	02 Mei 1994
12	PLTGU GT 1.3 (106,6 MW)	112,45	MHI - JPN	02 Juni 1992	01 Mei 1994
13	PLTGU ST 1.0 (176,6 MW)	188,91	MHI - JPN	10 April 1993	
	BLOK I	526,26			
14	PLTGU GT 2.1 (95 MW)	112,45	MHI - JPN	20 Juli 1992	01 Mei 1994
15	PLTGU GT 2.2 (95 MW)	112,45	MHI - JPN	14 Agustus 1992	22 April 1994
16	PLTGU GT 2.3 (95 MW)	112,45	MHI - JPN	18 September 1992	03 Mei 1994
17	PLTGU ST 1.0 (165 MW)	188,91	MHI - JPN	05 Agustus 1993	
	BLOK II	526,26			
18	PLTGU GT 3.1 (106,6 MW)	112,45	MHI - JPN		14 Januari 1993
19	PLTGU GT 3.2 (106,6 MW)	112,45	MHI - JPN		19 Januari 1993
20	PLTGU GT 3.3 (106,6 MW)	112,45	MHI - JPN		13 Januari 1993
21	PLTGU ST 1.0 (176,6 MW)	188,91	MHI - JPN	30 November 1993	
	BLOK III	526,26			
	TOTAL KAPASITAS	2281,33			
	SEKARANG	2259,98			

Gambar 1.1 Kapasitas Daya PT PJB UP Gresik^[1]

Unit Pembangkitan Gresik (PT. PJB UP Gresik) memiliki 3 sistem unit pembangkit tenaga, antara lain pembangkit listrik

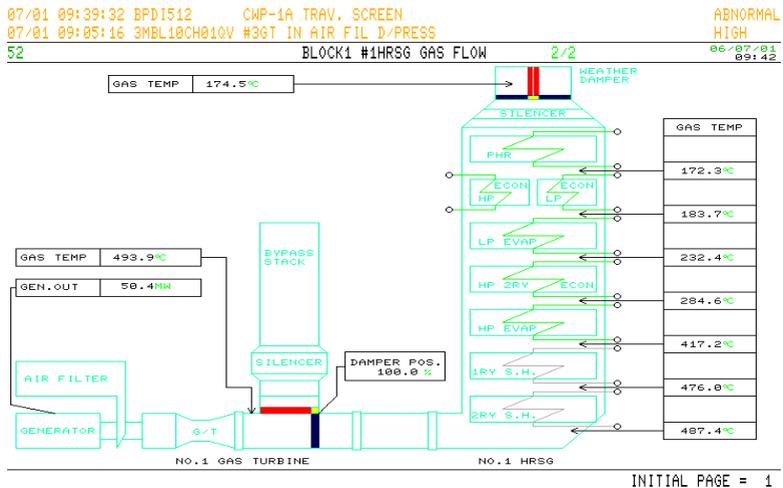
tenaga uap (PLTU), pembangkit listrik tenaga gas (PLTG), dan pembangkit listrik tenaga gas–uap (PLTGU) yang ditunjukkan pada Gambar 1.1 Pada unit PLTU terdapat 4 unit pembangkit tenaga uap (PLTU unit 1-2) yang menghasilkan 2 x 100 MW, dan unit pembangkit tenaga uap (PLTU unit 3-4) yang menghasilkan 2 x 200 MW. Sedangkan pada unit PLTGU terdapat 3 Blok PLTGU yang masing-masing blok terdiri dari 3 *Gas Turbine* + 1 *Steam Turbine* dan menghasilkan daya rata-rata 500 MegaWatt per blok.



Gambar 1.2 Konfigurasi sistem HRSGs per Blok^[2]

PLTGU adalah gabungan antara Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG) dan Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) karena itu PLTGU disebut juga sebagai *combine cycle power plant*. PLTGU menggunakan bahan bakar gas atau minyak solar (HSD), proses tersebut memanfaatkan gas buang yang dihasilkan

dari proses pembakaran pada PLTG, yang masih mempunyai temperatur (panas) lebih kurang 500°C, yang digunakan untuk memanaskan air hingga menjadi uap pada *Heat Recovery*



Gambar 1.3 Distribusi temperatur gas buang pada HRSGs dengan bukaan *damper* 100%^[2]

Steam Generators (HRSGs) selanjutnya uap hasil pemanasan tadi digunakan untuk memutar turbin uap (PLTU) proses kerja ini dapat dilihat pada Gambar 1.2 dan 1.3 dibandingkan dengan operasional pembangkit thermal yang lain, PLTGU mempunyai nilai efisiensi lebih tinggi karena proses operasionalnya justru memanfaatkan gas buang^[2].

Kapasitas produksi uap yang dapat dihasilkan HRSGs tergantung pada kapasitas energi panas yang masih dikandung gas buang dari unit turbin gas, yang berarti tergantung pada beban unit turbin gas. Pada dasarnya, turbin gas yang beroperasi pada putaran tetap, aliran udara masuk kompresor juga tetap, perubahan beban turbin ditanggapi oleh aliran bahan bakar,

sehingga suhu gas buang juga berubah-ubah mengikuti perubahan beban turbin gas. PLTGU UP Gresik sering mengalami kondisi operasi *Standby (ON & OFF)* karena adanya permintaan dari distribusi jaringan penyaluran dan pusat pengatur beban (P3B) mengakibatkan pola temperatur gas buang yang sering berubah-ubah dan pada kondisi *off* atau saat unit HRSGs tidak beroperasi, gas buang sisa pembakaran akan mengendap di dalam ruangan HRSG yang berpotensi mengandung moisture dan sulfur, jika hal ini dibiarkan pada ruangan HRSG akan menyebabkan pipa HRSGs terjadi reduksi-oksidasi (redoks) proses terjadinya korosi pada logam secara reaksi elektrokimia.

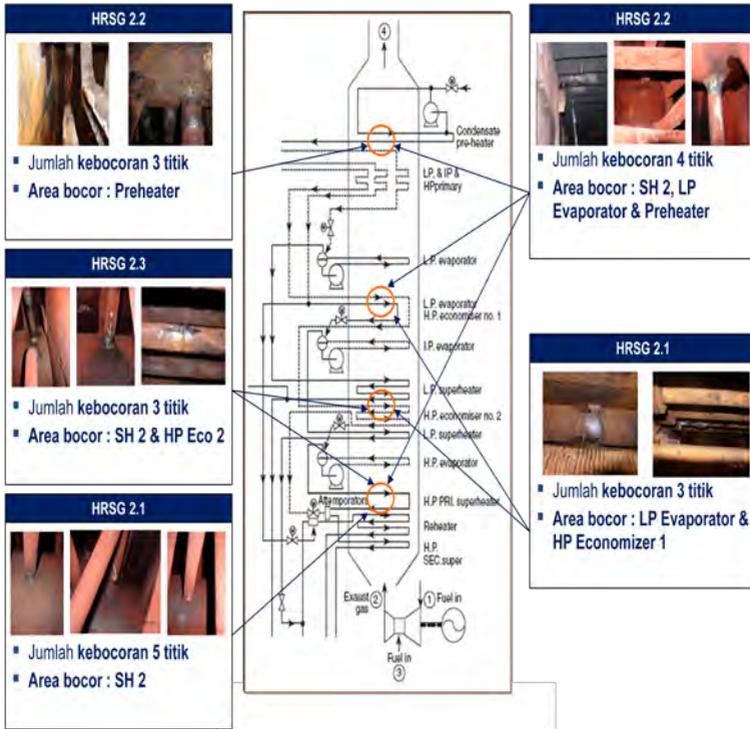
Pembersihan yang dilakukan selama ini untuk perawatan pada HRSG masih menggunakan sistim *Waterjet Cleaning* dimana cara pembersihan tersebut menggunakan media air ditambah dengan kandungan kimia NaOH (natrium hidroksida) yang dapat menyebabkan sisa air yang telah disemburkan dengan tekanan tinggi pada permukaan pipa bisa mengendap dan bercampur dengan *deposit* yang sulit dibersihkan pada celah-celah *fin tube* dan permukaan lekukan pipa HRSG, hal ini jika dibiarkan terus menerus dapat menyebabkan terjadinya korosi celah (*Crevice corrosion*)

Beban yang terus berubah-ubah dan material *tube* HRSG yang telah lama beroperasi selama 30 tahun lebih ditambah dengan adanya pola operasi HRSG yang sering mati dan metode pembersihan HRSG yang kurang optimal menyebabkan terjadinya korosi di seluruh permukaan luar pipa.

Penggantian pipa yang dilakukan selama ini hanya secara parsial sehingga ada beberapa lokasi yang mengalami penipisan mengakibatkan potensi terjadinya kebocoran pada *tube* HRSGs semakin besar dalam jumlah yang banyak. Kejadian ini pernah di alami seluruh bagian HRSGs, baik pada *preheater*,

economizer, evaporator ataupun *superheater*. Jenis kebocoran berupa retak atau bahkan terjadi lubang akibat proses korosi sehingga menyebabkan *tube* akan pecah. Pada Gambar 1.4 dan 1.5 berikut ini menunjukkan lokasi kebocoran air dan korosi pada pipa HRSGs.

Lokasi kebocoran Tube HRSG Blok 2 PLTGU



Gambar 1.4 Lokasi kebocoran pada beberapa komponen *tube HRSGs*^[1]



Gambar 1.5 Kebocoran dan korosi pada *fin tube* HRSGs^[1]

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan sebelumnya, maka rumusan masalah yang dapat dikaji dan dicari solusi yang terbaik adalah sebagai berikut:

1. Apakah yang menjadi penyebab terjadinya korosi dan kebocoran pada *tube-tube* HRSG di unit PLTGU?
2. Bagaimana alternatif dan metode *preservation* yang dapat diberikan untuk pengendalian korosi dan kebocoran setelah mengkaji problem yang terjadi pada *tube-tube* HRSGs?

1.3 Batasan Masalah

Batasan yang digunakan untuk penelitian adalah sebagai berikut:

1. Data yang digunakan adalah data dari lapangan dan informasi pekerja yang diperoleh selama penulis melakukan penelitian di PT PJB UP Gresik.
2. Kasus korosi yang dibahas pada Tugas Akhir ini terjadi pada HRSGs Blok 2 di PT.PJB-UP Gresik.

1.4 Tujuan Penelitian

Sesuai dengan permasalahan yang telah dijelaskan, maka tujuan yang di dapat dari penulisan Tugas Akhir ini adalah:

1. Mengetahui penyebab utama terjadinya korosi yang mengakibatkan kebocoran air pada permukaan pipa-pipa HRSGs.
2. Mendapatkan metode *preservation* korosi yang tepat setelah menganalisa kasus korosi dan kebocoran pada pipa-pipa HRSGs.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini yaitu:

1. Dapat mengetahui akar permasalahan korosi yang terjadi pada pipa HRSGs.
2. Sebagai referensi tambahan untuk melakukan proses preservasi pada HRSGs agar terhindar dari permasalahan korosi yang terjadi di masa mendatang.

1.6 Sistematika Penulisan Laporan

Penulisan disusun dalam lima bab yaitu pendahuluan, dasar teori, metode penelitian, analisa data dan pembahasan, serta kesimpulan. Adapun perinciannya adalah sebagai berikut:

- **BAB I PENDAHULUAN**
Bab ini berisikan pendahuluan dijelaskan tentang latar belakang penelitian, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian ,dan metode penelitian.
- **BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI**
Bab ini berisikan tentang prinsip dasar korosi dan gambaran umum kasus kasus korosi yang sering terjadi. Bab ini juga dijelaskan bagaimana metode yang paling tepat untuk mencegah korosi.
- **BAB III METODOLOGI PERCOBAAN**
Pada bab ini akan dijelaskan tentang *flowchart*, tugas akhir dan cara menganalisa terjadinya korosi beserta metode pencegahan, serta prosedur yang mencakup tahap persiapan dan pengambilan data pada penelitian
- **BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN**
Dalam bab ini berisikan tentang analisa-analisa serta pembahasan dari data yang sudah didapatkan dan diolah sebelumnya.
- **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**
Bab ini berisikan tentang kesimpulan dan saran dari hasil pembahasan sebelumnya yang telah diperoleh.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Korosi

2.1.1 Definisi Korosi

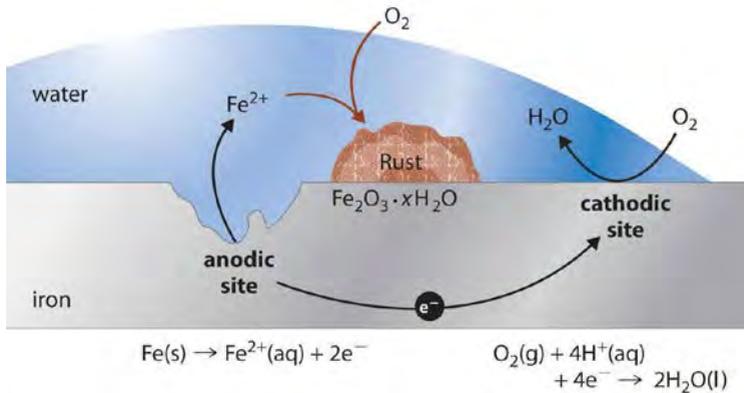
Korosi merupakan fenomena alamiah, yang tidak dapat dihentikan seluruhnya. Selama manusia masih menggunakan logam sebagai bahan suatu komponen, selama itu pula korosi akan terus terjadi dan dipelajari. Berbagai cara dan usaha telah dilakukan untuk menanggulangi atau mengurangi laju korosi yang terjadi. Pengertian korosi menurut *National Association of corrosion Engineering* (NACE) adalah perusakan logam karena interaksi dengan lingkungannya. Karena adanya interaksi tersebut maka akan terjadi reaksi kimia ataupun elektrokimia yang menghasilkan produk hasil korosi. Dalam sudut pandang yang lain, ada beberapa pengertian korosi:

- 1.) Secara umum, merupakan perusakan atau penurunan kualitas dari material karena bereaksi dengan lingkungan.
- 2.) Secara *Engineering*, perusakan material karena bukan pengaruh mekanik murni.
- 3.) Ditinjau dari Metalurgi, adalah kebalikan proses ekstraksi metalurgi.

2.1.2 Klasifikasi Korosi

Berdasarkan lingkungannya, korosi dibagi menjadi dua klasifikasi yaitu:

1. Korosi basah (*wet corrosion*).
2. Korosi kering/Temperatur tinggi (*high temperatur corrosion*).



Gambar 2.1 Proses korosi yang terjadi antara air dengan logam

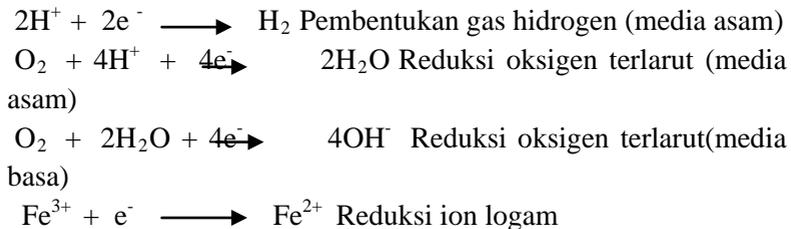
1. Korosi Basah

Korosi basah terjadi apabila terdapat dua elektroda (dapat berada dalam satu material atau pun terpisah) yang memiliki perbedaan potensial serta terhubung secara elektronik (logam) dan elektrolit (air) ditunjukkan pada Gambar 2.1. Dua *site* ini berfungsi sebagai anoda dan katoda yang dihubungkan secara fisik dengan konduktor (berhubungan elektronik) sebagai tempat mengalirnya elektron dan keduanya harus kontak elektrolit. Anoda adalah elektroda dimana terjadi reaksi oksidasi. Reaksi oksidasi ini merupakan proses pelepasan electron dari atom atau sekelompok atom, menghasilkan peningkatan valensinya seperti:



Katoda adalah elektroda dimana terjadi reaksi reduksi ini terjadi penambahan atau pengikatan elektron pada ion, sebuah

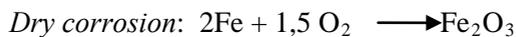
atom atau sekelompok atom, menghasilkan penurunan valensi ion. Beberapa reaksi katodik yang berbeda ditemui dalam korosi logam di lingkungan cair adalah :



Elektrolit adalah larutan yang berisi muatan-muatan anion atau kation dan persenyawaannya yang bersifat menghantarkan ion. Antara anoda dan katoda harus terdapat kontak arus listrik agar elektron dalam sel korosi dapat mengalir yang disebut dengan hubungan elektronik.

2. Korosi Kering

Prinsip terjadinya korosi ini sama dengan prinsip korosi basah, yang membedakan adalah ada tidaknya liquid yang terkandung dalam lingkungan. Korosi kering terjadi di lingkungan yang tidak mengandung liquid, sehingga korosi jenis ini sering terjadi pada lingkungan yang bertemperatur tinggi. Salah satu contoh reaksi korosi kering dengan material besi dituliskan:



2.1.3 Aspek-Aspek Korosi

Ada tiga aspek korosi, yaitu: reaksi, material dan lingkungan. Tiap-tiap aspek korosif tersebut memiliki peranan dan karakter tersendiri dalam mempengaruhi proses korosi

Aspek Material

Aspek material adalah semua bagian, zat ataupun kondisi yang terkandung pada tiap jenis logam yang berpeluan untuk mendukung terjadinya korosi. Kondisi yang mendukung pada material ini bisa berupa banyak hal, bisa dilihat dari berbagai sudut pandang dan pendekatan ilmu pengetahuan: secara mekanik (adanya tegangan sisa), secara kimia (adanya perbedaan komposisi kimia penyusun struktur mikro) dan secara metalurgi (adanya butir kristal dan batas butir, oksida, presipitasi insur, paduan yang heterogen/*multiphase*).

Aspek Reaksi

Korosi merupakan suatu proses reaksi yang terjadi secara spontan, dimana setiap korosi merupakan proses yang khusus untuk setiap material dan lingkungannya. Proses terjadinya korosi sebagai reaksi yang spontan dapat dipandang dari sisi termodinamika maupun elektrokimia.

a. Termodinamika

Secara termodinamika, tiap benda memiliki tingkat energy bebas (G). ketika suatu unsur atau logam bereaksi kimia maka akan terjadi perubahan *energy gibbs* ΔG . Dari nilai ΔG suatu reaksi maka dapat diketahui kecenderungan suatu material untuk bereaksi secara spontan (terkorosi) atau tidak.

b. Elektrokimia

Apabila dua lokasi (*sites*) terdapat beda potensial yang terhubung secara elektronik maupun elektrolit maka akan

terjadi reaksi spontan yang disebut korosi. Kecenderungan elektroda untuk melepas atau menerima elektron disebut potential redoks. Nilai E^0 (Potential standart) berbagai elektroda diukur berdasarkan *Elektroda Standart Hydrogen (SHE)*, yang pada umumnya ditabelkan dalam deret *Electro Motive Force (EMF)*.

Aspek Lingkungan

Pengaruh lingkungan terhadap korosi menentukan jenis korosi yang terjadi. Interaksi antara material dengan tiap jenis lingkungan bisa menghasilkan bentuk korosi yang berbeda pula. Berikut adalah aspek korosi yang dapat mempengaruhi korosi :

1. Temperatur

Pada korosi, faktor temperatur mempunyai pengaruh terhadap laju korosi. Bila material berada pada kondisi temperatur tinggi cenderung untuk mempercepat laju korosi. Hal ini dikarenakan pada temperatur tinggi material mempunyai afinitas besar.

2. Kelembaban

Tingkat kelembaban yang cukup tinggi mempengaruhi korosi, karena dengan kelembaban tinggi akan cenderung membentuk titik air (*dewpoint*) pada logam yang berada pada lingkungan tersebut.

3. Polutan

Keberadaan polutan mengandung debu dan partikel kimia tertentu yang menyebabkan korosi, dimana debu dan polutan lain akan menempel pada logam. Selain debu ada juga kandungan kimia seperti: Oksida metal, H_2SO_4 , $(NH_4)_2.SO_4$, NaCL dan garam-garam lain. Keberadaan kimia tersebut bila bertemu dengan air akan menyebabkan korosi.

4. Derajat keasaman (pH)

pH menyatakan tingkat keasaman suatu larutan tingkat pH suatu larutan akan menentukan tingkat korosi yang terjadi, biasanya dinyatakan dalam diagram *Pourbix*. Diagram ini berisi E_{eq} H dari logam dibandingkan dengan pH larutan sehingga melalui diagram ini dapat dilihat daerah korosi pasifasi dan imun.

5. Kandungan oksigen dan *oxidizer*

Jumlah oksigen yang terlarut menentukan laju korosi yang terjadi. Pada lingkungan dimana larutan yang banyak mengandung oksigen semakin mempercepat laju korosi. Dengan semakin banyaknya kandungan oksigen berarti semakin besar potensial oksidernya dan akan mempercepat korosi.

6. Konduktifitas

Konduktifitas merupakan kemampuan untuk menghantarkan listrik atau *electron*. Umumnya, tiap larutan memiliki konduktifitas yang berbeda. Hal ini akan mempengaruhi korosi yang terjadi, terutama pada korosi yang tercelup ataupun korosi *galvanic*.

7. Konsentrasi media korosif.

Adanya konsentrasi media korosif akan mengakibatkan meningkatnya laju korosi. Namun, apabila konsentrasi media korosif sudah tinggi, maka akan menyebabkan penurunan laju korosi. Umumnya media korosif berupa asam, baik dalam bentuk *sulfuric*, *acetic*, maupun *hydrofluoric*. Media tersebut cenderung *inert* pada konsentrasi tinggi.

