



TUGAS AKHIR - TM145688

**ANALISIS UNJUK KERJA REGENERATIVE AIR HEATER
SISI A PLTU UNIT 3 PT. PJB UP GRESIK MENGGUNAKAN
STANDAR AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS
(ASME) PTC 4.3**

MUH. VISTA NURHASAN
NRP 2112 038 016

Dosen Pembimbing
Ir. Denny M.E. Soedjono, MT

PROGRAM STUDI DIPLOMA III KERJASAMA PT. PLN (PERSERO)
JURUSAN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015



FINAL PROJECT - TM145688

**PERFORMANCE ANALYSIS REGENERATIVE AIR HEATER
SIDE A PLTU UNIT 3 PT. PJB UP GRESIK USING AMERICAN
SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS (ASME) STANDARD
PTC 4.3**

MUH. VISTA NURHASAN
NRP 2112 038 016

Counsellor Lecture
Ir. Denny M.E. Soedjono, MT

DIPLOMA III PT. PLN (Persero) COOPERATION PROGRAM
MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2015

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISA UNJUK KERJA REGENERATIVE AIR HEATER SISI A PLTU UNIT 3 PT. PJB UP GRESIK MENGUNAKAN STANDAR AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS (ASME) PTC 4.3

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Ahli Madya
Pada
Bidang Studi Konversi Energi
Program Studi Diploma III Teknik Mesin
Kelas Kerjasama PT. PLN (Persero)
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

MUH. VISTA NURHASAN
NRP. 2112 038 016

Disetujui Dosen Pembimbing Tugas Akhir:



Ir. Denny M.E. Soediono, MT
NIP. 19570331 198803 1 001

SURABAYA, JULI 2015

**ANALISA UNJUK KERJA REGENERATIVE
AIR HEATER SISI A PLTU UNIT 3 PT. PJB UP GRESIK
MENGUNAKAN STANDAR AMERICAN SOCIETY OF
MECHANICAL ENGINEERS (ASME) PTC 4.3**

Nama Mahasiswa : Muh. Vista Nurhasan
NRP : 2112 038 016
Jurusan : D3 Teknik Mesin FTI-ITS
Kelas Kerjasama PT. PLN (Persero)
Dosen Pembimbing : Ir. Denny M.E. Soedjono, MT

Abstrak

Air heater pada sebuah pembangkit listrik tenaga uap merupakan peralatan yang harus diketahui efisiensinya guna mengetahui keadaannya. Parameter unjuk kerja yang digunakan adalah efisiensi dan kebocoran yang terjadi pada sisi gas buang. Unjuk kerja air heater seperti efisiensi dipastikan dapat berkurang seiring dengan masa pakai air heater, pemakaian bahan bakar pada boiler, pola pengoperasian dan pemeliharaan air heater, dan terjadinya penyumbatan pada elemen pemanas air heater. Selain itu perhitungan transfer panas juga dilakukan untuk mengetahui kemampuan transfer panas air heater.

Metode yang digunakan untuk menganalisa unjuk kerja air heater PLTU Unit 3 mengacu pada ASME PTC 4.3 dimana khusus untuk perhitungan unjuk kerja air heater. Hal ini tentunya dapat membantu menemukan efisiensi kondisi sekarang dan kondisi apabila keadaan “no-leakage” serta membantu menentukan unjuk kerja sebuah air heater yang berlaku secara internasional dan dapat digunakan sebagai acuan di PT. PJB UP Gresik. Dengan diketahuinya nilai efisiensi keadaan “no-leakage” maka dapat dilakukan upaya-upaya meminimalisir kebocoran pada sisi gas dan sisi udara air heater. Kemampuan transfer panas sebuah air heater sangat diperlukan untuk dijaga pada kondisi optimal sehingga terjadi perpindahan panas yang optimal dan diperoleh efisiensi yang tinggi.