2.2 Metode Pencegahan Korosi

2.2.1 Pencegahan korosi di dalam pipa HRSG^[5]

Korosi bersifat *irreversible* atau dengan kata lain tidak dapat kembali ke bentuk asalnya. Sehingga untuk mengatasi terjadinya korosi adalah hanya dengan cara pencegahan. Metode yang paling tepat untuk melakukan tindakan pencegahan sedini

mungkin adalah dengan melakukan *water treatment* terhadap air yang bersirkulasi di dalam pipa HRSG yang digunakan sebagai fluida kerja pada sistem *boiler*, menurut standart prosedur yang dikutip dari artikel GE *Power-Water & Process Technologies Preboiler and Boiler corrosion control Chapter 11*, metode yang digunakan untuk mencegah terjadinya korosi pada *boiler* dapat dilakukan sebagai berikut yaitu:

A. Pengaturan Alkalinitas dan Pembentukan Lapisan Film,

Dimana pH air *boiler* diharapkan sekitar 8,5–9,5 dan kandungan alkali hidroksidanya kecil. Alkalinitas bisa diatur dengan menambahkan soda ash (NaCO_3), kaustik soda (NaOH) dan trisodium phospat.

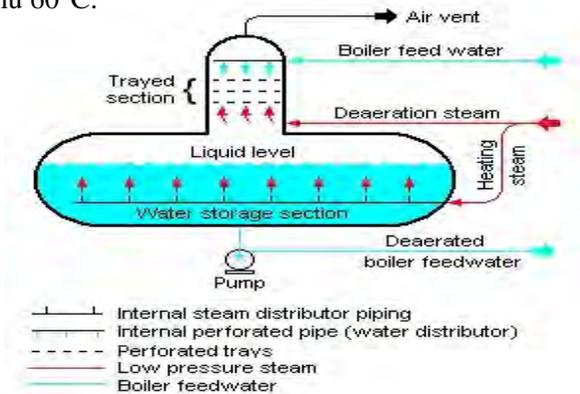
B. Menghilangkan Kandungan Udara Dalam Air.

Udara atmosfer mengandung sekitar 20% oksigen yang menjadi komponen penting terjadinya korosi. Udara bebas ini bisa berkontak langsung dengan pipa-pipa *boiler* yang tidak sedang beroperasi. Ditambah dengan kondisi udara yang lembab, korosi pun tidak mungkin dapat dihindari. Sehingga untuk menggantikan ditambahkan udara bebas yang mengisi pipa *boiler* saat tidak beroperasi, biasanya digunakan gas nitrogen atau udara yang telah diminimalisir kandungan air didalamnya dengan menggunakan *air dryer*.

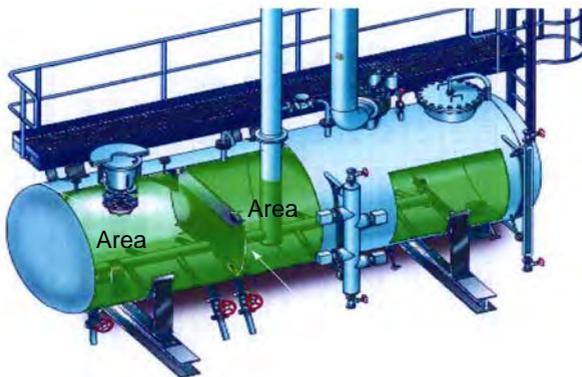
C. Menggunakan Deaerator.

Alat ini menjadi satu sistem yang saat ini selalu digunakan pada *boiler-boiler* besar, karena kepraktisan dan keawetannya. Secara mekanis *deaerator* membuang kandungan oksigen di dalam air *boiler* dengan jalan menyemprotkan uap air bertekanan rendah ke aliran air yang berada di dalam sebuah drum uap air panas akan melarutkan oksigen ke dalam uap tersebut dan membuangnya melalui saluran venting, cara kerja *daerator* dapat dilihat pada Gambar 2.2 & 2.3. Membuang

oksigen adalah alasan utama pendaerian air pengisi, dan paling ekonomis dilakukan secara mekanikal daripada menggunakan bahan kimia walaupun dengan kimia lebih sempurna. Seperti telah diketahui bahwa, oksigen terlarut 10 kali lebih korosif dari pada karbon dioksida, terutama pada suhu lebih tinggi. Misalnya, air dua setengah kali lebih korosif pada suhu 90°C dibandingkan pada suhu 60°C .



Gambar 2.2 Prinsip kerja *Deaerator*^[5]



Gambar 2.3 Penampang bagian dalam *Deaerator*^[11]

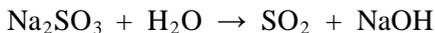
D. Menghilangkan Kandungan Oksigen Didalam Air.

Pada *boiler* berukuran kecil, penggunaan *deaerator* tidak mungkin dilakukan. Metode paling tepat untuk menghindari terjadinya korosi pada *boiler* kecil, adalah dengan cara menghilangkan kandungan oksigen di dalam air secara kimia. Kandungan oksigen di dalam air sebaiknya tidak lebih dari 7 ppb (*part per billion*). Berikut adalah beberapa zat kimia yang biasa digunakan untuk mengontrol *dissolve oxygen* di dalam air *boiler*:

1. Sodium Sulfit (Na_2SO_3) menjadi zat kimia penyerap oksigen yang paling umum digunakan. Sodium sulfit ini akan bereaksi dengan oksigen membentuk sodium sulfat yang berwujud padatan.

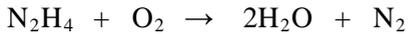


Secara teoritis, konsentrasi sodium sulfat di dalam air dijaga dengan jumlah 20 ppm (*part per million*) namun sodium sulfit sangat tidak cocok digunakan pada *boiler-boiler* besar yang bekerja pada tekanan tinggi. Selain menghasilkan padatan sodium sulfat yang dapat menimbulkan endapan, ikatan sulfit dapat pecah jika mendapat tekanan kerja di atas 41 bar *absolute* membentuk gas sulfur dioksida dan atau hidrogen sulfida yang justru bersifat sangat korosif.

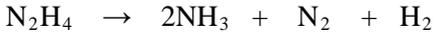


2. *Hydrazine* (N_2H_4) lebih cocok digunakan pada *boiler* bertekanan kerja tinggi karena reaksinya dengan oksigen tidak

menghasilkan endapan dan gas yang korosif.



Hydrazine harus dijaga pada konsentrasi 1 ppm di dalam air untuk memastikan konsentrasi oksigen dapat serendah mungkin.



Kelemahan dari penggunaan *hydrazine* adalah sifatnya yang tidak sepenuhnya *volatil* (berevaporasi bersama uap air). *Hydrazine* justru terdegradasi pada temperatur 205°C menjadi ammonia yang akan menguap bersama uap air dan bersama-sama oksigen mengkorosi komponen-komponen berbahan tembaga. Sehingga *boiler* bertekanan tinggi yang menggunakan *hydrazine* untuk mengurangi konsentrasi oksigen hanya dapat menggunakannya pada saat inisiasi awal.

3. *Carbohydrazide* ($\text{H}_6\text{N}_4\text{CO}$) dapat mengikat oksigen dan melarutkannya ke dalam uap air, tidak menghasilkan endapan, dan membantu membentuk lapisan *magnetite* pada permukaan dalam pipa *boiler* yang berguna untuk mencegah korosi lebih besar pada *boiler*.



Untuk melarutkan setiap bagian oksigen dibutuhkan 1,4 bagian *Carbohydrazide*. Namun perlu diingat bahwa karbondioksida sebagai hasil reaksi *Carbohydrazide* dengan oksigen, larut terhadap air kondensat. CO_2 terlarut membentuk asam karbonat yang bersifat korosif. Sehingga penggunaan *Carbohydrazide* tidak cocok digunakan pada *boiler* bersirkulasi tertutup. Selain itu *Carbohydrazide* bersifat racun bagi manusia, sehingga penggunaannya tidak cocok untuk industri makanan.

E. Menghilangkan Kandungan Mineral Air.

Adanya mineral-mineral yang terlarut di dalam air selain menimbulkan endapan padat juga dapat memicu terjadinya korosi *galvanik*. Untuk menghilangkan kandungan mineral di dalam air ada beberapa metode:

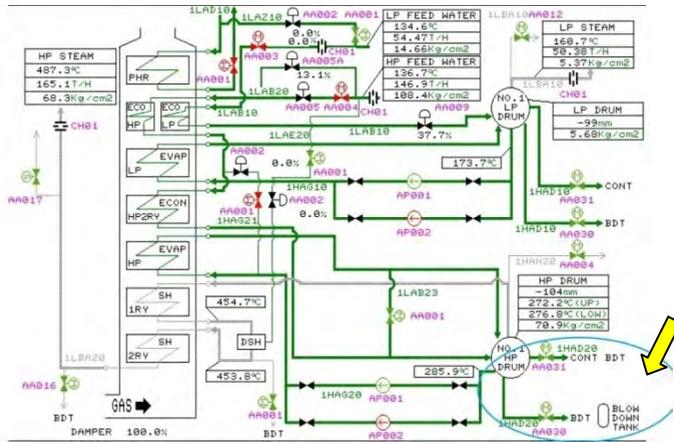
1. Demineralisasi menjadi satu metode yang paling efektif banyak digunakan pada *boiler-boiler* besar pembangkit listrik tenaga uap. Cara ini sangat efektif karena dapat mengurangi mineral-mineral yang terlarut menjadi berkurang hingga tidak ada sama sekali. Air yang akan digunakan sebagai media kerja *boiler* mengalami beberapa tahapan proses seperti filtrasi, *reverse osmosis*, dan pertukaran *ion*. Untuk lebih jelasnya, tahapan demineralisasi yang berperan untuk menghilangkan kandungan mineral di dalam air adalah pertukaran ion (*ion exchange*). Di dalam *mixed bed* terdapat resin yang mengandung gugusan aktif anion OH^- dan kation H^+ . Pada saat pertukaran ion terjadi, zat-zat resin akan menangkap ion-ion mineral dalam air dan melepaskan gugusan aktif ion OH^- dan H^+ ke dalam air. Keseimbangan yang terjadi akan mereaksikan OH^- dan H^+ membentuk atom-atom H_2O baru. Dalam jangka waktu tertentu, resin di dalam *mixed bed* akan jenuh dan perlu dilakukan regenerasi.

2. Metode yang lebih sederhana adalah dengan menambahkan air kapur ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) ke dalam air *boiler*. Penambahan air kapur akan menaikkan nilai pH, mengubah CO_2 terlarut menjadi bikarbonat (HCO_3^-), dan terus berlanjut hingga menjadi karbonat (CO_3^{2-}). Proses ini mengakibatkan mengendapnya kalsium karbonat karena jumlah ion karbonat terlarut yang semakin tinggi. Efek

lain adalah ikut mengendap pula magnesium menjadi magnesium hidroksida.

Efek samping dari penggunaan air kapur untuk mengurangi mineral terlarut adalah terbentuknya endapan padat. Sehingga jika penambahan air kapur ke dalam air *boiler* dilakukan pada saat *boiler* sedang beroperasi, maka endapan yang terbentuk justru akan membahayakan *boiler* karena dapat menyumbat pipa *boiler*. Oleh karena itu jika menggunakan air kapur untuk mengurangi kandungan mineral di dalam air, disarankan agar dilakukan di luar sistem *boiler*.

3. Pada *boiler* berkapasitas besar terdapat sebuah fasilitas untuk membuang sebagian air *boiler* yang mengandung endapan mineral. Saluran ini biasa dinamakan *Boiler Continues Blow Down* (CBD). Saluran ini membuang sebagian kecil air yang berada di dalam *steam drum* yang ditunjukkan pada Gambar 2.4 *Steam drum* pada *boiler* menjadi tempat dipisahkannya air dengan uap air. Mineral-mineral yang terlarut di dalam air tidak akan ikut menguap atau terlarut ikut ke dalam uap air. Ia akan tertinggal di dalam air *boiler*. Dan jika jumlahnya sudah melebihi batas yang diijinkan, maka saluran *continuous blow down* dapat dibuka untuk membuang endapan mineral tersebut.



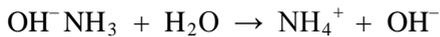
Gambar 2.4 Continues Blowdown (CBD)^[2]

F. Mengontrol Nilai pH Air Boiler.

Metode ini juga cukup penting untuk mencegah terjadinya korosi pada *boiler* adalah dengan menjaga nilai pH air *boiler*. Jika pH terlalu rendah, mengindikasikan air bersifat asam yang juga sangat korosif. Jika pH terlalu tinggi, maka air bersifat basa dan dapat menimbulkan *foaming*. Kondisi air basa juga dapat menimbulkan korosi *caustic embrittlement*. Menjaga pH air juga berfungsi untuk menjaga lapisan *magnetite* pada permukaan pipa *boiler*.

Magnetite berfungsi sebagai lapisan *film* untuk menghalangi terjadinya korosi lebih besar pada permukaan pipa *boiler* di balik lapisan *magnetite* ini. Nilai pH yang paling baik untuk menjaga lapisan *magnetite* dan mencegah terjadinya korosi adalah 8,5–9,5. Namun nilai ini dapat berbeda-beda antara *boiler* yang satu dengan yang lain, karena nilai pH yang tepat tergantung atas tekanan sistem *boiler*, jenis metal, jenis air, dan jenis perlakuan kimia terhadap air *boiler*.

Air *boiler* cenderung mengalami penurunan nilai pH karena adanya mineral terlarut di dalamnya. Mineral-mineral ini tidak dapat ikut menguap atau larut ke dalam uap air. Sehingga ia akan bereaksi dengan air membentuk asam dan menurunkan nilai pH. Ammonia menjadi zat kimia yang paling umum digunakan untuk menjaga pH air pada nilai terbaiknya. Hal ini dikarenakan ammonia yang bereaksi dengan air akan menghasilkan ion:



2.2.2 Pencegahan Korosi Pada Permukaan Pipa HRSG

A. Nitrogen Gas Generator^[6]

Nitrogen atau zat lemas adalah unsur kimia dalam tabel periodik yang memiliki lambang N dan nomor atom 7. Biasanya ditemukan sebagai gas tanpa warna, tanpa bau, tanpa rasa, dan merupakan gas diatomik bukan logam yang stabil, sangat sulit bereaksi dengan unsur atau senyawa lainnya. Dinamakan zat lemas karena zat ini bersifat malas (*inert gas*), tidak mudah aktif bereaksi dengan unsur lainnya.

Nitrogen mengisi 78,08% atmosfer Bumi dan terdapat dalam banyak jaringan hidup. Zat lemas membentuk banyak senyawa penting seperti asam amino, amoniak, asam nitrat, dan sianida. Nitrogen adalah zat non logam, dengan elektronegatifitas 3.0. Mempunyai 5 elektron di kulit terluarnya.



Gambar 2.5 Perusahaan *South-Tek Systems* (STS) USA^[6]

Ikatan rangkap tiga dalam molekul gas nitrogen (N_2) adalah yang terkuat. Nitrogen mengembun pada suhu 77K (-196°C) pada tekanan atmosfer, dan membeku pada suhu 63K (-210°C). Menurut data kontraktor jasa perawatan HRSG dengan metode Nitrogen di Amerika *South-Tek Systems* (STS) yang ditunjukkan pada Gambar 2.5 menyebutkan bahwa dalam perkembangan dunia industri khususnya pada sistem pembangkit tenaga, molekul gas Nitrogen (N_2) banyak dipakai secara luas karena sifat gas Nitrogen itu sendiri adalah gas *inert* yang susah untuk terikat dengan Oksigen (O_2) metode ini dinamakan *lay up protection systems* (LPS). Ambil sebuah contoh pada saat kondisi PLTGU sedang berhenti beroperasi dan tidak ada gas buang yang mengalir, kecenderungan pada pipa-pipa HRSG untuk terkontaminasi dengan udara bebas yang mengandung uap air lebih besar. Dengan adanya kontaminasi dengan oksigen tersebut maka proses oksidasi akan cepat terjadi membuat logam menjadi lebih cepat korosif. Oleh karena itu perlu dilakukan metode

pencegahan dengan melindungi pipa *boiler* kontak langsung dengan oksigen yaitu salah satunya yang paling tepat adalah dengan metode menginjeksikan gas Nitrogen ke dalam ruangan HRSGs, dengan metode ini akan mencegah terjadinya prinsip segitiga korosi yang dapat dilihat pada Gambar 2.6 berikut ini.



Gambar 2.6 Unsur yang terlibat dalam proses segitiga korosi^[4]

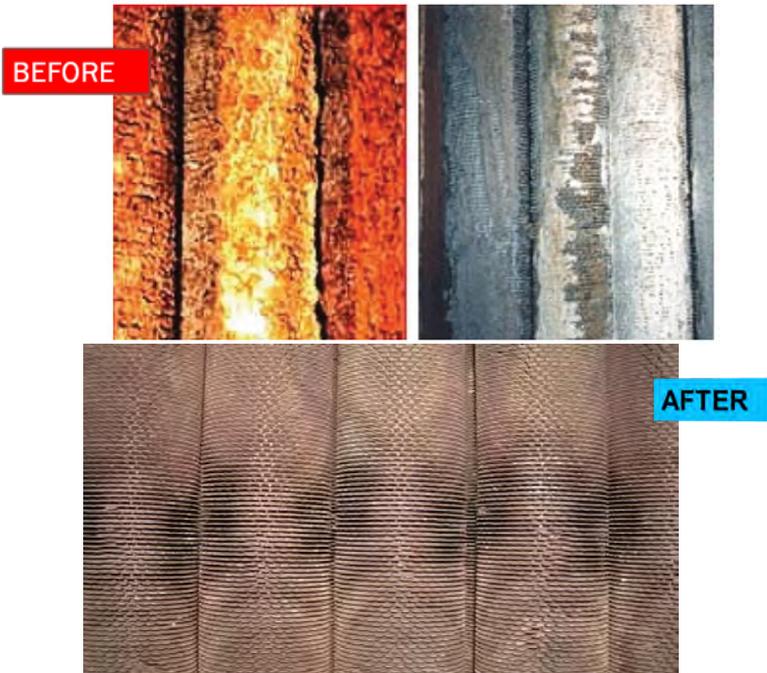
Teori tersebut memang terbukti benar dan teruji bahwa Nitrogen dapat melindungi hingga mengikat kandungan oksigen dan molekul uap air di dalam pipa pada tekanan yang tinggi yang telah di alirkan gas Nitrogen ketika pipa tersebut tidak dialirkan fluida kerjanya berupa air atau dalam kondisi kosong. Bukti pencegahan korosi dengan menggunakan gas Nitrogen tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.7 berikut.



Gambar 2.7 Perbandingan pencegahan korosi dengan udara terkompresi vs gas Nitrogen^[6]

B. Pembersihan HRSG dengan metode *Ice Blasting* gas CO₂ dapat menghilangkan karat dan deposit^[8].

Dalam keterangan *combined cycle journal* (CCJ) disebutkan metode pembersihan HRSGs dengan menggunakan gas CO₂ dapat menghilangkan deposit dan karat yang menempel pada sisi *fin tube* HRSG, menaikkan *heat transfer* pada pipa *boiler* dan mengembalikan *effisensi thermal* sistim HRSG seperti saat pertama kali beroperasi. Metode ini telah teruji dengan baik karena dapat mengembalikan fungsi kerja HRSGs kembali normal dan mencegah terjadinya korosi di sisi luar pipa. Metode ini menggunakan media berupa gas karbondioksida (CO₂) yang masih berupa bentuk *dry ice* terpotong sangat kecil hingga menyerupai *pellet* (butiran-butiran kecil) sehingga deposit dan karat yang menumpuk pada sisi luar pipa akan tergerus oleh butiran-butiran ini, hasil pembersihan metode *dry ice blasting* dapat dilihat pada Gambar 2.8



Gambar 2.8 Perbandingan HRSG sebelum dan sesudah dilakukan proses CO_2 blasting^[8]

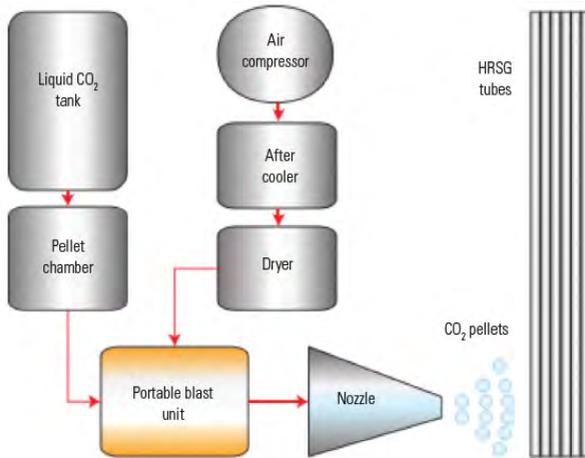
Butiran kecil tersebut akan di injeksikan pada sisi luar pipa HRSG dengan bantuan kompressor bertekanan tinggi yang telah dikeringkan udaranya menggunakan *dryer* sebelum di injeksikan agar mencegah uap air masuk ke dalam *nozzle* ditunjukkan pada Gambar 2.10 Butiran CO_2 yang masuk ke *nozzle* bersamaan dengan udara bertekanan tinggi hingga kecepatan 1000 feet/second, sehingga tekanan yang sangat tinggi tersebut akan menghancurkan karat dan deposit yang terpendam pada sisi luar pipa akibat tumbukan yang sangat besar terjadi antara pellet dengan deposit dan karat. Butiran CO_2 ditunjukkan

pada Gambar 2.9 yang telah diinjeksikan akan cepat berubah fasenya pada standart suhu dan tekanan atmosfer yang normal .