Berdasarkan analisa dan perhitungan unjuk kerja air heater, air heater PLTU Unit 3 PT. PJB UP Gresik mengalami penurunan efisiensi 4.6% pada beban 160MW, dimana pada kondisi saat ini 81.3% dan pada saat kondisi “no-leakage” 85.9%. Faktor penurunan efisiensi tersebut disebabkan oleh penggunaan bahan bakar yang bagus yaitu Natural Gas (NG) dan pola pengoperasian serta pemeliharaan yang baik. Kemampuan transfer panas sebesar $133,462.948 \frac{kJ}{h}$.

Kata Kunci : air heater, efisiensi, heat transfer, kondisi saat ini dan kondisi no-leakage

**PERFORMANCE ANALYSIS REGENERATIVE
AIR HEATER SIDE A PLTU UNIT 3 PT. PJB UP GRESIK
USING AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL
ENGINEERS (ASME) STANDARD
PTC 4.3**

Name : Muh. Vista Nurhasan
ID No. : 2112 038 016
Department : D3 Mechanical Engineering FTI-ITS
Cooperation Class PT. PLN (Persero)
Counsellor Lecturer : Ir. Denny M.E. Soedjono, MT

Abstract

Air heater in a steam power electrical plant is equipment that should known efficiency for latest condition. Performance parameter that be used is efficiency and air leakage which may occur on outlet side gas. Performance of air heater like efficiency can be preconcerted reduce in a row by the lifetime, fuel in a boiler, operation and maintenance system, and plugging in a heating element of air heater. Beside that heat transfer calculation may needed to recognize the ability of heat transfer in an air heater.

ASME PTC 4.3 is the method that be used to analyze performance of air heater in PLTU Unit 3 Side A which used special to analyze air heater. In case certainly can assist to find air heater efficiency presently and air heater efficiency when “no-leakage” condition along determine air heater performance internationally so that can be used by PT. PJB UP Gresik in the future. Ability of heat transfer a heat exchanger is required to be maintained in optimal condition so that high optimal heat transfer and efficiency can be achieved.

Based on performance analysis and calculation of air heater, air heater PLTU Unit 3 PT. PJB UP Gresik sustain a decreasing efficiency in the amount of 4.6% when load approximately 160MW, where in present is 81.3% and when “no-leakage” condition is 85.9%. Decreasing of efficiency caused by

application of fuel that is Natural Gas (NG), operation and maintenance system is in good condition. Amount of heat transfer is $133,462.948 \frac{kJ}{h}$.

Keywords : air heater, efficiency, heat transfer, present condition and “no-leakage” condition

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas karunia dan kesempatan yang diberikanNya. Atas ijinNya, penulis akhirnya dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “Analisa Unjuk Kerja Regenerative Air Heater Sisi A PLTU Unit 3 PJB UP Gresik”.

Proses pengerjaan tugas akhir ini juga tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, baik secara langsung maupun tidak. Maka dari itu, pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang tulus dan sebesar-besarnya kepada semua pihak, khususnya:

1. Bapak Ir. Denny M.E Soedjono, MT, selaku dosen pembimbing penulis, yang selalu memberikan bimbingan, dukungan serta memotivasi selama masa perkuliahan di D3 Teknik Mesin ITS kerjasama PT. PLN (Persero).
2. Bapak Dedy Zulhidayat Noor, ST, MT, Ph.D, selaku dosen wali penulis yang telah memberikan support dalam hal teknis maupun non teknis selama masa perkuliahan di D3 Teknik Mesin ITS kerjasama PT. PLN (Persero)
3. Ibu dan Bapak tercinta, Zuntin Ferdiana dan Agus Widodo, SE, atas doa dan kasih sayangNya yang tulus serta memotivasi, semangat dan dukungan yang tiada henti sehingga dapat mengantarkan penulis untuk menyelesaikan masa studinya.
4. Adik-adikku tercinta, Yunia Ilya Fadlila dan Muh. Alif Abdillah, yang selalu memberikan doa, semangat, perhatian dan bantuan kepada penulis.
5. Segenap dosen dan karyawan D3 Teknik Mesin ITS atas ilmu dan pengalaman yang telah diberikan selama penulis menjalani masa studi di D3 Teknik Mesin ITS.
6. Saudara Sandy Ataroka yang sudah berjasa mendukung, memotivasi dan memberikan bantuan selama masa studi dan pembuatan Tugas Akhir ini.
7. Rekan muda-mudi Surabaya Tengah, muda-mudi desa Semampir, dan muda-mudi Semampir atas doa dan dukungannya.

8. Teman-teman seperjuangan D3K '12 ITS yang selalu memberikan bantuan, semangat, canda tawa serta kebersamaan selama masa perkuliahan.
9. Segenap teman-teman dekat penulis yang tidak dapat disebutkan namanya satu persatu. Terima kasih banyak atas perhatian kalian, karena telah ikut memberikan semangat serta menemani penulis selama proses pengerjaan tugas akhir ini.

Akhirnya penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam Tugas Akhir ini. Untuk itu penulis mengharapkan adanya kritik dan saran yang dapat menyempurnakan Tugas Akhir ini. Harapan penulis, semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Surabaya, 7 Juli 2015
Muh. Vista Nurhasan

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL (Indonesian)	i
HALAMAN JUDUL (English)	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK (Indonesian)	iv
ABSTRAK (English)	vi
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang Masalah	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Tujuan Penulisan	3
1.4. Manfaat	3
1.5. Batasan Masalah.....	4
1.6. Metode Penulisan	4
1.7. Sistematika Penulisan.....	5
BAB II DASAR TEORI	7
2.1. Definisi Air heater	7
2.2. Tipe-tipe Air Heater	9
2.2.1. Regenerative Air Heater	9
2.2.2. Tubular type	15
2.2.3. Regenerator	17
2.3. Spesifikasi Teknik Air heater PLTU Unit 3 PT. PJB UP Gresik.....	19
2.4. Komponen Air heater	23
2.4.1. Heating Elemen	23
2.4.2. Sealing System	26
2.4.3. Forced Draft Fan (FD Fan).....	29
2.5. Cara Kerja Air heater	30
2.6. Komponen Pendukung Air heater	32
2.7. Proses Pengeoperasian Air heater	34

2.8. Maintenance Air heater	36
2.9. Evaluasi Unjuk Kerja Air heater	38
2.9.1. Estimasi Kebocoran Air heater (Air Leakage)	38
2.9.2. Gas Side Efficiency (GSE)	43
2.9.3. Capacity Rate Ratio (CR)	43
2.9.4. Log Mean Temperature Difference (LMTD)	44
2.9.5. Efisiensi Air heater	45
2.9.6. Faktor Koreksi Air heater	47
2.10. Heat Transfer Air Heater	50
BAB III METODOLOGI PENULISAN	51
3.1. Flowchart Pengerjaan Tugas Akhir	51
3.2. Penjelasan Flowchart Pengerjaan Tugas Akhir ...	52
3.2.1. Tahap Identifikasi	52
3.2.2. Tahap Pengumpulan Data dan Analisa	53
3.2.3. Tahap Pemberian Kesimpulan dan Saran ...	54
3.3. Flowchart Perhitungan	54
3.4. Penjelasan Flowchart Perhitungan	55
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN	57
4.1. Data Operasi Air Heater pada Beban 160MW di PLTU Unit 3 PT. PJB UP Gresik	57
4.2. Analisa Kondisi Operasi Air heater pada Beban 160MW di PLTU Unit 3 PT. PJB UP Gresik	60
4.2.1. Perhitungan Efisiensi Air Heater Menggunakan Flue Gas Metering	60
4.2.2. Perhitungan Koreksi Temperatur Gas Outlet untuk Kondisi Tanpa Kebocoran	61
4.2.3. Perhitungan Efisiensi Sisi Gas (Gas Side Efficiency/GSE)	64
4.2.4. Perhitungan Capacity Rate Ratio (CR)	64
4.2.5. Perhitungan Log Mean Temperature Difference (LMTD)	65
4.2.6. Perhitungan Koreksi Inlet Air Temperature	66