Gambar 2.9 Butiran padat *dry ice pellets*^[8]

Perubahan transformasi dari solid ke gas yang cepat tidak seperti es yang terbuat dari komposisi air (H_2O) yang umumnya berubah fase dari solid menjadi cair kemudian menjadi uap. Ketika gas CO_2 berubah fase, volumenya akan mengembang lebih besar dan lebih cepat sebanyak 750 kali dibandingkan saat butiran kecil berbentuk es sehingga mengembang seperti pertumbuhan “jamur”. Pengaruh tersebut menyebabkan deposit dan karat dapat terangkat dengan baik dari permukaan logam. Sebuah sistim pompa vakum HEPA disiapkan untuk menghisap kotoran-kotoran yang telah tergerus dari permukaan pipa *boiler* yang jatuh ke dasar lantai *boiler*.



Gambar 2.10 Prinsip kerja sistim *ice blasting*^[8]

2.3 Penelitian Terdahulu

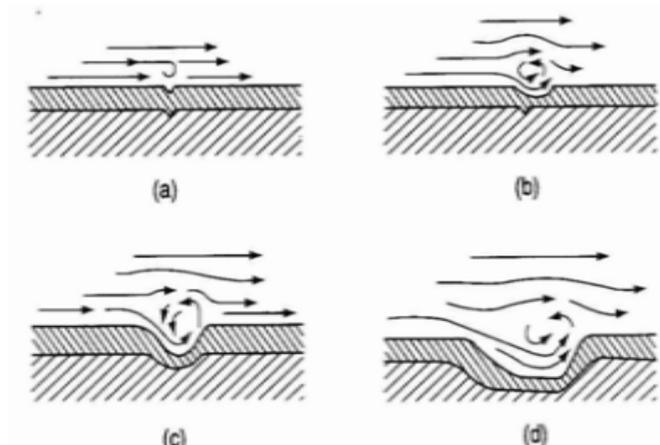
2.3.1 Analisa Kerusakan *plain tube high pressure secondary economizer* PLTGU HRSG 3.2 PT.PJB UP Gresik ditinjau dari aspek korosi^[17].

Penelitian yang dilakukan oleh saudara Muhammad Muchlis yang berjudul *Analisa Kerusakan Plain tube high pressure secondary economizer HRSG 3.2 PLTGU PT.PJB UP Gresik ditinjau dari aspek korosi*, membahas kerusakan yang terjadi pada cerukan dikaitkan pengaruh laju aliran fluida di dalam inlet *header* sedangkan kebocoran pada sisi pipa akibat hasil dari produk korosi yang masih menempel pada *outer surface*. Berdasarkan hasil analisa dan data yang diperoleh, kebocoran pada *plain tube* disebabkan oleh tingginya intensitas cerukan yang terjadi pada inlet *tube* dapat dilihat pada Gambar 2.11 Banyaknya cerukan yang terbentuk ditimbulkan oleh tingginya kavitasi yang seiring dengan tingginya turbulensi fluida

di lokasi tersebut. korosi yang juga terjadi karena hilangnya lapisan pelindung permukaan memungkinkan material yang hilang karena termakan kavitasi semakin banyak. Cerukan-cerukan yang terjadi secara berulang-ulang pada inlet *tube* menyebabkan banyak material yang hilang hingga menembus dinding *tube*.



Gambar 2.11 *Pitting corrosion* pada permukaan pipa *high pressure secondary economizer*^[17]



Gambar 2.12 Proses Korosi erosi

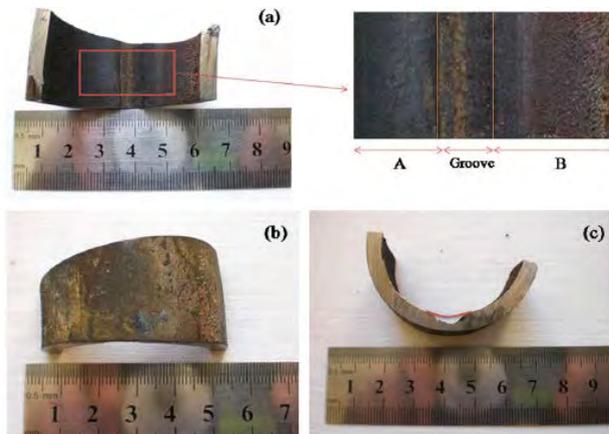
Dari penelitian yang telah dilakukan saudara Muhammad Muchlis dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Kebocoran *plain tube* terjadi akibat tingginya intensitas cerukan yang terjadi. Cerukan tersebut ditimbulkan akibat tingginya kavitasi yang terjadi seiring dengan tingginya turbulensi fluida.
2. Cerukan pada *inlet tube* terjadi secara berulang-ulang karena tingginya turbulensi fluida pada daerah tersebut. Hal ini menyebabkan hilangnya *magnetite* pada permukaan sehingga terjadi korosi. Korosi tersebut memungkinkan besarnya material yang hilang akibat termakan erosi yang ditunjukkan pada Gambar 2.12. Material *tube* semakin banyak yang hilang seiring tingginya intensitas cerukan yang terbentuk hingga menembus dinding *tube*.
3. Intensitas cerukan dan kebocoran terjadi secara lokal pada *inlet tube*. Hal ini menunjukkan bahwa ditinjau dari sisi konstruksi, *inlet tube* merupakan daerah yang sangat rentan terjadinya kebocoran.

2.3.2 *Caustic Corrosion in a Boiler Waterside Tube: Root cause and Mechanism*^[7].

Dalam Journal Farhad Daneshvar-Fatah, Amir Mostafaei yang berjudul *Caustic corrosion in a boiler waterside tube: Root cause and mechanism* melakukan penelitian terhadap pengurangan ketebalan pipa *boiler* low alloy steel SA-210 Grade A-1 akibat pengaruh korosi kaustik yang terjadi karena penguapan air sepanjang pipa, akibat laju perpindahan panas yang sangat tinggi konsekwensi jumlah penguapan yang sangat asam tersebut bersifat sangat kaustik dan menyerang balik dinding pipa sisi dalam di sekitar permukaan air dan akhirnya menyebabkan alur sepanjang permukaan dasar pipa dapat dilihat pada Gambar 2.13 selama penelitian secara periodik dengan melakukan

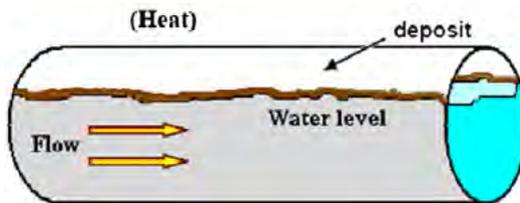
pengamatan mikroskopis dan tes *microhardness* menyatakan bahwa struktur mikro dan sifat dari logam dasar pipa masih utuh sepanjang pipa. Selain itu, beberapa struktur kristal berbentuk jarum yang diwakili Na_2FeO_2 dan senyawa NaFeO_2 diamati pada gambar *Scanning Electron Micrographs* (SEM) diambil dari alur yang berkarat sepanjang pipa. Ditemukan jumlah berlebihan dari senyawa Na dan Cu terdeteksi oleh EDS di alur tersebut. Hasil pengamatan *X-ray Diffraction* (XRD) membuktikan adanya senyawa NaFeO_2 yang merupakan penyebab utama dari korosi kaustik. Oleh karena itu, disimpulkan bahwa penguapan yang terjadi di sepanjang permukaan air di dalam pipa *boiler* yang dialiri ketinggian air hanya sebagian mengakibatkan korosi kaustik yang menyebabkan larutnya lapisan pelindung magnetik dan menyerang dinding permukaan pipa *boiler*.



Gambar 2.13 Korosi erosi pada pipa *superheater* (a) sisi dalam, (b) sisi luar, (c) potongan secara melintang.

Dari penelitian tersebut agar dapat mencegah dan menghambat terjadinya korosi kaustik dapat ditarik kesimpulan dan saran yaitu:

1. Pengolahan air yang tepat dan pengkoordinasi program phosphate dan perlakuan kaustik dimana dapat mencegah terjadinya sifat kaustik bebas.
2. Dengan mengendalikan beban kerja *boiler*, dapat mencegah terjadinya pembentukan lapisan atau garis air sepanjang pipa *boiler* yang ditunjukkan pada Gambar 2.14
3. Inpeksi secara umum dan berkala pada pipa *boiler* untuk mencegah ketebalan pipa yang mulai menipis sangat diperlukan.
4. Pencegahan terbentuknya lapisan air di dalam pipa *boiler* dapat dilakukan dengan cara *excessice blow down*, mengatur tingkat ketinggian air, dan pengurangan beban yang berlebih ketika tekanan *boiler* pada kondisi konstan.

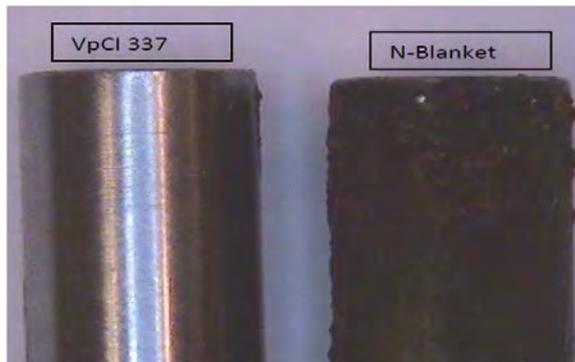


Gambar 2.14 Lapisan air yang terbentuk ketika pipa tidak terisi air secara penuh^[7]

2.3.3 Superior Corrosion Protection Effectiveness of VpCI-337 as Compared to Nitrogen Blanketing System.^[16]

Pada journal international berjudul *Superrior corrosion protection effectiveness of VpCI-337 as compared to Nitrogen blanketing system* karya Behzard bavarian, Jia Zhang, Keyang Lu and Lisa Reiner. Dari hasil penelitian mereka ditemukan senyawa

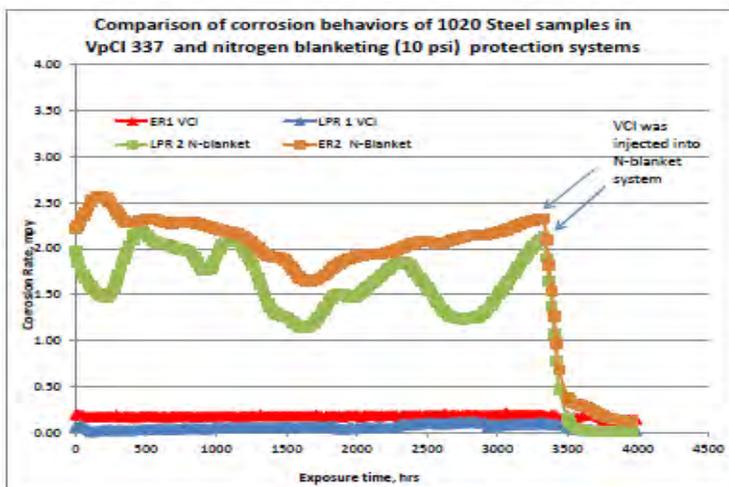
yang lebih ampuh dan lebih protektif untuk mencegah terjadinya korosi pada logam dibandingkan dengan metode gas Nitrogen (N_2). Dengan senyawa yang bernama VpCI-337 (*Vapor phase corrosion inhibitor*) didapatkan hasil yang lebih baik untuk menghambat terjadinya korosi ketika terdapat unsur garam, oksigen dan kelembaban yang berlebihan. Keuntungan senyawa VpCI-337 dapat membentuk lapisan yang kuat *physisorption* dibandingkan dengan *nitrogen blanketing system* terhadap permukaan baja yang dapat mengurangi kontak langsung dengan jenis korosi apapun hasil percobaan dapat dilihat pada Gambar 2.15 sebagai berikut



Gambar 2.15 Hasil Percobaan VpCI 337 vs Nitrogen^[16]

Dari uji coba laju korosi yang didapat dari sampel data di amati selama lebih dari 5 bulan (4000 jam) menggunakan teknik *linear polarization resistance* (LPR) dan *electrical resistance* (ER) probe. Didapatkan hasil data korosi bahwa *Vapor phase corrosion inhibitor* (VpCI) mempunyai keuntungan lebih baik untuk mencegah terjadinya korosi dibandingkan Nitrogen ketika terdapat kandungan garam dan kelembaban yang berlebihan. Rata – rata laju korosi LPR yang diukur kurang dari 0,06 mpy untuk

sampel yang diuji telah direndam dengan larutan VpCI, hasilnya tidak ada kondisi karat yang ditemukan. Untuk sampel yang direndam larutan Nitrogen, hasilnya sangat berbeda didapat laju korosi sebesar 1,78 mpy dan sampel yang diuji telah tertutupi dengan karat berwarna merah. Probe ER menunjukkan laju korosi 0,18 mpy untuk perlakuan larutan VpCI sedangkan *Nitrogen Blanketing* menunjukkan laju korosi sebesar 2,12 mpy dan probe telah menjadi sangat berkarat. Hal ini sangat berbeda ketika larutan VpCI ditambahkan ke *Nitrogen Blanketing system*, laju korosi pada probe baja menjadi turun kurang dari 0,26 mpy dalam waktu kurang dari 20 jam. Dan akhirnya menjadi kurang dari 0,04 mpy setelah 72 jam. Hal ini menunjukkan bahwa penurunan yang signifikan terhadap laju korosi sebanyak 8x lipat, hasil percobaan ini dapat dilihat pada Gambar 2.16



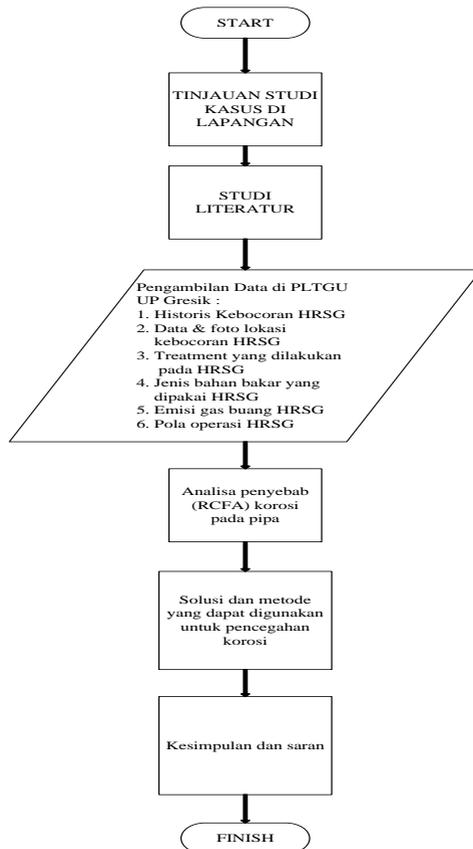
Gambar 2.16 Grafik perbandingan korosi pada *steel probes* di dalam larutan VpCI dan Nitrogen *blanketing systems*^[16]

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Diagram Alir (*Flowchart*) Penelitian dan analisa korosi pada *tube* HRSG PLTGU UP Gresik. terdapat beberapa tahapan urutan-urutan yang akan dilakukan dalam penelitian ini, yaitu tampak pada Gambar 3.1



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

3.2 Metodologi Penelitian

Diagram alir penelitian pada Gambar 3.1 di atas dapat dijelaskan sebagai berikut.

3.2.1. Studi lapangan, Studi literatur dan Identifikasi

Permasalahan

Langkah awal yang dilakukan dalam Tugas Akhir ini adalah studi langsung lapangan di PT.PJB UP Gresik. Studi lapangan dilakukan untuk mengetahui kondisi aktual pembangkit terutama PLTGU sehingga dapat dilakukan identifikasi permasalahan yang diangkat menjadi topik Tugas Akhir ini. Tahap ini juga menyangkut area spesifik yang digunakan untuk mendapatkan data-data yang mendukung penelitian yaitu: Departemen enjineering dan perawatan, departemen Operasi, Laboratorium PLTGU dan departemen Niaga. Seiring berjalanya studi lapangan dilakukan juga dengan studi literatur, studi literatur dilakukan untuk menambah informasi yang dapat mendukung penelitian, baik dari buku literatur, jurnal maupun penelitian-penelitian sebelumnya.

3.2.2 Pengambilan Data

Tahap selanjutnya adalah mengambil data-data yang dijadikan objek penelitian terdiri dari:

1. Historis kebocoran HRSG.
2. Data & foto lokasi kebocoran HRSG.
3. Treatment yang dilakukan pada HRSG.
4. Jenis bahan bakar yang dipakai HRSG.
5. Emisi gas buang HRSG.
6. Pola operasi HRSG.

Pada tahap ini pengambilan data dilakukan selama 1 bulan terhitung mulai dari 01 Juli–31 Juli 2015.

3.2.3 Pengolahan Data dan Analisa

Setelah data yang diperlukan terkumpul, maka proses selanjutnya dilakukan pengolahan data dengan melalui metode RCFA. RCFA merupakan tindakan investigasi terhadap mode kegagalan yang tidak diketahui akar penyebab masalahnya^[9].

Latar belakang dilakukannya RCFA adalah:

- a) Merupakan analisa untuk melakukan kegiatan *Continuous Improvement*.
- b) Mengatasi masalah pada sasaran yang tepat.
- c) Mengatasi masalah yang mengakibatkan kerugian yang besar (Produksi, biaya, *manhours*).
- d) Menghindari penanganan masalah yang bersifat sementara (mengatasi masalah, jika belum pada *root cause*-nya, masalah yang sama akan terulang lagi)

Metode yang dilakukan di dalam RCFA:

- *Fish–bone diagram (Cause and effect diagram)*
- *Fault tree analysis*
- *Brainstorming*
- *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)*

Dengan menggunakan RCFA maka dapat ditelusuri lebih mendalam penyebab utama atau akar permasalahan di *tube* HRSG yang terjadi kebocoran akibat korosi sehingga dari proses ini akan dapat dikaji langkah berikutnya yaitu solusi apa saja yang dapat diberikan dan tindakan yang dilakukan untuk pencegahan korosi terjadi kembali pada *tube* HRSG.

3.2.4 Solusi dan Metode Pencegahan Korosi

Langkah awal dalam mengusulkan alternatif penyelesaian (solusi) adalah mencari literatur tentang perawatan HRSG dan jenis-jenis perlindungan terhadap korosi serta cara menghambat terjadinya korosi. Kemudian yang dilakukan dalam metode ini adalah menganalisa dan menentukan cara perlindungan logam yang baik dengan kondisi HRSG di lapangan.

3.2.5 Kesimpulan dan Saran

Tahap ini merupakan tahap akhir dari penelitian Tugas Akhir. Pada tahap ini hasil yang dicapai diuraikan secara singkat setelah proses analisis yang dilakukan dan dijadikan sebagai kesimpulan. Selanjutnya diberikan saran-saran yang dapat membantu pihak perusahaan maupun dalam penelitian selanjutnya.

BAB IV

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini pengolahan data dilakukan agar dapat menentukan penyebab utama terjadinya proses korosi di permukaan *fin tube* HRSG. Proses korosi bisa terjadi jika terdapat dua elektroda (berada dalam satu material ataupun terpisah) yang memiliki perbedaan potensial dan terhubung secara elektronik (fisik dengan konduktor) dan elektrolit. Dua elektroda ini berfungsi sebagai anoda dan katoda yang terhubung agar elektron dapat mengalir disebut dengan hubungan elektronik. Prinsip dasar korosi ini melibatkan tiga unsur yaitu: logam, air atau elektrolit, dan oksigen dari udara. Timbulnya korosi pada ruangan dan permukaan *fin tube* HRSG dipengaruhi beberapa faktor yaitu pola operasi HRSG, penggunaan bahan bakar, metode pembersihan *tube HRSG* dan analisa gas buang.

Pada kondisi *off* atau saat unit HRSG tidak beroperasi berminggu-minggu dimana kecenderungannya di dalam ruangan HRSG yang *off* lama akan menimbulkan proses korosi hal ini disebabkan permukaan *fin tube* berinteraksi dengan sisa uap air dan sulfur hasil pembakaran yang mengendap di dalamnya ruangan HRSG. Berdasarkan prinsip pembakaran stokiometri, Gas buang sisa pembakaran umumnya mengandung empat unsur produk yaitu: CO_2 , H_2O , SO_2 dan N_2 masing-masing unsur akan berbeda komponennya tergantung sifat bahan bakar yang digunakan apabila unit HRSG menggunakan minyak diesel (HSD), berdampak langsung sulfur yang dihasilkan cenderung tinggi dibandingkan memakai *natural gas*. Gas buang yang mengandung moisture tinggi (H_2O) akan mengendap di dalam

ruangan HRSG ditambah dengan kandungan sulfur yang terdapat di bahan bakar bereaksi dengan O_2 menjadi SO_2 . Sisa kandungan sulfur dari gas buang tersebut dapat menempel dan mengendap pada permukaan *fin tube* HRSG yang semakin lama menyebabkan pipa HRSG mengalami reduksi-oksidasi (redoks) adalah proses terjadinya korosi pada logam secara reaksi elektrokimia. Oleh karena itu diperlukan mengamati pola operasi HRSG tiap Blok terutama saat HRSG melakukan mode *off* yang cukup lama kemudian di amati juga penggunaan bahan bakar yang selama ini dipakai.

Kondisi operasi HRSG aktual selama ini penggunaan bahan bakar masih menggunakan *natural gas* di setiap Blok, khususnya Blok-3 hanya bisa menggunakan Bahan Bakar Gas (*Natural Gas*) sedangkan untuk Blok-1 dan Blok-2 bisa menggunakan kombinasi bahan bakar minyak diesel *High Speed Diesel* (HSD) ataupun *natural gas*, dimana bahan bakar yang digunakan kadang menggunakan keduanya yaitu bahan bakar HSD dan *Natural gas* tergantung permintaan dari operator pengoperasian di *Central Control Room* (CCR).

Pembersihan pada pipa HRSG yang kurang sering dapat menyebabkan terjadinya proses korosi celah yaitu korosi yang terjadi ditempat yang tertutup kotoran. Karena itu proses pembersihan yang dilakukan selama ini terhadap permukaan luar pipa HRSG perlu diamati. Pembersihan yang dilakukan selama ini untuk perawatan pada HRSG masih menggunakan sistem *Waterjet Cleaning* dimana cara pembersihan tersebut menggunakan media air ditambah dengan kandungan kimia *natrium hidroksida* (NaOH). Sisa air yang bercampur dengan deposit sulfur bisa menjadi rontok akibat terkena semburan air dengan tekanan tinggi dan jatuh dibawah mengenai permukaan *fin tube* atau lekukan pipa yang sulit dijangkau pembersihannya

dimana bisa mengakibatkan endapan dan bercampur dengan *deposit* lainnya sehingga hal ini jika dibiarkan terus menerus dapat menyebabkan terjadinya korosi celah (*Crevice corrosion*).

Setelah mengamati pola operasi HRSG, penggunaan bahan bakar dan metode *cleaning* yang dilakukan, maka tahap selanjutnya dilakukan analisa gas buang tiap Blok yang menghasilkan kandungan sulfur dan uap air serta mencari penyebab utama munculnya kandungan kedua unsur tersebut dan dilengkapi dengan hasil pengujian komposisi kimia dengan metode *X-Ray Diffraction* (XRD).

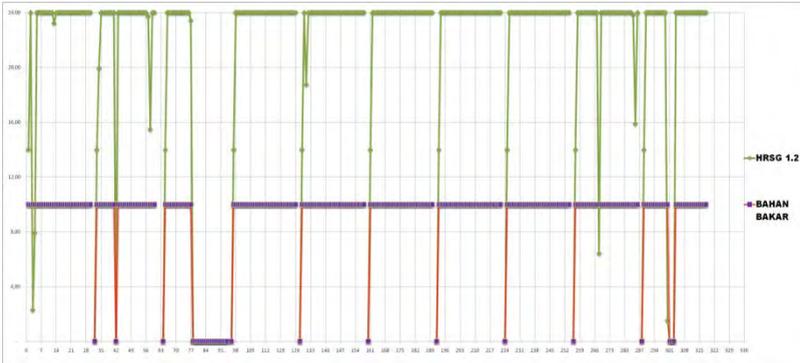
4.1 Identifikasi siklus ON dan OFF pada Unit HRSG

Penelitian ini diawali dengan menganalisa siklus *off/on* pada HRSG dan mencari siklus *off* (*standby*) terpanjang yang dapat mengakibatkan terjadinya proses korosi. Proses siklus dibagi menjadi 3 Blok, diambil sampel tiap Blok yaitu meliputi: Blok-1.2, Blok-2.2, dan Blok-3.2 dan yang terakhir difokuskan pada Blok-2 mulai tahun 2012-2015.

Dari hasil studi di lapangan didapatkan rekaman data mengenai kondisi operasi atau siklus *on/off* HRSG masing-masing Blok dan dibuatkan analisa grafik jam operasional terhadap durasi siklus *on/off* dan penggunaan bahan bakar, tampilan bahan bakar hanya disajikan pada tahun 2015 dan 2014 karena kendala izin data yang diperoleh saat penelitian. Tampilan grafik yang lengkap Blok-2 dari tahun 2012-2015 bisa dilihat pada lampiran, untuk tampilan grafik siklus HRSG dalam setahun dapat digambarkan sebagai berikut:

4.1.1 Siklus *ON/OFF* HRSG dan penggunaan bahan bakar tahun 2015

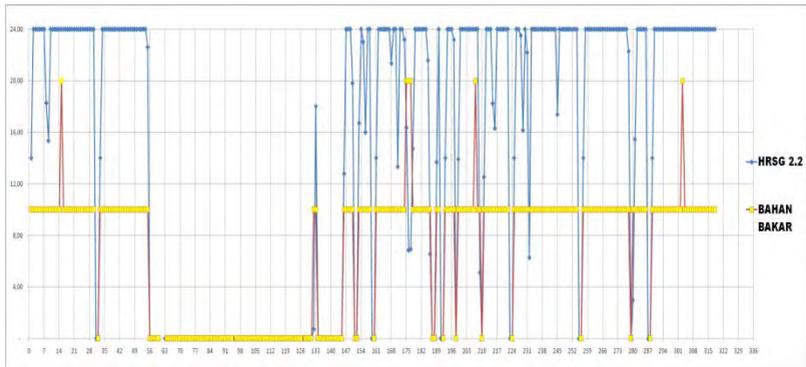
1. Siklus *ON/OFF* HRSG Blok-1.2



Gambar 4.1 Siklus *on/off* HRSG 1.2 & penggunaan bahan bakar

Dilihat dari Gambar 4.1 trendline grafik cenderung naik turun atau pada HRSG Blok-1.2 ini sering melakukan kondisi operasi *start-stop (on-off)*. Durasi *off* pada Blok-1.2 dengan durasi terpanjang terletak pada minggu ke-12 dengan durasi *off* selama 3 minggu. *off* pada minggu ini dilakukan karena unit ini sedang dilakukan *planned outage* atau jadwal perawatan dan pemeliharaan unit secara periodik meliputi seperti inspeksi, *overhaul* atau pekerjaan lainnya yang sudah dijadwalkan sebelumnya dalam rencana tahunan pemeliharaan pembangkit atau sesuai rekomendasi pabrikan. Selanjutnya trendline grafik cenderung naik dan beroperasi *off* selama 4 minggu dalam waktu 24 jam. Kemudian *off* sesaat saat awal bulan kemudian *off* lagi begitu seterusnya. Penggunaan bahan bakar pada Blok-1.2 masih di dominasi dengan penggunaan bahan bakar *Natural gas*

2. Siklus ON/OFF HRSG Blok-2.2

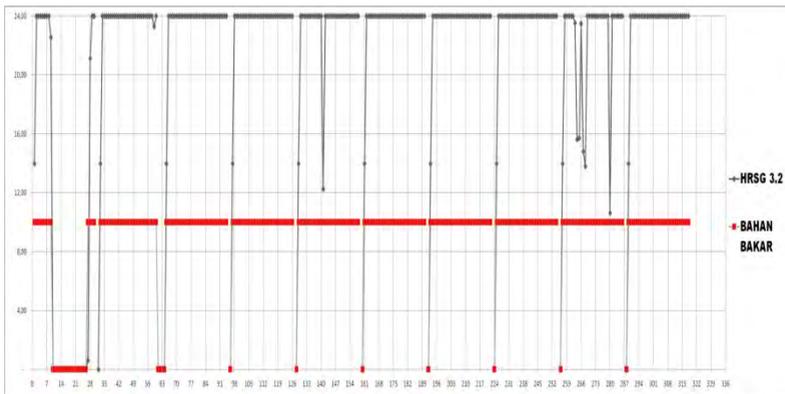


Gambar 4.2 Siklus on/off HRSG 2.2 & penggunaan bahan bakar

Pada Gambar 4.2 trendline grafik bisa dilihat kecenderungan unit Blok-2.2 kondisi saat *off* lebih lama dibandingkan kondisi Blok-1.2. HRSG Blok-2.2 melakukan durasi *off* mulai pada minggu ke-9 dengan durasi *off* selama 14 minggu. Penyebab HRSG Blok-2.2 melakukan durasi *off* yang sangat panjang di akibatkan oleh karena adanya permintaan dari distribusi jaringan dari penyaluran dan pusat pengatur beban (P3B) oleh karena itu unit pada Blok-2.2 diminta untuk *standby*, ditambah dengan aktifitas *planned outage* atau jadwal perawatan dan pemeliharaan unit secara periodik meliputi seperti inspeksi, *overhaul* atau pekerjaan lainnya yang sudah dijadwalkan sebelumnya dalam rencana tahunan pemeliharaan pembangkit atau sesuai rekomendasi pabrik yang menyebabkan durasi *off* semakin lama. Hal inilah yang dapat menyebabkan potensi terjadinya korosi dimana permukaan luar pipa tidak terlindungi akibat adanya kecenderungan uap air yang timbul di dalam ruangan HRSG selama HRSG *off* ditambah lagi tidak dilakukan metode *preservasi* menyebabkan proses korosi lebih cepat terjadi.

Ditunjukkan Gambar 4.2 titik garis berwarna kuning sesaat naik indikasinya turbin gas menggunakan minyak diesel HSD. Penggunaan bahan bakar di Blok-2.2 ini bisa menggunakan kombinasi 2 jenis bahan bakar yaitu minyak diesel HSD (*High Speed Diesel*) dan *Natural gas*. Pada penggunaan bahan bakar minyak diesel kandungan sulfurnya cukup tinggi sehingga potensi terjadinya pengendapan sisa sulfur dari gas buang pada permukaan pipa bisa terjadi hal ini yang dapat menyebabkan proses korosi, ditambah dengan durasi *off* yang cukup lama mengakibatkan proses korosi semakin cepat terjadi.

3. Siklus *ON/OFF* HRSG Blok- 3.2



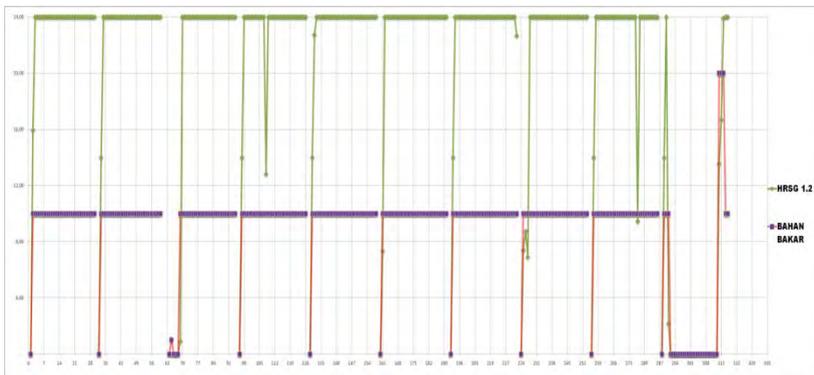
Gambar 4.3 Siklus *on/off* HRSG 3.2 & penggunaan bahan bakar

Untuk grafik Gambar 4.3 pada unit Blok-3.2 trendline grafik hampir sama pola operasinya seperti pada unit Blok-1.2 . Trendline grafik cenderung naik turun dimana unit ini sering melakukan *on/off* atau *start-stop*. Durasi *off* pada Blok-3.2 dimulai pada minggu ke 2 dengan durasi *off* selama kurang dari 3 minggu diakibatkan oleh aktifitas dengan aktifitas *planned*

outage atau jadwal perawatan dan pemeliharaan unit secara periodik meliputi seperti inspeksi, *overhaul* atau pekerjaan lainnya yang sudah dijadwalkan sebelumnya dalam rencana tahunan pemeliharaan pembangkit atau sesuai rekomendasi pabrikan. Selanjutnya unit ini melakukan operasi *on* selama 24 jam durasi 1 bulan kemudian *off* sesaat pada awal bulan kemudian *on* lagi begitu seterusnya. Pada Blok-3 penggunaan bahan bakar hanya bisa memakai *Natural gas* karena dari pabrik pembuat/OEM HRSG menyesuaikan hanya Blok-3 saja yang bisa beroperasi dengan satu jenis bahan bakar yaitu *Natural gas*.

4.1.2 Siklus *ON/OFF* HRSG dan penggunaan bahan bakar tahun 2014

1. Siklus *ON/OFF* HRSG Blok-1.2

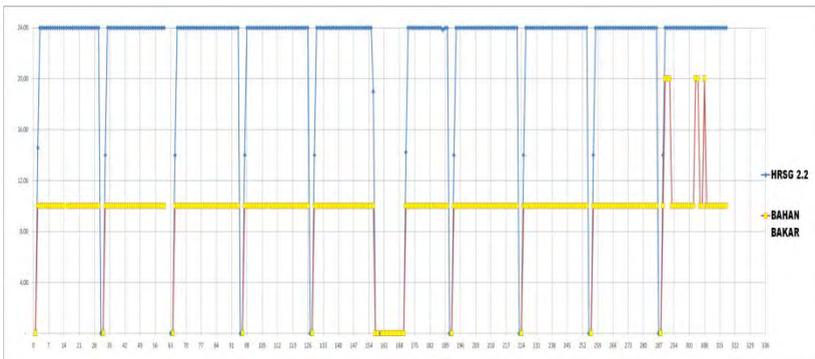


Gambar 4.4 Siklus *on/off* HRSG 1.2 & penggunaan bahan bakar

Pada Gambar 4.4 Grafik HRSG 1.2 pada tahun 2014 bisa dilihat kecenderungan unit Blok 1.2 pada awal tahun minggu ke-1 hingga minggu ke-42 lebih banyak beroperasi dibandingkan *off*. Mulai pada minggu ke 43-46 unit HRSG melakukan *off* selama 3

minggu karena adanya permintaan distribusi jaringan penyaluran dan pusat pengatur beban dari (P3B) oleh karena itu unit pada Blok-1.2 diminta untuk *standby* proses operasi yang terus menerus dan jarang pada kondisi *off* dapat memperlambat terjadinya korosi karena pipa-pipa HRSG jarang terkontak langsung dengan udara . Penggunaan bahan bakar di Blok-1.2 ini lebih banyak menggunakan *Natural gas* tetapi pada bulan Oktober dilakukan *change over* bahan bakar dari *Natural gas* ke *High Speed Diesel* (HSD) ditunjukkan Gambar 4.4 titik garis berwarna ungu pada grafik terakhir sesaat naik ada kendala teknis pada *control valve* BBG.

2. Siklus ON/OFF HRSG Blok-2.2

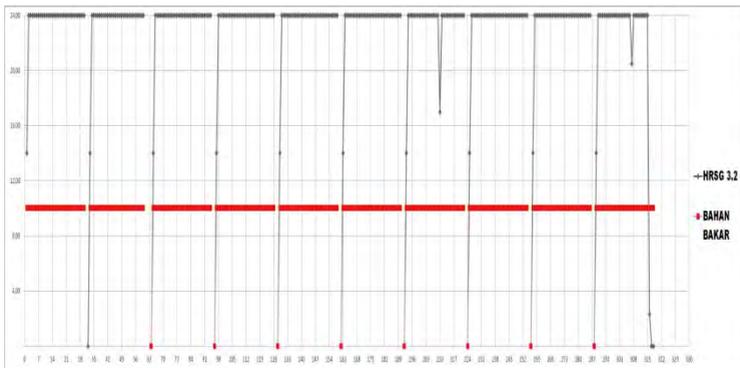


Gambar 4.5 Siklus *on/off* HRSG 2.2 & penggunaan bahan bakar

Untuk Gambar 4.5 pada unit Blok-2.2 trendline grafik hampir sama pola operasinya seperti pada unit Blok 1.2 tidak terjadi kondisi *off* yang banyak dan cukup lama pada tahun 2014 unit Blok-2 lebih banyak beroperasi. Kondisi *off* hanya dilakukan pada minggu ke-23 dengan durasi *off* selama 2 minggu disebabkan oleh adanya permintaan dari distribusi jaringan dari

penyaluran dan pusat pengatur beban (P3B) oleh karena itu unit pada Blok-2.2 diminta untuk *standby*. Penggunaan bahan bakar pada Blok-2.2 menggunakan kombinasi BBG dan minyak HSD dilihat pada minggu ke 42 unit Blok 2 menggunakan bahan bakar minyak diesel pada tampilan Gambar 4.5 titik kuning naik.

3. Siklus *ON/OFF* HRSG Blok 3.2



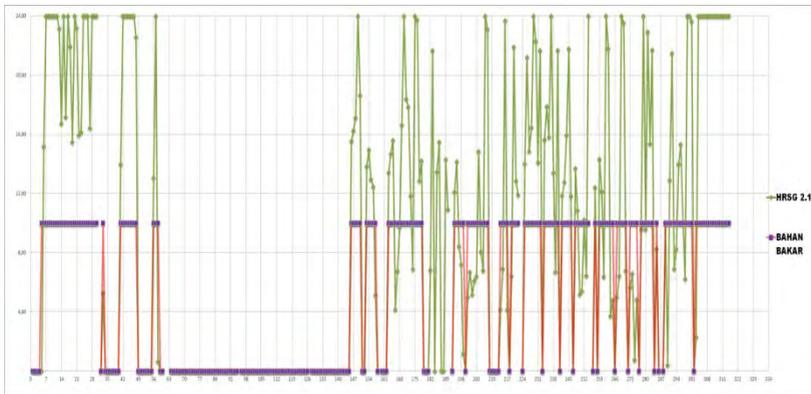
Gambar 4.6 Siklus *on/off* HRSG 3.2 & penggunaan bahan bakar

Gambar 4.6 menunjukkan Siklus *on/off* pada Blok-3.2, dapat dilihat bahwa operasi pada unit ini melakukan durasi *on* yang hampir penuh dalam setahun, pada bulan oktober di minggu ke 3 HRSG melakukan *off* karena adanya permintaan *standby* dari penyaluran dan pusat pengatur beban (P3B) dan perawatan berkala (*Major Inspection*) pada sistem *Steam Turbine* penggunaan bahan bakar hanya bisa memakai *Natural gas* karena dari pabrik pembuat/OEM HRSG menyesuaikan hanya Blok 3 saja yang bisa beroperasi dengan satu jenis bahan bakar yaitu *Natural gas*.

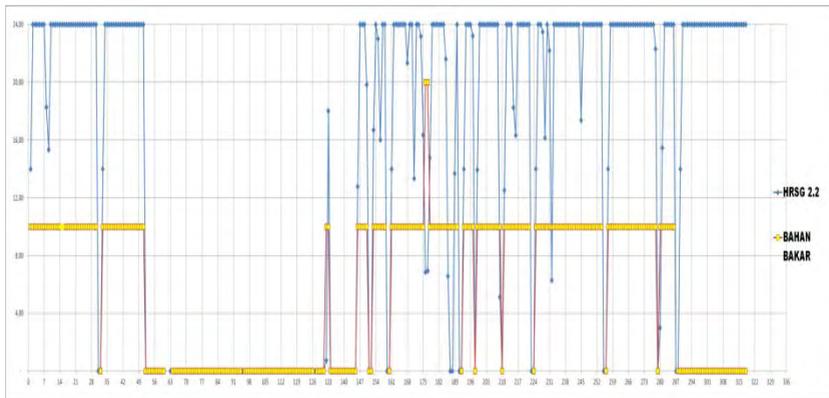
4.1.3 Siklus ON/OFF HRSG Blok 2

Pada penelitian ini pembahasan korosi difokuskan pada satu unit Blok, yaitu pada Blok-2 alasan diambilnya unit Blok-2 sebagai bahan penelitian karena mengacu pada data siklus *on/off* HRSG serta pengamatan data di lapangan dan mendiskusikan langsung oleh operator lokal di PT.PJB UP Gresik, diambil kesimpulan maka Blok 2 sering mengalami kondisi *on/off* yang sering yaitu suatu siklus dimana HRSG sering mengalami kondisi nyala dan mati (*on/off*) dan menggunakan bahan bakar *High Speed Diesel* (HSD).