4.2.7.Perhitungan Koreksi Inlet Gas Temperature	66
4.2.8.Perhitungan Koreksi Capacity Rate (CR) ..	67
4.2.9.Perhitungan Ulang Efisiensi dengan Koreksi	68
4.2.10.Perhitungan Heat Transfer	69
4.3. Pembahasan Unjuk Kerja Regenerative Air Heater PLTU Unit 3 PT. PJB UP Gresik	71
BAB V PENUTUP.....	73
5.1. Kesimpulan	73
5.2. Saran.....	74
DAFTAR PUSTAKA	xx
LAMPIRAN.....	77
BIODATA PENULIS.....	78

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

Tabel 1	Data Temperatur Air heater PLTU Unit 3 PT. PJB UP Gresik (160MW) bulan Februari 2015.....	57
Tabel 2	Data Analisis Flue Gas Boiler Unit 3 (160MW) Sisi Keluaran Economizer.....	58
Tabel 3	Data Analisis Flue Gas Boiler Unit 3 (160MW) Sisi Keluaran Air Heater.....	58
Tabel 4	Data Pendukung untuk Analisa Unjuk Kerja Air Heater PLTU Unit 3 PT. PJB UP Gresik.....	59
Tabel 5	Data Temperatur Desain Awal Air Heater PLTU Unit 3 PT. PJB UP Gresik.....	59
Tabel 6	Interpolasi Nilai Cpa.....	62
Tabel 7	Tabel Efisiensi Setelah Koreksi Temperatur Gas Outlet	69

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1	Aliran Udara Air heater	8
Gambar 2	Skema Air Heater dengan SCAH	8
Gambar 3	Tipe Air heater	9
Gambar 4	Regenerative Air heater	10
Gambar 5	Tri-sector Air heater dan Komponennya	12
Gambar 6	Bi-sector dan Tri-sector Air heater	14
Gambar 7	Stationary-plate Regenerative Air heater	15
Gambar 8	Skema Arah Aliran Tubular Type	16
Gambar 9	Tubulat type Air heater	16
Gambar 10	Hot Blast Furnace	18
Gambar 11	Glass-melting Furnace	19
Gambar 12	Heating Element	24
Gambar 13	Pembagian Layer Air heater	24
Gambar 14	FNC Element Profile	25
Gambar 15	DU Element Profile	25
Gambar 16	NP Element Profile	25
Gambar 17	CU Element Profile	26
Gambar 18	Jenis Seal Air heater	27
Gambar 19	Radial Seal Air heater	28
Gambar 20	Posisi Radial Seal	28
Gambar 21	Axial Seal Air heater	28
Gambar 22	Circumferential Seal Air heater	29
Gambar 23	Forced Draft Fan PLTU Unit 3A	30
Gambar 24	Ljungström Air heater	31
Gambar 25	Motor Listrik Air heater PLTU Unit 3A	32
Gambar 26	Pengaruh Kebocoran APH pada Heat Rate Unit dan Beban Pembangkitan	39
Gambar 27	Pengaruh Kebocoran Air heater terhadap Heat Rate Pembangkitan untuk jenis Bi-sector dan Tri-sector	40
Gambar 28	Pengaruh pada Aliran Flue Gas disebabkan oleh Perubahan Air heater	42
Gambar 29	Konsentrasi CO ₂ pada Flue Gas Menurun ketika Kebocoran APH Meningkat	42
Gambar 30	Perfoma Air heater Tipikal Kondisi Design dan Test	46

Gambar 31	Faktor Koreksi Capacity Rate berdasarkan ASME PTC 4.3	50
Gambar 32	Flowchart Pengerjaan Tugas Akhir.....	52
Gambar 33	Flowchart Perhitungan	55
Gambar 34	Grafik Cpg Flue Gas	63

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Skema PLTU Unit 3 dan 4.....	76
Lampiran 2	Flue Gas Analysis PLTU Unit 3 dan 4	77
Lampiran 3	Air Heater Temperature PLTU Unit 3 dan 4	78
Lampiran 4	Spesifikasi Air Heater Ljungstrom PLTU Unit 3 ...	89
Lampiran 5	Thermophysical Properties of Gases at Atmospheric Pressure	90