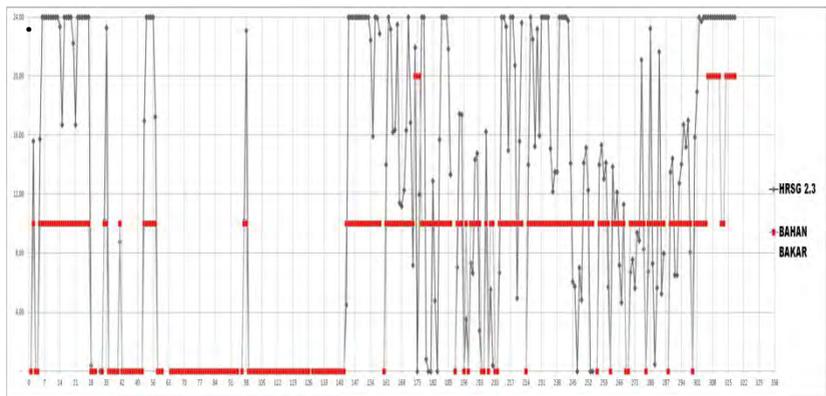
HRSG Blok 2 dipecah lagi menjadi Blok 2.1, 2.2, dan 2.3



(a)



(b)

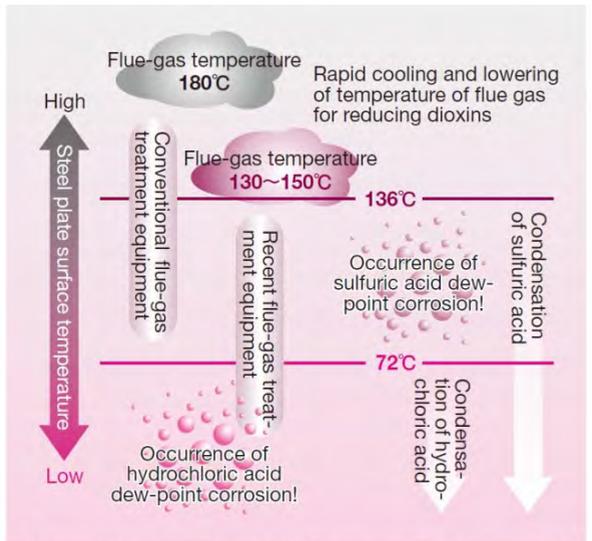


(c)

Gambar 4.7 (a) HRSG 2.1, (b) HRSG 2.2, (c) HRSG 2.3

Pada Gambar 4.7 bisa dilihat perbandingan siklus pada Blok 2 yaitu Blok 2.1, Blok 2.2, Blok 2.3. pada keterangan siklus tersebut HRSG Blok 2 sama-sama melakukan mode *off* yang cukup lama hingga 12-14 minggu. Kondisi *off* yang cukup lama tersebut akan menyebabkan penurunan temperatur sisa gas buang di dalam ruangan HRSG dimana seiring penurunan temperatur

tersebut kelembapan (*Humidity*) juga akan meningkat menyebabkan mulai terjadinya kondensasi pada sisa gas buang hasil pembakaran bahan bakar sehingga mengakibatkan terjadinya korosi akibat pengembunan uap asam (*acid dew point corrosion*). Titik embun uap asam terjadi akibat gas buang yang dihasilkan dari reaksi pembakaran bahan bakar mengembun dan berubah fase dari gas buang menjadi asam cair reaksi antara sulfur dan uap air ditunjukkan pada Gambar 4.8



In the case of flue-gas composition (SO_3 : 3 ppm, HCl : 300 ppm, H_2O : 30%)

Gambar 4.8 Temperatur terjadinya pembenturan uap gas asam (*acid dew point*)^[10]

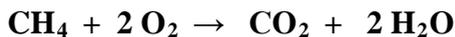
4.2 Analisis Dampak Siklus *ON/OFF* Terhadap Korosi

Gas buang menghasilkan kandungan uap air yang cukup banyak, semakin tinggi kadar uap air semakin cepat terjadinya kondensasi gas buang ketika temperatur menurun dan menjadi dingin. Sebagai contoh hasil pembakaran dari gas alam (*Natural Gas*) dengan komposisi unsur utama yaitu Metana dan Etana pada tabel 4.1 dijelaskan sebagai berikut:

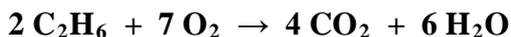
Tabel 4.1 Komponen Utama Natural Gas^[11]

Komponen	%
Metana (CH ₄)	80-95
Etana (C ₂ H ₆)	5-15
Propana (C ₃ H ₈) and Butana (C ₄ H ₁₀)	< 5

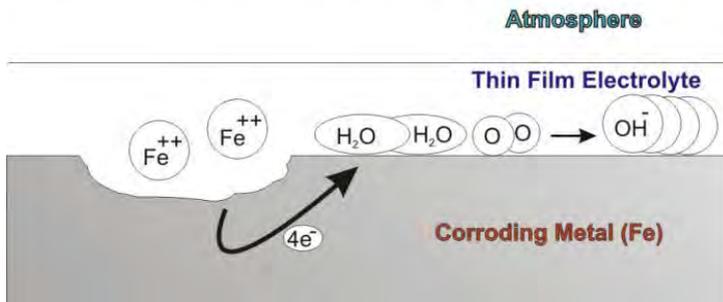
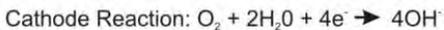
Sebagai komponen utama gas alam, metana adalah sumber bahan bakar utama. Pembakaran satu molekul metana dengan oksigen akan menghasilkan satu molekul CO₂ (karbondioksida) dan dua molekul H₂O (air) persamaan reaksi kimia dijabarkan sebagai berikut:



Pada proses pembakaran sempurna satu molekul Etana dengan oksigen menghasilkan empat molekul karbon dioksida dan enam molekul air sesuai dengan persamaan kimia sebagai berikut:



Dari persamaan reaksi pembakaran diatas dapat disimpulkan kandungan uap air yang dihasilkan dari gas buang dengan memakai gas alam (*Natural gas*) cukup banyak, sehingga apabila gas buang tersebut mengalami penurunan temperatur dan terjadi proses kondensasi dari gas menjadi uap cair bisa menyebabkan terjadinya proses korosi pada logam, sehingga saat HRSG pada kondisi *off* yang lama dan mulai mengalami penurunan temperatur ruangan terdapat sejumlah kandungan uap air di dalamnya akibat proses kondensasi, potensi terjadinya proses korosi akan semakin cepat terjadi. Pada Gambar 4.9 dijelaskan ilustrasi proses terjadinya korosi akibat uap air



Gambar 4.9 Deskripsi proses terjadinya korosi kondisi atmosfer pada logam^[15]

Logam yang bereaksi dengan air akan mudah terkorosi akibat proses elektro kimia, air sebagai larutan elektrolit dan terhubung secara elektronik akan memudahkan logam mengalami reduksi dan oksidasi (redoks).

4.3 Analisis Gas Buang

I	Nama Perusahaan	: PT. PJB UP. GRESIK
II	Alamat Perusahaan	: Jl. Harun Tohir No.1 – Gresik
III	Jenis Pengukuran	: Kualitas Udara Emisi Cerobong
IV	Lokasi Pengukuran	: Cerobong HRSG # 2.2 Bahan Bakar : Gas
V	Waktu Pengukuran	: Jam 09.55 – 10.35 WIB, Tanggal 16 September 2014
VI	Hasil Pengukuran	:

No	Parameter	Satuan	Kadar Terukur					Baku Mutu Udara Emisi Per.Men.LH No. 21/2008	Metode Pengujian
			1	2	3	Rerata	Rata ² Terkoreksi		
1	Karbon Monoksida (CO)	mgr/Nm ³	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	-	-	SNI19-7117.10-2005
2	Nitrogen Dioksida (NO ₂)	mgr/Nm ³	86,7	96,2	84,6	89,2	122	400	MASA, 3 rd ed, No.406
3	Sulfur Dioksida (SO ₂)	mgr/Nm ³	0,73	4,52	3,04	2,76	3,79	150	SNI19-7117.3.1-2005
4	Total Partikel	mgr/Nm ³	1,81	<0.18	9,07	-	-	30	SNI19-7117.12-2005
5	Oksigen (O ₂)	%	16,2	16,9	16,8	16,6	-	-	SNI19-7117.10-2005
6	Kec. Linear Gas Buang	m/det	19,49					-	SNI19-7117.1-2005

Gambar 4.10 Unsur gas buang *Natural gas* Blok-2^[1]

Salah satu penyebab timbulnya korosi pada permukaan luar *fin tube* akibat adanya deposit sulfur, sulfur tersebut mengendap akibat terbawa oleh sisa gas buang yang menempel pada permukaan pipa *fin tube*. Tiap bahan bakar mempunyai kandungan zat sulfur tetapi yang membedakan adalah konsentrasi kandungan zat sulfur di dalam bahan bakar, jika unit HRSG memakai minyak diesel (HSD) bisa dipastikan sulfur yang dihasilkan sangat tinggi. Sulfur oksida mempunyai ciri bau yang tajam, bersifat korosif (penyebab karat), beracun karena selalu mengikat oksigen untuk mencapai kestabilan fasa gasnya. Jika dilihat dari Gambar 4.10 bahan bakar yang dipakai adalah *Natural gas* namun masih ada sisa sulfur pada gas buangnya apabila bereaksi dengan uap air bisa menjadi asam.

4.4 Hasil Pengujian X-Ray Powder Diffraction (XRD)

Untuk menentukan penyebab korosi pada pipa HRSG perlu dilakukan uji material, salah satu metode yaitu menggunakan XRD digunakan untuk analisis komposisi fasa atau senyawa kimia pada material dan juga karakterisasi kristal. Prinsip dasar XRD adalah mendifraksi cahaya yang melalui celah kristal. Pada penelitian ini salah satu sampel pipa dijadikan contoh sebagai pengujian XRD ditampilkan pada Tabel 4.2 yang diambil pada stage HRSG paling terakhir yaitu pada stage *Pre-heater outlet pipe* item nomer 5.

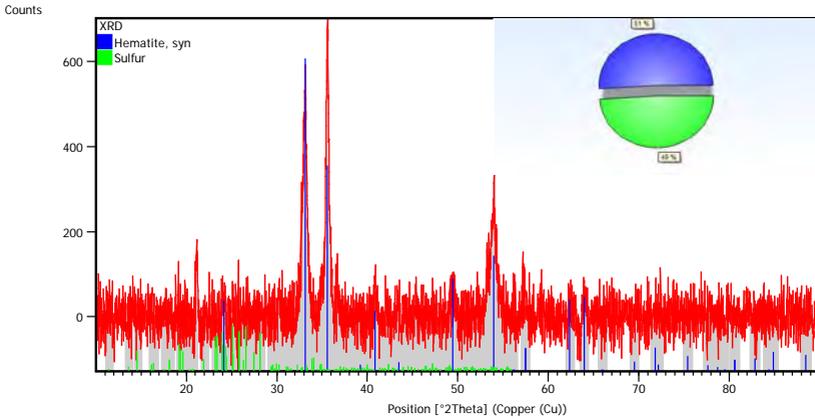
Tabel 4.2 Spesifikasi *Tube Preheater* HRSG dan Jenis Material yang Digunakan Pada PLTGU^[1]

ITEM	DESCRIPTION	Nb	PT/PL mm	OUT DIAM mm	Tck mm	MATERIAL	Oper P kg/cm ² abs	Oper T C	FLOW t/h	Wat-Steam		Design P		Design T C
										VELOC m/sec	T Gas C	kg/cm ² g	kg/mm ² g	
1	PREHEATER INLET PIPE	1		219.1	8.17	SA 106 Gr B	7	50	246.40	2.1		20	1.97	214
2	PREHEATER INLET HEADER	1		219.1	12.5	ST 36-8	7	50	246.40	2.1	106	20	1.97	234
3	PREHEATER SINGLE ELEMENT	78	91/79	38	2.9	ST 37-8	7	50	246.40	0.6		20	1.97	234
	180 FINS/M DIA 58x1:14 ROWS					CARB STEEL								
4	PREHEATER OUTLET HEADER	1		219.1	12.5	ST 36-8	7	130	246.40	2.3	158	20	1.97	234
5	PREHEATER OUTLET PIPE	1		219.1	8.17	SA 106 Gr B	7	130	246.40	2.3		20	1.97	214



Gambar 4.11 Sampel potongan pipa yang diuji komposisi kimia^[1]

Dari hasil pengujian XRD ditunjukkan pada Gambar 4.12 didapatkan hasil bahwa material pipa tersebut terkorosi pada seluruh permukaan pipanya dapat dilihat pada Gambar 4.11 Hasil uji analisa XRD yang ditampilkan pada Tabel 4.3 membuktikan terbentuknya produk karat Fe_2O_3 dan hasil berikutnya mencari unsur kedua yaitu terdapat kandungan sulfur. Hal ini mengindikasikan bahwa potensi terjadinya korosi pada permukaan pipa HRSG akibat adanya endapan deposit sulfur di permukaan luar *fin tube-Preheater* HRSG.



Gambar 4.12 Grafik XRD dan prosentase unsur pembentuk korosi

Tabel 4.3 Hasil Analisa Grafik XRD

Peak List :

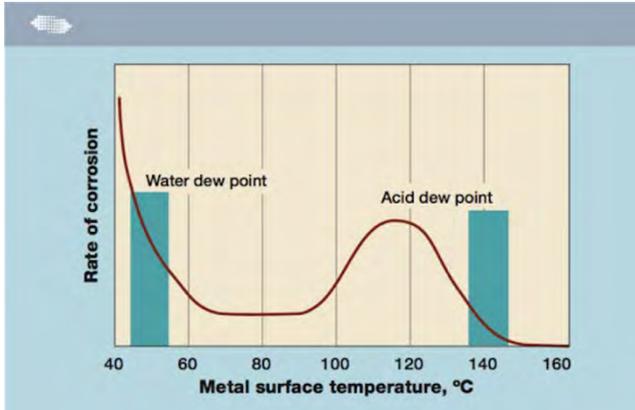
Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
21.1402	220.62	0.1338	4.20271	31.17
24.1373	130.72	0.4015	3.68721	18.47
33.1420	532.56	0.1673	2.70311	75.23
35.6224	707.88	0.2676	2.52038	100.00
36.7082	175.89	0.1004	2.44828	24.85
40.9470	156.25	0.4015	2.20410	22.07
49.3667	108.56	0.8029	1.84610	15.34
54.0030	277.92	0.4015	1.69805	39.26
57.3048	100.29	0.5353	1.60781	14.17
62.5791	118.14	0.5353	1.48439	16.69
64.0165	167.89	0.7360	1.45449	23.72

Pattern List :

Visible	Ref. Code	Score	Compound Name	Displacement [°2Th.]	Scale Factor	Chemical Formula
*	01-089-0596	65	Iron Oxide	-0.009	0.860	Fe ₂ O ₃
*	01-071-0137	Unmatched Strong	Sulfur	-0.106	0.123	S8

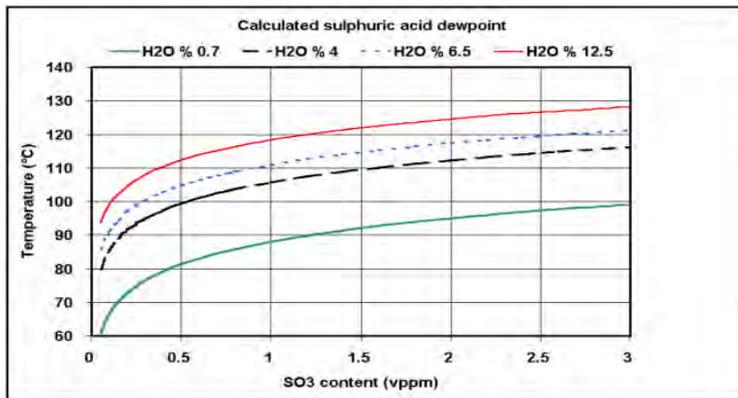
4.5 Mekanisme Terjadinya Acid Dew Point

Pada pembahasan sebelumnya dijelaskan bahwa kandungan dari gas buang terdapat unsur kandungan nitrogen dioksida (NO₂), sulfur dioksida (SO₂) dan sebagian menjadi sulfur trioksida (SO₃), carbon dioksida (CO₂) dan uap air (H₂O) diperkuat dengan hasil pengujian metode XRD yang terdapat unsur sulfur di permukaan luar pipa *pre-heater* HRSG yang terjadi korosi. Uap air hasil pembakaran gas metana dapat menyebabkan terjadinya titik embun uap asam (*acid dew point*) dijelaskan sebelumnya bahwa semakin tinggi kadar uap air semakin cepat terjadinya kondensasi gas buang ketika temperatur menurun dan menjadi dingin. Pada kondisi HRSG *off* yang cukup lama sisa gas buang yang terperangkap didalam ruangan HRSG akan mengalami penurunan temperaturnya dan mengalami perubahan fase jenis yang menyebabkan terjadi proses *acid dew point* ditunjukkan pada Gambar 4.13.

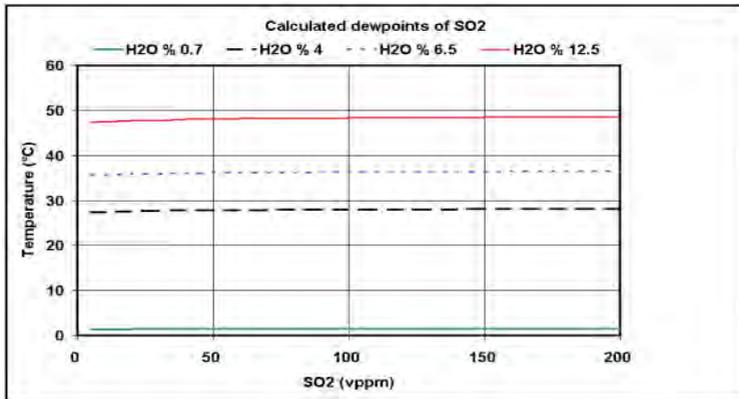


Gambar 4.13 Perbandingan *water dewpoint* dan *acid dewpoint*^[12]

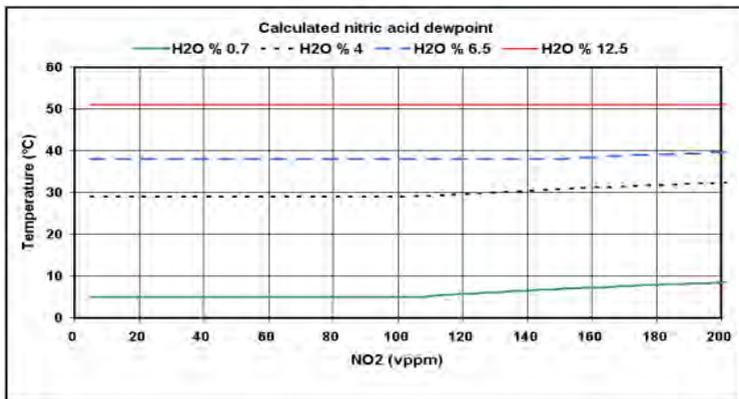
Pada gambar 4.14, 4.15, 4.16, dan 4.18 berikut ini dijelaskan pengaruh uap air yang dihasilkan dari gas buang terhadap komposisi unsur yang menyebabkan kondensasi pada temperatur yang lebih tinggi sehingga cepat mengembun.



Gambar 4.14 Titik embun dari SO₃ terhadap variasi uap air yang dihasilkan gas buang, dihitung dari persamaan Verhoff^[12]

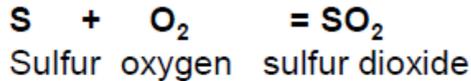


Gambar 4.15 Titik embun dari SO₂ terhadap variasi uap air yang dihasilkan gas buang, dihitung dari persamaan Kiang^[12]

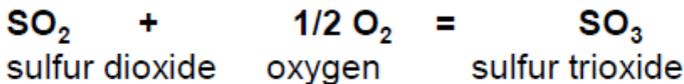


Gambar 4.16 Titik embun dari NO₂ terhadap variasi uap air yang dihasilkan gas buang, dihitung dari persamaan Perry dan tabel uap air^[12]

Kandungan gas buang yang terdapat unsur sulfur akan menjadi sulfur dioksida akibat proses dari oksidasi antara oksigen dengan zat sulfur proses kimia dijelaskan sebagai berikut:



Fraksi dari sulfur dioksida kadang-kadang sebanyak 10% , teroksidasi menjadi sulfur trioksida dengan persamaan kimia sebagai berikut:



SO₃ di udara dalam bentuk gas hanya mungkin terjadi jika terdapat konsentrasi uap air sangat rendah. Jika terdapat uap air dalam jumlah cukup banyak, SO₃ dan uap air akan segera bergabung pembentuk droplet asam sulfat (H₂SO₄). Apabila sulfur trioksida bergabung dengan uap air yang mengembun hasil dari penurunan temperatur gas buang di dalam ruangan HRSG pada permukaan pipa maka proses inilah yang akan menyebabkan terbentuknya asam sulfat (H₂SO₄) pada Gambar 4.17 ditunjukkan dampak terjadinya *acid dew point*.



Selain sulfur, unsur nitrogen dapat menyebabkan *acid dew point* kandungan nitrogen yang terdapat di gas buang hasil pembakaran dari turbin gas dapat menyebabkan korosi

jika bereaksi dengan air persamaan kimianya sebagai berikut:

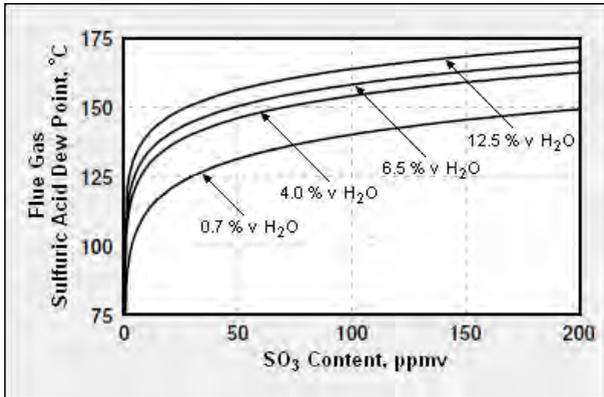


water + nitrogen dioxide → nitric acid



Gambar 4.17 Dampak terjadinya *acid dew point corrosion*^[1]

Oleh karena itu gas buang yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar dengan menggunakan gas alam ataupun minyak diesel tetap menghasilkan kandungan sulfur, nitrogen dan uap air tetapi kandungan masing-masing unsur berbeda tergantung jenis bahan bakar yang dipakai.