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Energi listrik merupakan kebutuhan vital yang menentukan majunya perekonomian dan teknologi di suatu negara. Hampir setiap aktifitas manusia membutuhkan listrik. Apalagi, dengan adanya revolusi industri dan modernisasi yang menjadikan kebutuhan manusia akan teknologi semakin tinggi. Tidak heran jika pada akhirnya industri listrik menjadi *public utility* yang cukup vital. Tidak seimbang pasokan energi listrik yang tersedia dengan listrik yang dibutuhkan masyarakat menjadi tantangan tersendiri bagi pemerintah untuk menjaga kestabilan energi listrik itu sendiri. Untuk menjaga kestabilan energi ke seluruh wilayah Nusantara, dibutuhkan peralatan pembangkitan yang tidak sekedar mumpuni namun juga handal sehingga dapat beroperasi secara terus menerus dan optimal.

Untuk membangkitkan energi listrik dibutuhkan sebuah pembangkitan yang handal, misalnya pembangkitan termis. Menurut sumber data dari Wikipedia, disebutkan bahwa PT. PJB memiliki 6 (enam) unit pembangkitan (UP) yang tersebar di Jawa Timur, Jawa Barat, dan DKI Jakarta, yaitu UP Gresik, UP Paiton, UP Muara Karang, UP Muara Tawar, UP Cirata dan UP Brantas. Salah satu Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap terbesar adalah UP Gresik yang memiliki total daya terpasang 2.218 MW. Berkaitan dengan kehandalan dalam menghasilkan energi listrik, UP Gresik mengoperasikan 3 blok unit PLTGU, 4 blok unit PLTU, dan 2 blok unit PLTG dimana terdapat elemen penting untuk merubah air yang sudah melewati tahap *water treatment* menjadi uap (steam) yaitu Boiler. Demi tercapainya efisiensi boiler yang tinggi, UP Gresik menerapkan beberapa teknologi seperti penggunaan air heater untuk udara masuk ke dalam boiler. Dimana tujuan utama penggunaan air heater untuk meningkatkan efisiensi

thermal dari proses pembakaran dalam boiler. Tujuan dari penggunaan air heater untuk mendapatkan kembali panas dari *flue gas* boiler yang dapat menaikkan efisiensi thermal dari boiler dengan mengurangi kehilangan panas yang masih bermanfaat pada sisi *flue gas*. Sebagai konsekuensinya, *flue gas* juga dipindahkan ke cerobong (*stack/chimney*) pada temperatur yang lebih rendah, memungkinkan desain yang lebih sederhana dari sistem perpindahan dan cerobong. Ini juga mengizinkan sebuah pembangkitan untuk mengendalikan udara yang keluar dari cerobong untuk memenuhi peraturan emisi gas yang diperbolehkan. Pemanasan udara pembakaran dapat menaikkan efisiensi boiler hingga 1% untuk setiap kenaikan temperatur 22°C. Sehingga betapa pentingnya peranan air heater dalam sistem pembangkitan energi listrik, maka unjuk kerja dan keandalan air heater mutlak untuk dijaga.

Seperti halnya air heater pada PLTU Unit 3 PT. PJB UP Gresik, yang merupakan peralatan penunjang utama dalam menyuplai aliran udara ke boiler di unit pembangkitan tersebut. Parameter unjuk kerja air heater seperti efisiensi tentunya akan menurun seiring dengan berjalannya waktu yang diakibatkan karena *lifetime* dari mesin, pengaruh pengoperasian, dan pemeliharaan *air heater* tersebut serta pengaruh banyaknya kebocoran (*leakage*) pada air heater.

Oleh karena itu, pada tugas akhir ini penulis akan melakukan analisa unjuk kerja air heater unit 3 PT. PJB UP Gresik dengan melakukan perhitungan *air leakage*, efisiensi (*thermal effectiveness & gas-side efficiency*), serta besarnya perpindahan panas dari air heater. Sehingga dengan adanya analisa unjuk kerja ini dapat diketahui apakah kinerja dari air heater masih dalam keadaan baik atau tidak. Selain itu dapat diketahui pula kebocoran udara pada air heater, faktor-faktor yang mempengaruhi efisiensi air heater serta analisa pemecahan masalahnya yang bertujuan untuk mengurangi kebocoran udara tersebut dan

mengetahui langkah solutif untuk perbaikan efisiensi air heater PLTU Unit 3 PT. PJB UP Gresik.