Gambar 4.18 Grafik perbandingan *acid dew point* dari tipikal gas buang terhadap fungsi kandungan sulfur trioksida dan uap air

Untuk mengatasi hal tersebut, perlu dilakukan tindakan *preservasi* ketika HRSG mengalami kondisi *off* yang cukup lama salah satunya dengan cara menghilangkan unsur penyebab korosi yaitu uap air. Kandungan uap air yang dihasilkan dalam gas buang sangat banyak dan tidak dapat dipisahkan akibat kandungan unsur Hidrogen yang terdapat di dalam bahan bakar oleh karena itu perlu dilakukan pengaturan kadar uap air dari gas buang di dalam ruangan HRSG ketika *off* salah satu metode yaitu dengan cara *dehumidified*.

4.6 Metode Preservasi dan Perawatan HRSG

4.6.1 Preservasi

Tindakan perlindungan atau lebih dikenal dengan nama *preservation* bisa dilakukan dengan berbagai macam metode, pada tabel berikut ini dijelaskan kelebihan dan kekurangan masing-masing metode *preservation* pada sistim pembangkit terutama HRSG.

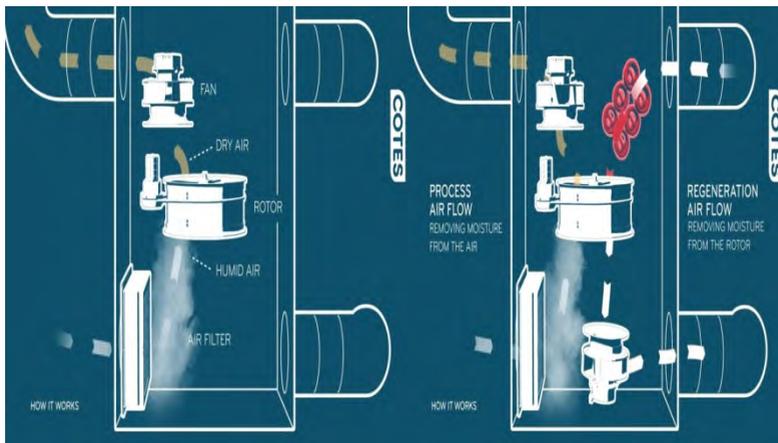
Tabel 4.4 Alternatif untuk perawatan HRSG^[14]

Alternatives for maintaining your HRSG dry

Method	Advantages	Disadvantages
Nitrogen	<ul style="list-style-type: none"> ■ Effective ■ No foreign chemicals introduced 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Low-oxygen environment may be hazardous to personnel ■ Difficult to confirm that all spaces are filled with nitrogen (not air) unless cap is installed as pressure decays ■ Large volume of inert gas required ■ Does not remove standing water
Desiccant trays	<ul style="list-style-type: none"> ■ Proven traditional method ■ Easy to source material (silica gel, quick lime, activated alumina); rule of thumb is 5 lb silica gel/100 ft³ of volume 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Need to handle chemicals ■ Damp chemical is corrosive if spilled in drum ■ Air circulation through HRSG is not accomplished naturally ■ Requires frequent checking
Dehumidified air	<ul style="list-style-type: none"> ■ Successful in humid climates ■ Clears small pockets of water surprisingly fast (within hours) ■ Simple and effective ■ No foreign chemicals introduced 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Equipment intensive; requires blowers, flexible ducting ■ Seal must be maintained with relative humidity of <30% re-established ■ Constant use of blowers
Vapor corrosion (phase) inhibitors	<ul style="list-style-type: none"> ■ Simple to add ■ Chemicals are water soluble 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Require flush and refill ■ Personnel should not enter drums until after a flush, refill, and startup ■ Handling and introduction of foreign chemicals ■ Do not clear residual water pockets ■ Difficult to confirm dispersion throughout HRSG

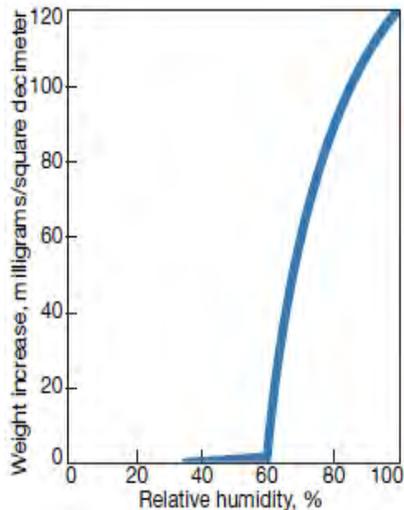
Dilihat dari tabel 4.4, terdapat empat metode preservasi untuk sistim HRSG yang meliputi pengisian gas nitrogen, humidifikasi udara, uap penghambat korosi (VpCI) dan silica gel. Diantara empat metode tersebut yang paling tepat, aman, ramah lingkungan dan efisien adalah dengan memakai metode ke-3 yaitu

humidifikasi udara. Pengertian humidifikasi adalah proses perpindahan/penguapan cairan ke dalam campuran gas yang terdiri dari udara dan uap air. Sedangkan dehumidifikasi adalah proses kebalikan dari humidifikasi yaitu proses perpindahan uap air dari campuran uap air dan udara ke dalam fase cair proses tersebut dapat dilakukan dengan alat *Dehumidifier* adalah perangkat pengkondisian udara yang menghilangkan kelembaban. Alat ini menggunakan *blower* untuk menghisap udara lembab, yang berhembus menyeberangi serangkaian tabung atau *evaporator* didalamnya dilengkapi dengan perangkat uap air berbentuk sarang lebah berbahan dasar serat *silica gel*. Tabung ini menyebabkan kelembaban di udara mengembun dan menetes ke dalam sebuah tanki yang menampung air hasil pengembunan. Udara yang kering, dihembuskan kembali ke dalam ruangan, siklus ini terus terjadi berulang-ulang proses ini ditunjukkan pada Gambar 4.19



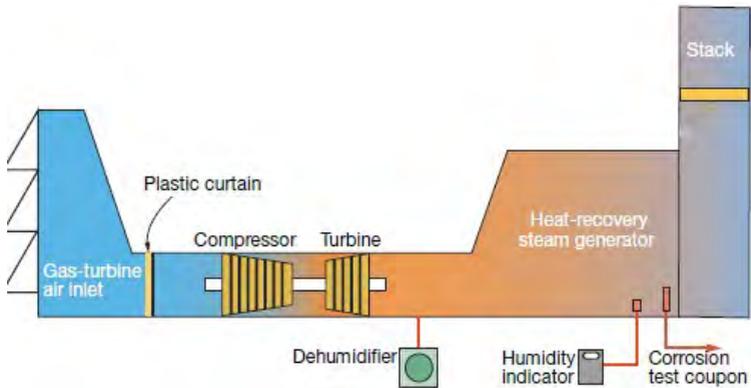
Gambar 4.19 Ilustrasi cara kerja *Dehumidifier*

Dengan penambahan alat *dehumidifier* kelembaban di dalam ruangan HRSG dapat di *monitoring* dan menjaga nilai *Relative Humidity* (RH) tidak lebih dari 35%-40% karena pada umumnya saat RH mencapai nilai tersebut mulai terjadi proses kondensasi gas buang^[13] ditampilkan pada Gambar 4.20



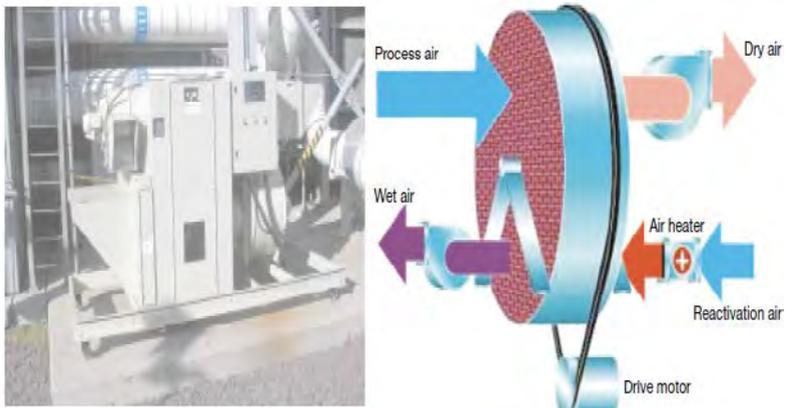
Gambar 4.20 Laju Korosi dan kandungan kelembaban udara menunjukkan nilai RH perlu dijaga dibawah 40%^[12]

Pada gambar 4.21 berikut ini menjelaskan lokasi penempatan alat untuk melakukan dehumidifikasi pada HRSG dilengkapi dengan alat pemantauan korosi. Pada kondisi *off* sistim dehumidifikasi akan langsung dioperasikan.



Gambar 4.21 Lokasi *dehumidifier* dan *corrosion monitoring*^[14]

Pemasangan alat dehumidifikasi dilakukan di luar ruangan HRSGs dapat dilihat pada Gambar 4.22 Temperatur ruangan dan kelembapan di pantau melalui *Dehumidified Control Systems* (DCS) dan ketika kelembapan meningkat alarm akan berbunyi mengindikasikan udara perlu dilakukan pengkondisian.



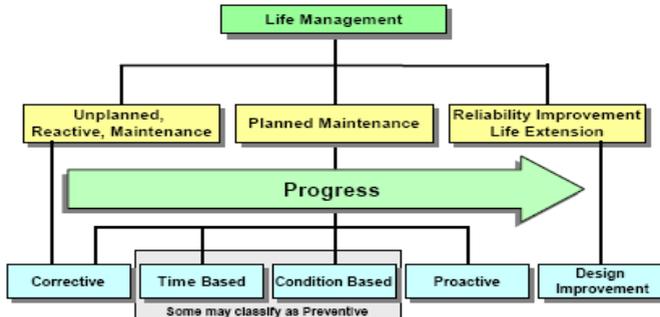
Gambar 4.22 Lokasi pemasangan *dehumidifer* di luar ruangan HRSGs (kiri) dan cara kerja alat (kanan)

4.6.2 Proses Perawatan yang Dilakukan Pihak PJB Pada Unit HRSG^[1]

Tujuan dari program pemeliharaan yang utama adalah melayani kebutuhan operasi, yaitu untuk pengoperasian pada keadaan *Base Load* dan *Emergency*, sesuai kemampuan unit. Program pemeliharaan yang baik dapat tercapai bila dapat menanggulangi kemungkinan terjadinya unit dimatikan diluar perencanaan, sehingga nantinya akan diperoleh kehandalan, kontinuitas dan kinerja unit.

Pemeliharaan dilakukan karena ada 2 sebab, yaitu:

1. Karena adanya laporan kerusakan (*fault treporting*) dari operator .
2. Karena memang sudah dijadwalkan untuk perawatan berkala. Pada Gambar 4.23 dijelaskan diagram pembagian sistim *maintenance*



Gambar 4.23 Diagram program Perawatan

Penerapan *maintenance* pada sistim pembangkit unit PT.PJB UP Gresik sangat luas masing-masing komponen mempunyai jadwal perawatanya sendiri yang telah di atur oleh pihak Perencanaan dan Pengendalian Pemeliharaan. (RENDAL HARR) Dalam konteks PJB yang menggunakan sistim *Ellipse* sebagai

database pemeliharaan, *Run To Failure* (RTF) adalah jenis pekerjaan dengan maintenance type *emergency/corrective* dengan *priority emergency* (02), sedangkan *corrective maintenance* (CM) adalah pekerjaan dengan *maintenance type corrective* dengan *priority urgent* (03) atau normal (05). Oleh karena itu tiap peralatan dan komponen di sistim pembangkit khususnya HRSG dipisah berdasarkan kategori yang telah ditentukan berdasarkan dampak jika terjadi kerusakan.

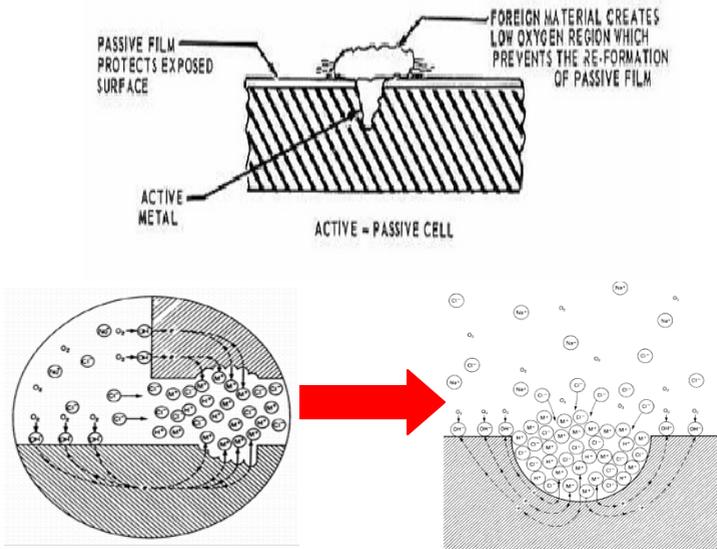
Pada penelitian ini hanya difokuskan pada pemeliharaan unit HRSG, perawatan yang dilakukan pada unit HRSG rinciannya sebagai berikut:

- 1.) Pemeriksaan Periodik.
Pada saat *Shut Down*, semua *drain* dan *venting* harus diperiksa untuk memastikan tidak ada kemacetan: semua katup harus diuji pada waktu tertentu.
 - 2.) Pemeriksaan Tahunan.
Suatu pemeriksaan yang menyeluruh pada HRSGs perlu dilakukan setiap tahun.
- Pemeriksaan Sisi Air
Membuka semua *manhole drum*, dan memeriksa bahwa tidak ada karatan abnormal atau kotoran (deposit) didalam drum; semua deposit perlu diperiksa dan dianalisa di laboratorium.
Kemudian, menggantikan joint manhole dengan yang baru dan menutup pintu *manhole*.
 - Pemeriksaan Sisi Gas atau permukaan luar *fin tube* HRSG.

- ✓ Membuka semua *manhole*, periksa dan memverifikasi bahwa tidak ada korosi abnormal, deposit, dan pengotor lainnya.
- ✓ Periksa kondisi *tube sheet*.
- ✓ Periksa kondisi *support* pipa, *duct* laluan gas buang *bypass duct*.
- ✓ Periksa kondisi *Expansion joint* pada masing masing sambungan.

- Cleaning HRSGs

Untuk perawatan HRSG dengan cara *chemical cleaning* dilakukan berdasarkan temperatur gas buang HRSG, apabila temperatur gas buang HRSG atau dari *stack* melewati batas operasi temperatur yang diizinkan di atas 100° celcius maka indikasi tersebut menyatakan bahwa terjadi timbunan deposit yang cukup banyak di sekitar permukaan *fin tube*. Deposit yang muncul akibat didalam bahan bakar terutama HSD mengandung kandungan zat sulfur sedangkan untuk *natural gas* mempunyai konsentrasi kandungan sulfur yang sedikit. Oleh karena itu perlu dilakukan pembersihan permukaan *fin tube* HRSG segera mungkin, jika tidak dibersihkan berdampak langsung pada efisiensi kinerja HRSG akan menurun akibat *scale factor* yang menghambat perpindahan panas dari gas buang untuk memanaskan air yang di dalam pipa selain itu deposit yang terus dibiarkan mengendap akan menyebabkan kerusakan dan kebocoran pipa akibat korosi celah yang terjadi (*crevice corrosion*). Pada Gambar 4.24 dijelaskan ilustrasi mekanisme terjadinya *crevice corrosion*



Gambar 4.24 Mekanisme terjadinya korosi Celah (*crevice corrosion*)^[15]

Korosi celah terjadi pada celah sempit yang terbuka, *gap*, jarak, pori dan lain sebagainya antar logam dengan logam atau logam dengan non logam yang dapat mengakibatkan terbentuknya *localized corrosion*^[15]. Faktor Penyebab Terjadinya Korosi Celah sebagai berikut:

1. Adanya pasir, debu yang bisa menimbulkan deposit menimbulkan terjadinya stagnasi larutan sehingga timbul korosi celah, adanya retakan, adanya beda konsentrasi oksigen lokal, dll.
2. Penipisan oleh inhibitor yang ada pada celah antara dua atau lebih logam.
3. Adanya pergeseran larutan asam pada celah.
4. Terbentuknya ion agresif (misal klorida) pada celah.

Selain itu cairan kimia yang digunakan pada metode *cleaning fin tube* HRSG Menggunakan *natrium hidroksida* (NaOH), juga dikenal sebagai dan kaustik soda alkali, adalah kaustik logam dasar. Cairan ini banya digunakan di dunia industri, terutama sebagai kimia kuat dasar dalam pembuatan pulp dan kertas, tekstil, dan deterjen pembersih logam namun NaOH termasuk zat kimia yang bersifat korosif. Oleh karena itu perlu dilakukan alternatif *cleaning* yang aman dan tidak menimbulkan pemicu korosi salah satu metode tersebut adalah *dry ice blasting*. *Dry ice blasting* banyak digunakan untuk pembersihan pada pembangkit terutama HRSG karena sifat pembersihan yang baik, tidak abrasif pada material logam dan ramah lingkungan (tidak menggunakan bahan kimia), selain itu es kering setelah ditembakkan pada permukaan pipa langsung mencair dan menguap ketika terkena temperatur udara lokal sehingga tidak meninggalkan sisa air setelah pembersihan yang memicu terjadinya korosi.

Pada Tabel 4.5 dibawah ini ditampilkan keuntungan serta kerugian masing-masing metode pembersihan yang dapat dilakukan pada sistim pembangkit terutama HRSG

Tabel 4.5 Perbandingan Metode Pembersihan pada HRSGs^[8]

METODE PEMBERSIHAN	KEUNTUNGAN	KERUGIAN
WATER WASHING /CHEMICAL CLEANING	<ol style="list-style-type: none"> 1. Biaya lebih murah 2. Dapat digunakan pada semua jenis pembangkit 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Air yang dicampur cairan kimia seperti NaOH dapat menjadi asam 2. Pengolahan air limbah harus ditreatment 3. Dapat terjadi Kebocoran air jika mengenai terpal yang berlubang
Grit Blasting/Sand Blasting	<ol style="list-style-type: none"> 1. Biaya murah 2. Dapat digunakan pada semua jenis pembangkit 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Sisa partikel/pasir yang menempel sulit dibersihkan 2. Material pipa terabrasi/ dapat terkikis
CO ₂ (dry ice) Blasting	<ol style="list-style-type: none"> 1. Metode pembersihan sangat efektif dan cepat 2. Ramah lingkungan 3. Tidak ada pengolahan limbah sisa pembersihan 4. Tidak menyebabkan abrasi material 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Biaya mahal 2. Harus mempunyai tenaga ahli yang berpengalaman (sub contractor)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari analisa yang telah dilakukan, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Korosi yang terjadi pada permukaan luar *tube* HRSG sangat dipengaruhi oleh siklus *on-off* pembangkit.
2. Saat HRSGs mati, penurunan suhu menyebabkan terjadinya *acid dew point* yang dapat menghasilkan asam sulfat (H_2SO_4) Sulfur berasal dari kandungan bahan bakar.
3. Kandungan sulfur yang cukup tinggi pada ruangan HRSGs dibuktikan dari hasil uji gas buang saat HRSGs beroperasi maupun analisa XRD pada sampel *fin tube* yang terkorosi.
4. Untuk mencegah korosi pada permukaan luar *tube* HRSGs, perlu dilakukan tindakan preservasi saat HRSGs akan dimatikan dalam jangka waktu yang cukup panjang.

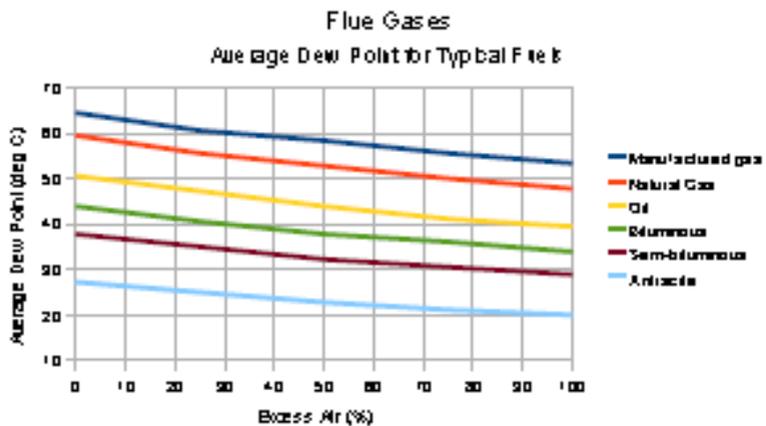
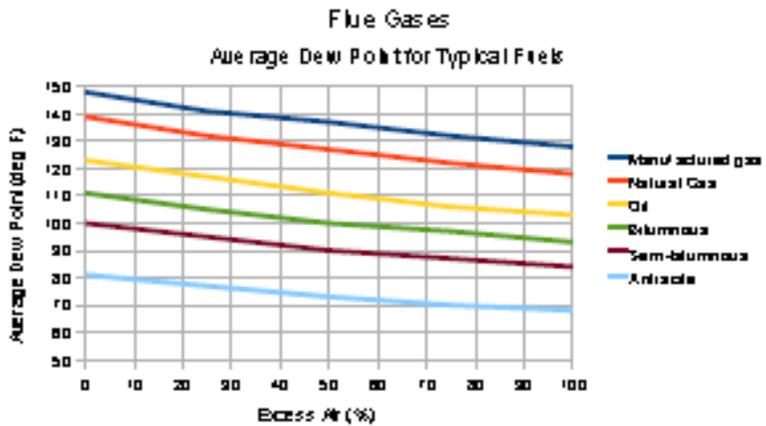
5.2 Saran

Beberapa hal yang dapat disarankan untuk pencegahan dan penanganan kerusakan *fin tube* HRSG adalah sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan pemulihan pada semua peralatan preservasi sesuai fungsinya.
2. Perlu ditambahkan alat dehumidifikasi udara pada ruangan HRSGs karena merupakan metoda preservasi yang ekonomis dan aman.

3. Pembersihan lebih sering dilakukan apabila HRSG menggunakan bahan bakar HSD karena kandungan sulfur yang cukup tinggi pada HSD.
4. Sebaiknya metode pembersihan *waterjet cleaning* bisa digantikan dengan metode *ice blasting*.
5. Penelitian berikutnya dapat menghitung optimasi biaya penambahan alat dehumidifikasi udara serta perbandingan metode pembersihan antara *waterjet cleaning* dengan *CO₂ blasting*.

LAMPIRAN 1

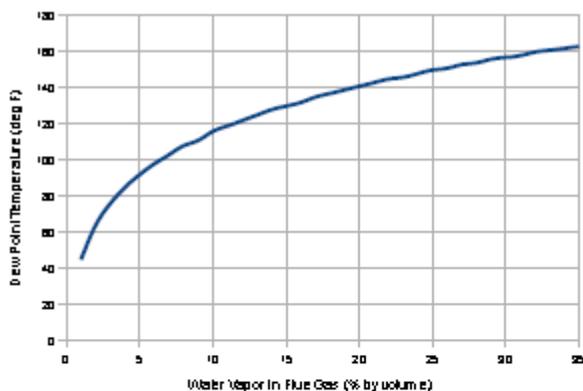


The Engineering ToolBox

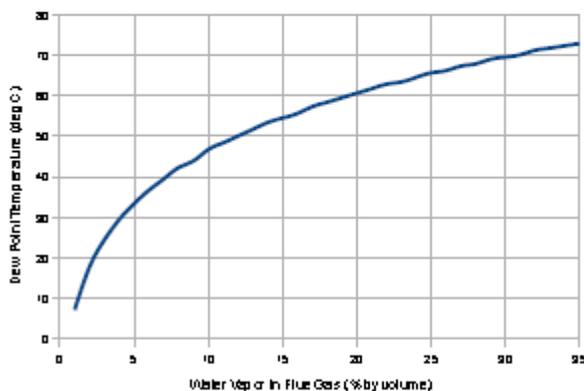
Engineering

www.EngineeringToolBox.com

Dew Point Temperature of Flue Gases



Dew Point Temperature of Flue Gases



The Engineering ToolBox

Software

www.EngineeringToolBox.com

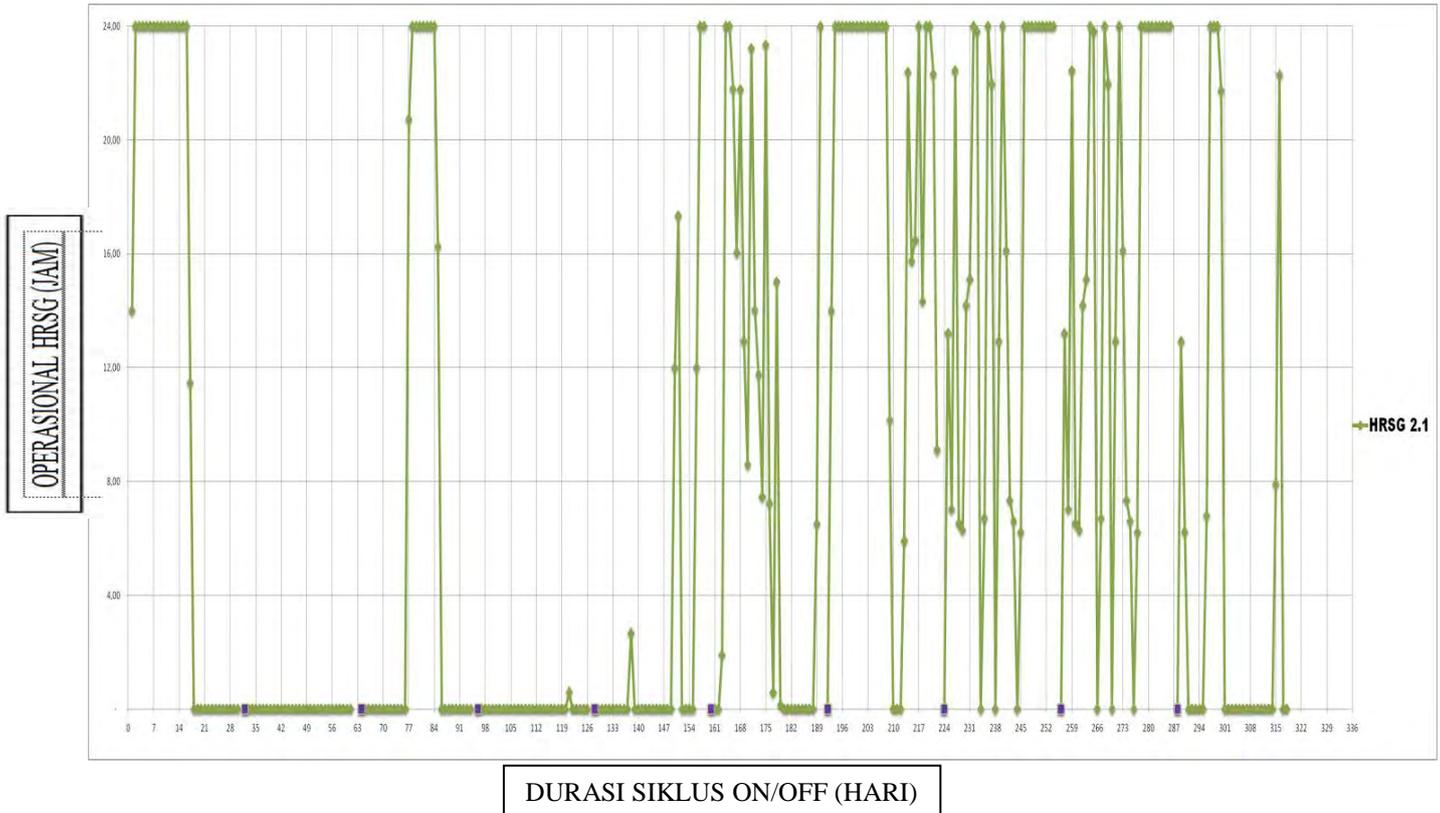


HSD (Patra Diesel)

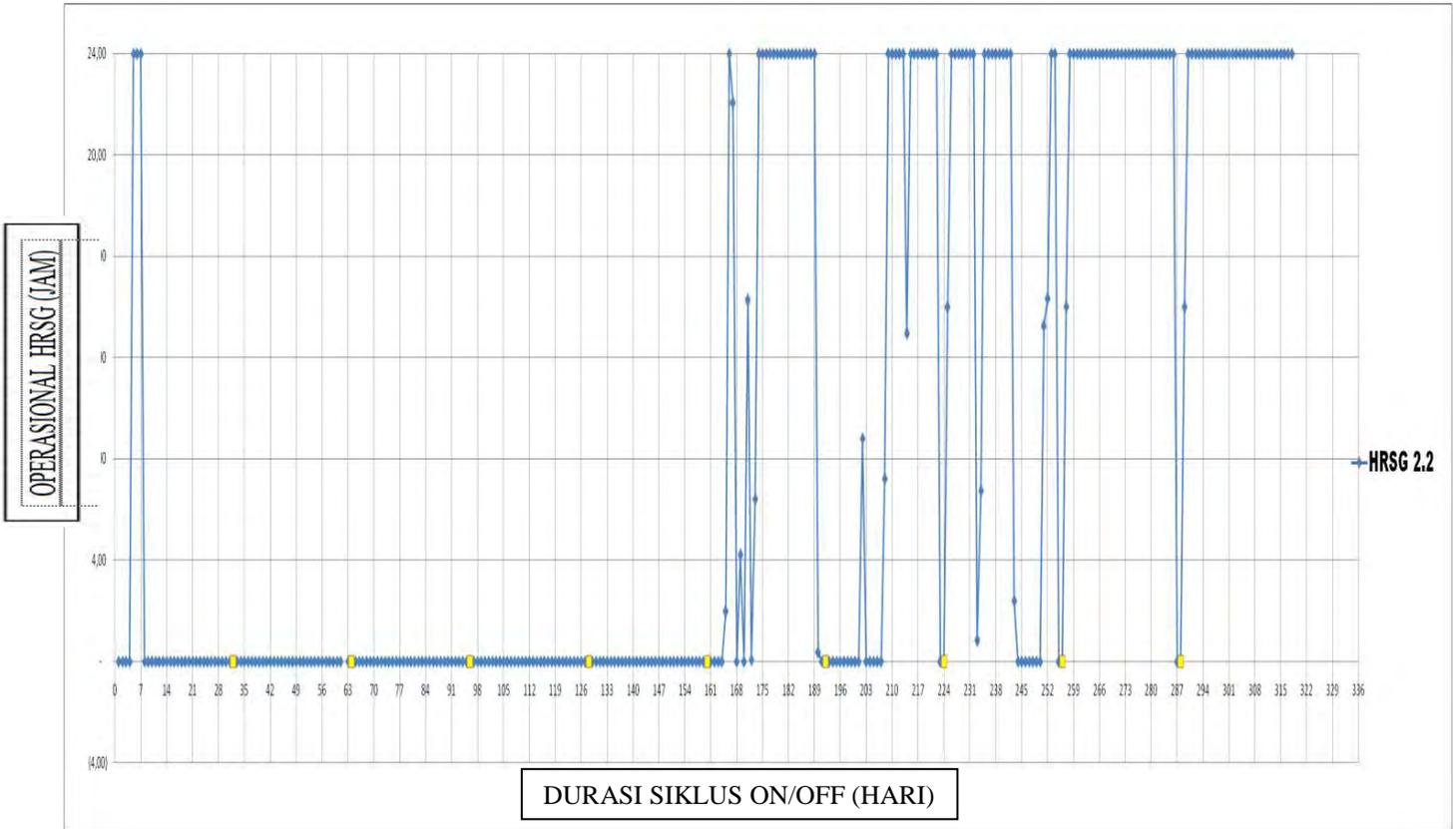
No	Karakteristik	Satuan	Batas		Risiko Uj	
			Min.	Max.	ASTM	Lain
1	Dibuat Dari:					
	- Aspal Gering rima	-	40	-	0 615 - 88	
	- Minyak Minyak	-	40	-	0 407 - 90	
2	Densitas (pada suhu 15 °C)	kg/m ³	815	820	0 228 atau 0 482-90	
3	Viskositas (pada suhu 40 °C)	mm ² /s	3,0	5,0	0 460 - 90	
4	Kandungan Sulfur	% m/m	-	0,25 ¹	0 232 - 98	
5	Distilat				0 90 / 90	
	T 95	%	-	170		
6	Tak Meleleh	%	68	-	0 22 - 99	
7	Tak Tumpah	%	-	10	0 41	
8	Residu Karbon	% m/m	-	0,1	0 450 - 90	
9	Kandungan Air	mg/kg	-	500	0 184 - 90	
10	Dibuat dari (part 1)	-	min			
11	Kandungan / Sulfur (%)	% Sulfur	-	81		
12	Kandungan Sulfur dan Sulfida (*)	% Sulfur	tak terdeteksi		0 4015	
13	Kandungan Tembaga	mg/l	-	1000	0 130 - 94	
14	Kandungan Abu	% m/m	-	0,05	0 402 - 95	
15	Kandungan Sulfida	% m/m	-	0,05	0 473	
16	Bilangan Keras Kar	mg / 100g	-	0	0 403	
17	Bilangan Lemak Total	mg / 100g	-	0,4	0 664	
18	Peroksidasi	mg / kg	-	-	0 2715 - 90	
19	Poliaromatik hidro	-	tidak terdeteksi			
20	Warna	He ASTM	-	0,0	0 1500	

LAMPIRAN 2

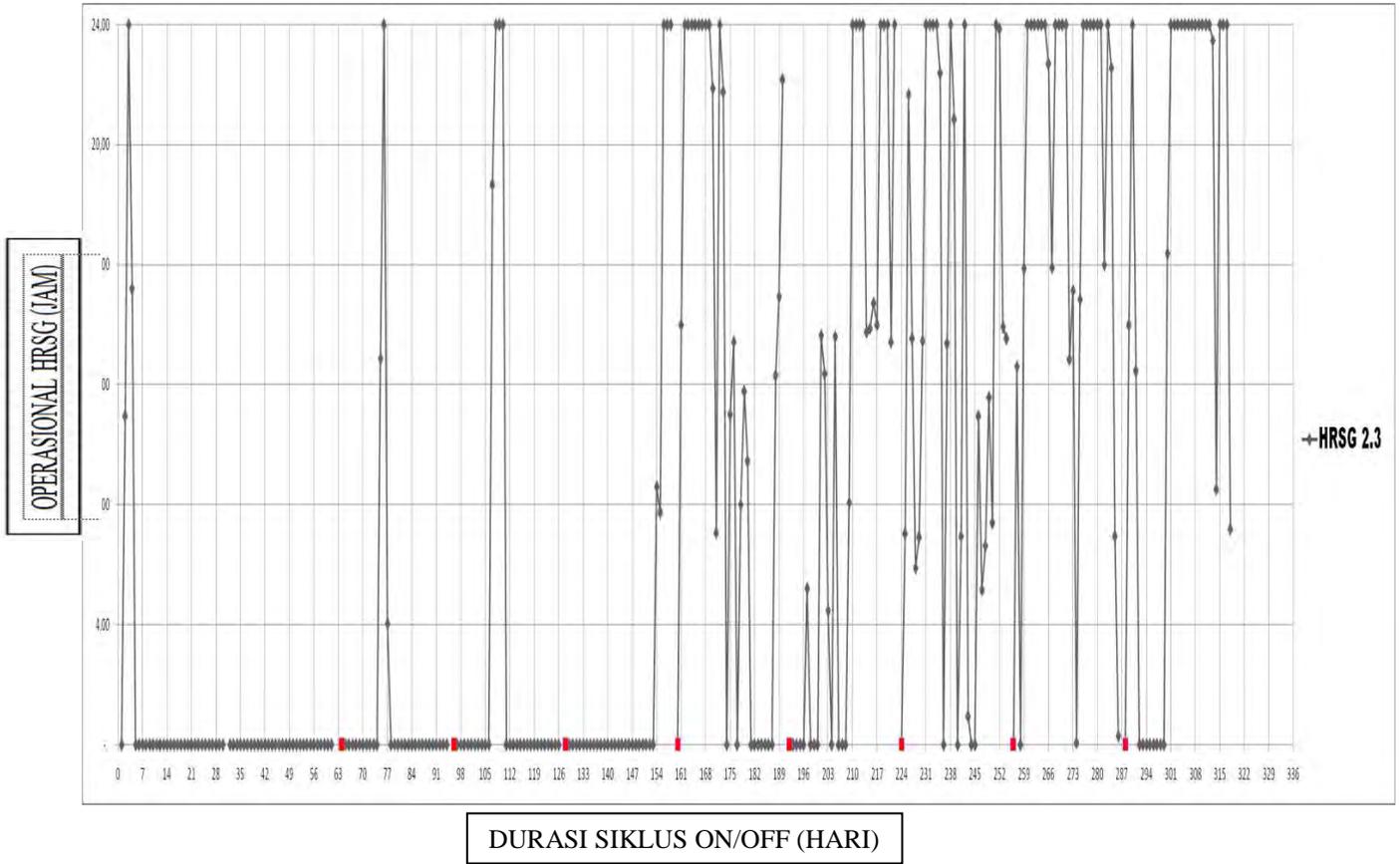
SIKLUS ON/OFF HRSG BLOK 2 TAHUN 2012



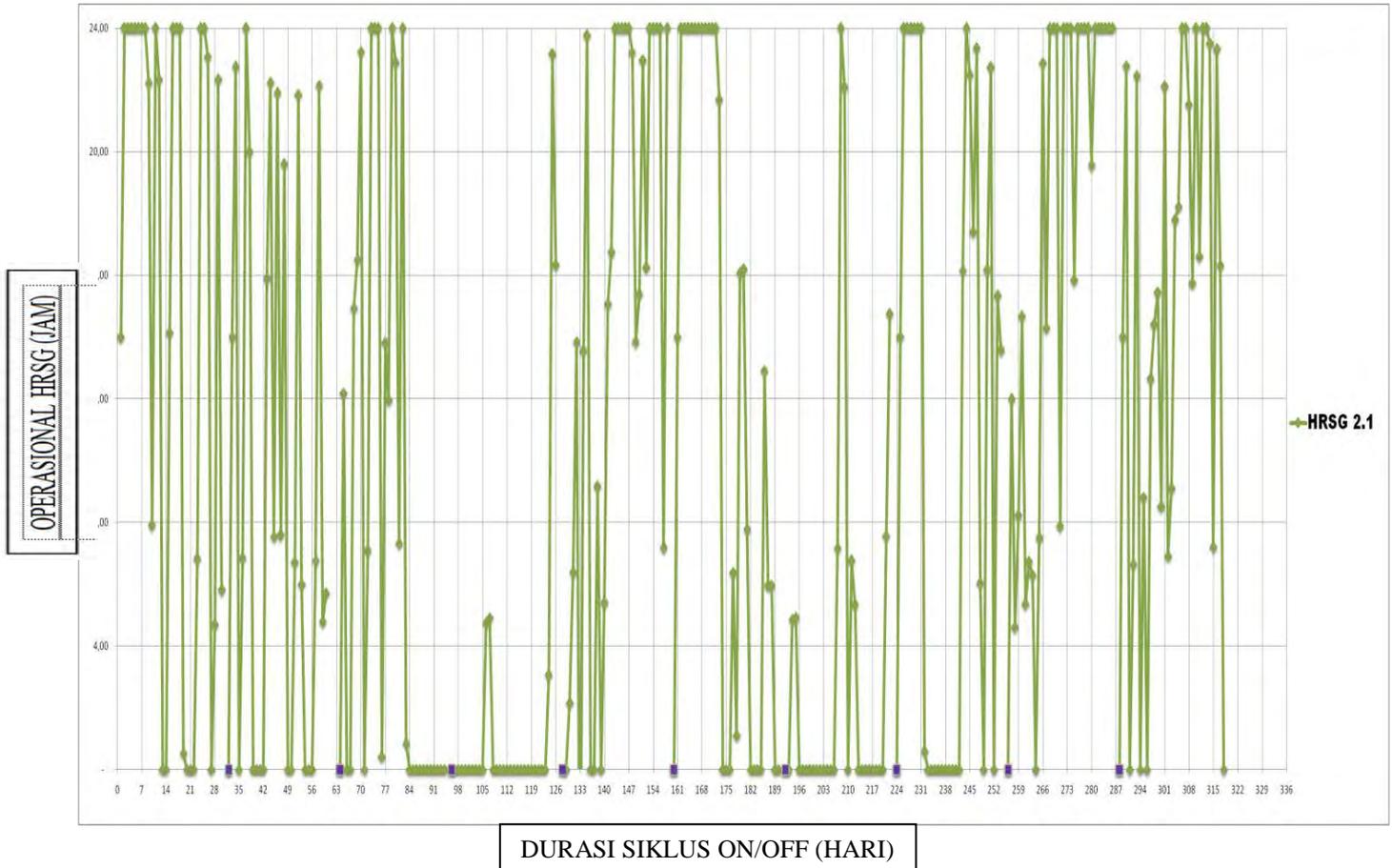
SIKLUS ON/OFF HRSG BLOK 2 TAHUN 2012



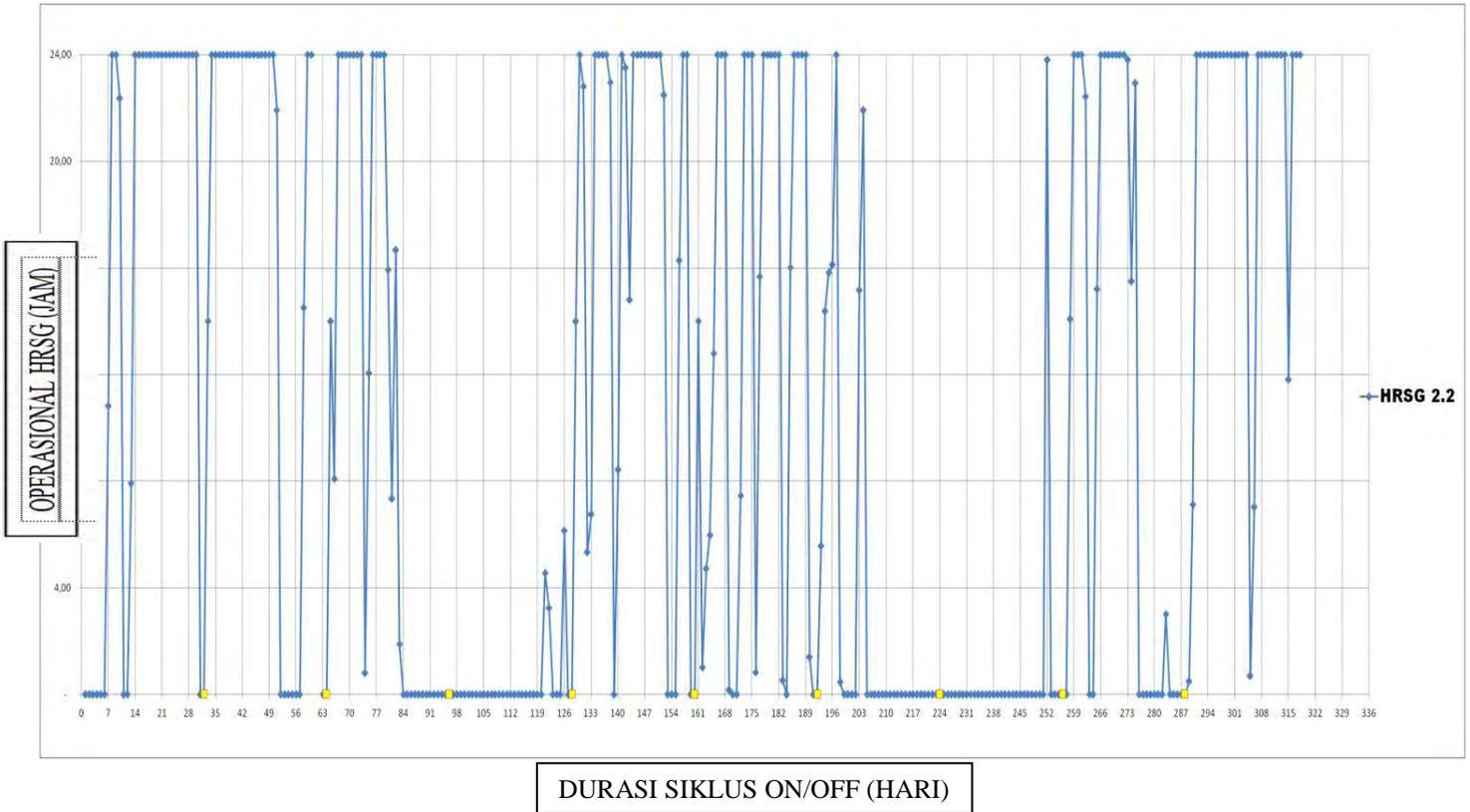
SIKLUS ON/OFF HRSG BLOK 2 TAHUN 2012



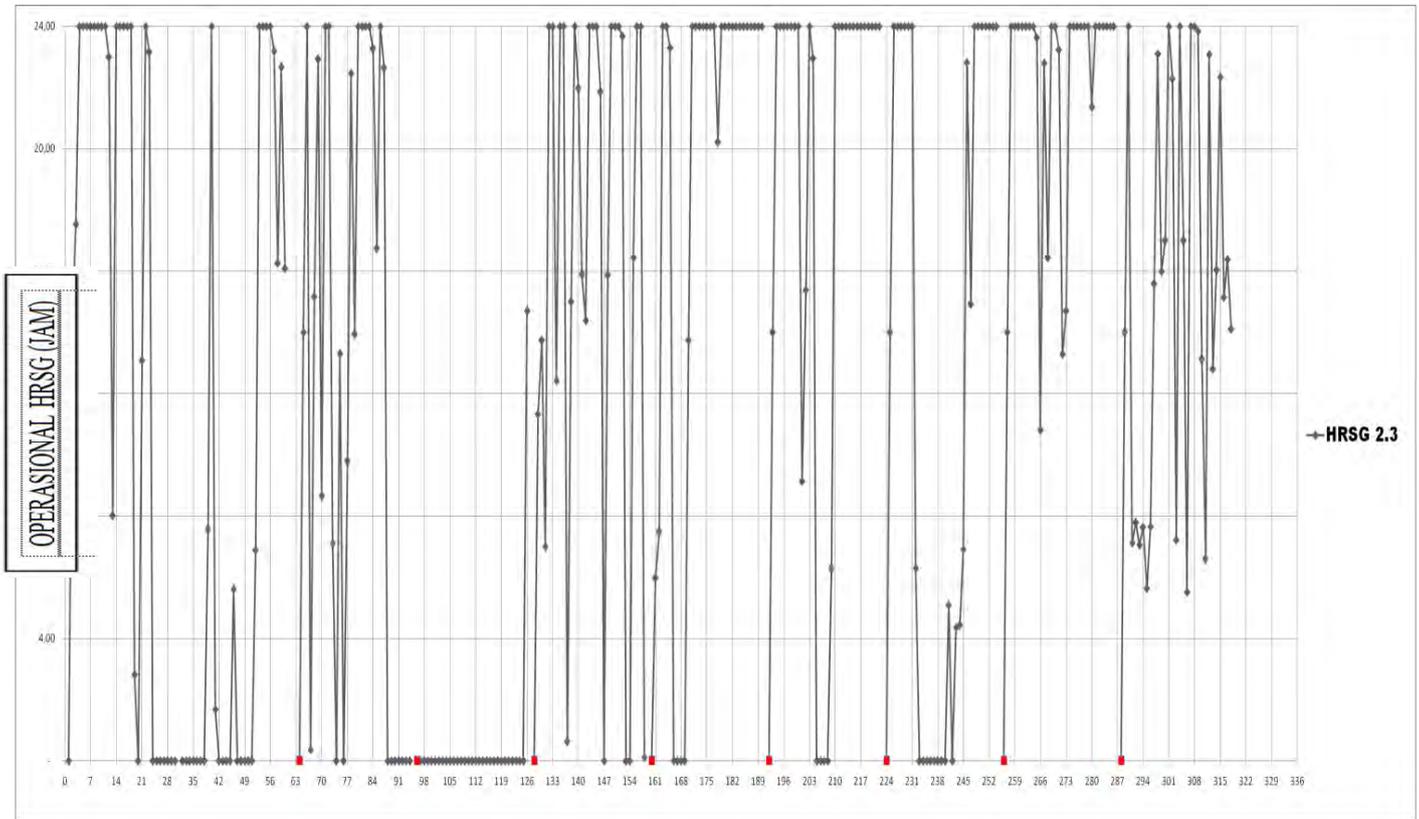
SIKLUS ON/OFF HRSG BLOK 2 TAHUN 2013



SIKLUS ON/OFF HRSG BLOK 2 TAHUN 2013

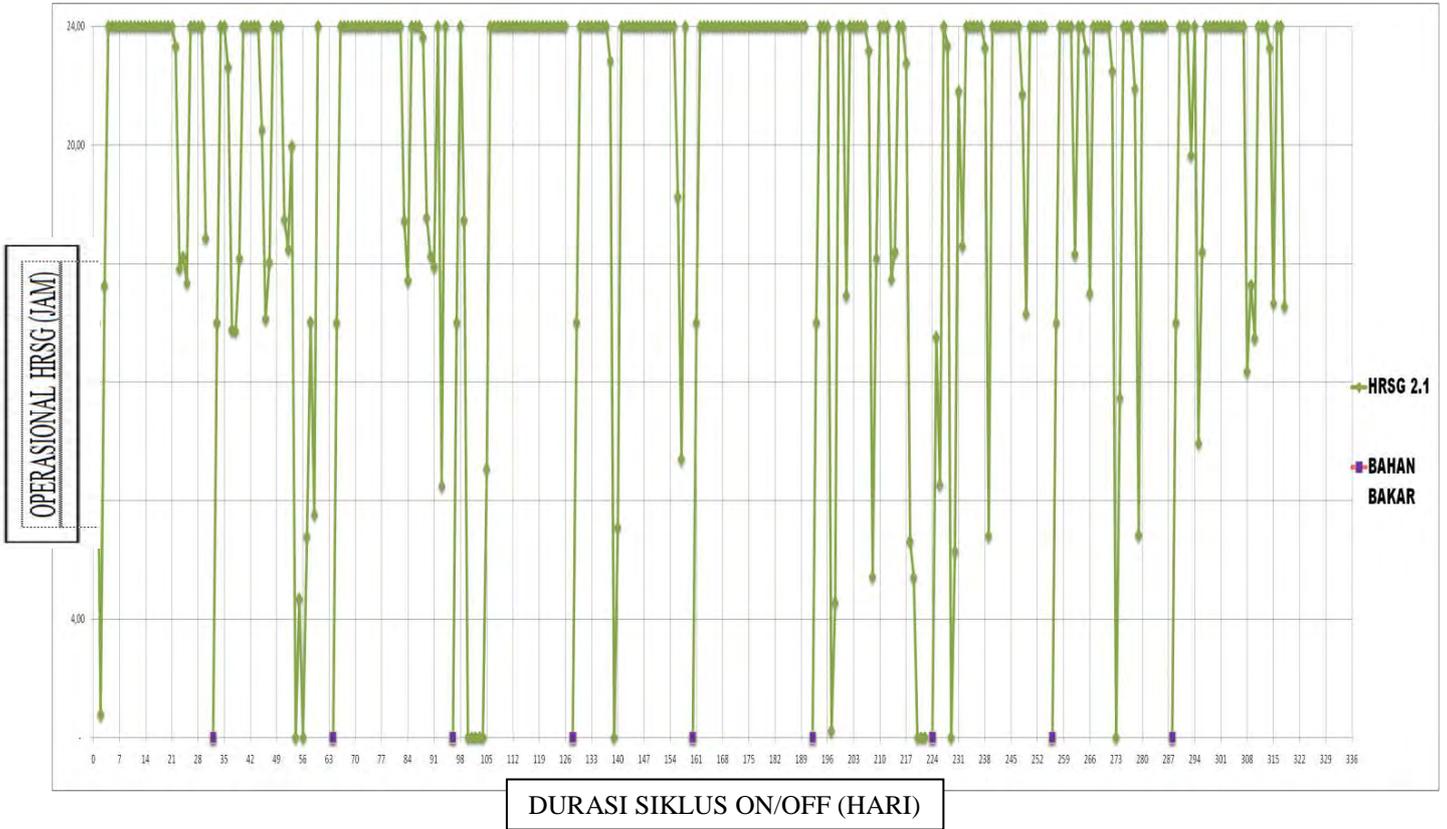


SIKLUS ON/OFF HRSG BLOK 2 TAHUN 2013

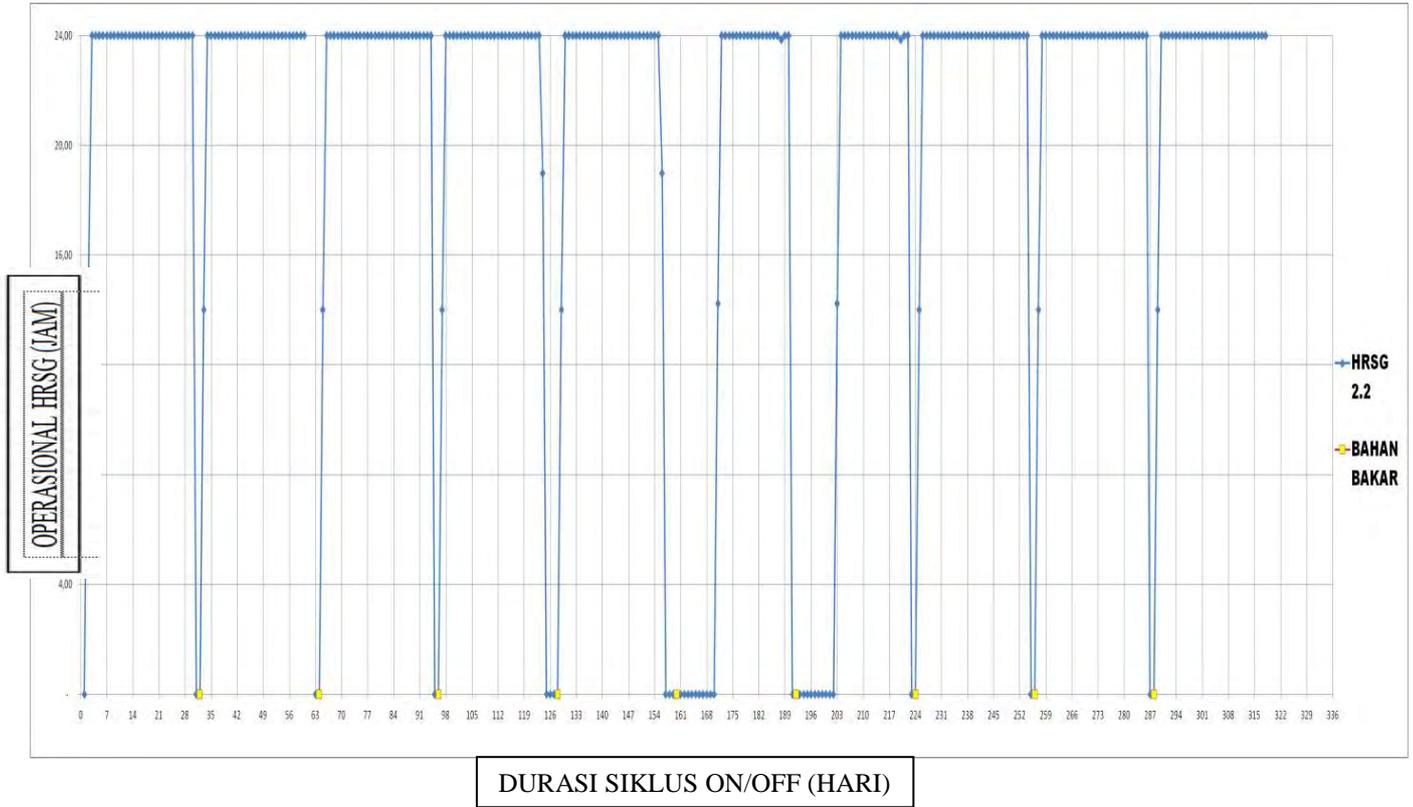


DURASI SIKLUS ON/OFF (HARI)

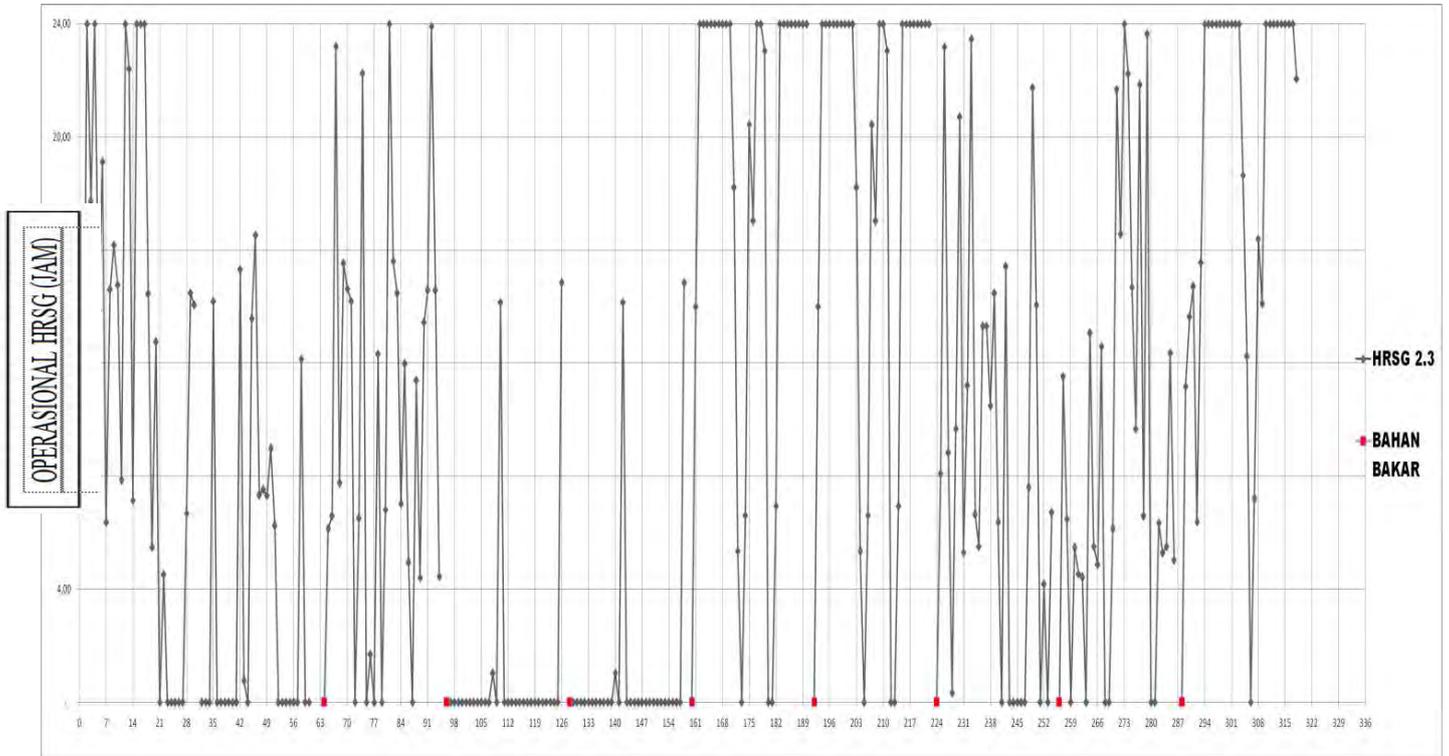
SIKLUS ON/OFF HRSG BLOK 2 TAHUN 2014



SIKLUS ON/OFF HRSG BLOK 2 TAHUN 2014



SIKLUS ON/OFF HRSG BLOK 2 TAHUN 2014



DURASI SIKLUS ON/OFF (HARI)

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Database PT.PJB UP Gresik Jawa Timur.
- [2] Hari Susanto, Hadid Durijal. 2009. **Mengenal dan Memahami Proses Operasi PLTGU Pengalaman Dari Gresik**. Jakarta: PT Lincang Pancar Semesta.
- [3] Jones, Denny A. 1992. **Principles and Prevention of Corrosion**. Singapore: Maxwell McMillan.
- [4] Fontana, Mars. 1986. **Corrosion Engineering, 3rd edition**. Houston: McGraw Hill.
- [5] GE Water Website.2014. **Preboiler and Boiler Corrosion**<URL:www.gewater.com/handbook/boiler_water_systems/ch_11_preboiler.jsp>
- [6] South Tek Sytems Manufacture of Nitrogen Generating Equipment. 2013. **Nitrogen gas generator systems**. Wilmington: NC.
- [7] Farhad, Amir, Reza. 2013. **Caustic Corrosion in a boiler waterside tube: Root Cause and mechanism**. Oxford UK: Elsevier Journal Engineering Failure Analyzis.
- [8] Chris Norton. 2015. **HRSG Gas-Side Cleaning**. USA: Combine Cycle Journal.
- [9] NASA. 2000. **Reliability Centered Maintenance Guide For Facilities And Collateral Equipement**. USA
- [10] S-TENTM Technical document 2015. **Sulfuric Acid and Hydrochloric Acid dew-point corrosion**. Tokyo: Nippon Steel & Sumitomo Metal corporation.
- [11] Wikipedia. 2015. **Pemahaman Gas Alam** <URL: https://id.wikipedia.org/wiki/Gas_alam>

- [12] D Stuart, Derek. 2014. **Acid Dewpoint temperature measurement and its use in estimating sulfur trioxide concentration.** Pittsburg PA: Ametek Process & Analytical
- [13] R. Leferink, W.M.M Huijbregts. 2006. **Latest advance in the understanding of acid Dewpoint corrosion.** ASM Handbook Volume 13C.
- [14] Scoot Wambake PE, Amy Sieben PE. 2008. **Layup strategies for maintenance outages.** USA: Combined Cycle Journal.
- [15] Pierre, R.Robeerge. 2008. **Corrosion Engineering Handbook.** NewYork: McGraw Hill.
- [16] Bavarian, Jia Zhang, Lisa Reiner. 2010. **Superior protection effectiveness of VpCI-337 as compared to Nitrogen Blanketing system.** California: Northridge California state University Document Research Center.
- [17] Muchlish, Kis Agustin.2011. **Analisa Kerusakan Plain Tube High Pressure Secondary Economizer HRSG 3.2 PLTGU PT.PJB UP Gresik ditinjau dari aspek Korosi.** Surabaya: Teknik Mesin-ITS.

BIODATA PENULIS

BAGUS ADI MP



Dilahirkan di Kota Surabaya pada tanggal 22 Mei 1989, merupakan anak tunggal. Penulis telah menempuh pendidikan formal diantaranya di SDN Kertajaya XII, SMP Negeri 12 Surabaya dan SMA 17 Agustus 45 Surabaya. Setelah lulus dari SMA Tahun 2007, penulis mengikuti seleksi penerimaan mahasiswa baru ITS jalur non SPMB dan diterima di program studi Diploma III Teknik Mesin ITS

Pada tahun 2011 penulis lulus dari Program D3 Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri ITS dan sempat bekerja selama 1,5 Tahun di Perusahaan Indomobil – Nissan. Kemudian penulis melanjutkan perkuliahan di program studi S1 Lintas jalur Teknik Mesin, FTI-ITS Surabaya tahun 2013. Diterima di Jurusan S1 Teknik Mesin, penulis mengambil bidang keahlian Sistim Manufaktur dan mengambil Tugas Akhir dibidang Perawatan dan Korosi pada *tube* HRSG PT.PJB UP Gresik.

Selama kuliah saat D3, penulis aktif mengikuti organisasi diantaranya menjadi Staff Bengkel Himpunan Mahasiswa D3 Teknik Mesin periode 2008-2009. Penulis sempat mengikuti beberapa pelatihan di ITS antara lain LKMM Pra-TD BEM FTI ITS, LKMM TD Himpunan Mahasiswa D3 Teknik Mesin, dan saat menempuh S1 pernah mengikuti *Young Engineers & Scientist SUMMIT* 2014.