1.2. Rumusan Masalah

Batasan masalah yang diangkat pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Berapa nilai efisiensi pada regenerative air heater sisi A PLTU Unit 3 PJB UP Gresik?
2. Berapa persen kebocoran (*leakage*) yang terjadi pada regenerative air heater sisi A PLTU Unit 3 PJB UP Gresik?
3. Berapa nilai perpindahan panas yang terjadi pada pada regenerative air heater sisi A PLTU Unit 3 PJB UP Gresik?

1.3. Tujuan Penulisan

Tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah:

1. Mengetahui nilai efisiensi pada regenerative air heater sisi A PLTU Unit 3 PJB UP Gresik
2. Mengetahui persentase kebocoran (*leakage*) yang terjadi pada regenerative air heater sisi A PLTU Unit 3 PJB UP Gresik
3. Mengetahui nilai perpindahan panas yang terjadi pada regenerative air heater sisi A PLTU Unit 3 PJB UP Gresik

1.4. Manfaat

Dengan terselesaikannya penulisan tugas akhir ini, penulis mengharapkan tugas akhir ini dapat menjadi bahan referensi bagi kita semua dalam hal inovasi, khususnya dalam hal mengatasi kebocoran air heater serta mampu mencari kesempatan untuk meningkatkan efisiensi dari air heater.

1.5. Batasan Masalah

Agar permasalahan tidak terlalu meluas, maka penulis memberikan batasan-batasan sebagai berikut:

1. Data didapat dari hasil rekapitulasi operasi yang direkap oleh bagian Rencana dan Pengendalian (Rendal) OP PT. PJB UP Gresik untuk PLTU Unit 3 pada bulan Februari 2015.
2. Data spesifikasi Air heater Unit 3 PT. PJB UP Gresik didapat dari dokumen “Instruction Manual Air heater” oleh Ishikawajima-Harima Heavy Industries, Co., Ltd. Tahun 2007.
3. Air heater dioperasikan saat boiler menggunakan Natural Gas sebagai bahan bakarnya (tidak ada jelaga/kerak yang terbentuk akibat kandungan sulfur).
4. Unjuk kerja air heater yang dianalisa adalah air leakage dan efisiensi menggunakan metode *per cent volume* dari O₂, yang mengacu pada *Standard ASME (American Society of Mechanical Engineers) PTC 4.3 Performance Test Code for Air Heaters*.
5. Perhitungan Kebocoran (*Air Leakage*) dan Efektivitas didasarkan pada standar ASME PTC 4.3.
6. Analisa perhitungan kondisi operasi sekarang (Februari 2015) pada air heater sisi A PLTU Unit 3 PT. PJB UP Gresik dengan beban $\pm 160\text{MW}$.
7. Data-data lain yang diperlukan dalam analisis dan perhitungan diambil sesuai dengan literatur yang relevan.

1.6. Metode Penulisan

Metode penulisan analisis unjuk kerja air heater pada PLTU Unit 3 PT. PJB UP Gresik adalah sebagai berikut:

1. Studi Literatur

Untuk menambah wawasan perlu studi literatur dengan mempelajari buku-buku tentang air heater, perpindahan panas dan jurnal ilmiah yang berhubungan dengan masalah yang dihadapi.

2. **Konsultasi dengan Dosen Pembimbing dan Mentor**
Dalam penulisan tugas akhir ini selalu mengadakan konsultasi dengan dosen pembimbing dari D3 Teknik Mesin ITS dan juga Mentor dari PT. PJB UP Gresik.
3. **Observasi Data**
Melakukan observasi data-data melalui hasil pengamatan langsung melalui bagian RENTAL OP PLTU Unit 3 PT. PJB UP Gresik dan media internet.
4. **Analisa Data**
Menghitung efisiensi dengan menggunakan buku-buku pedoman serta standar acuan ASME PTC 4.3, menganalisa faktor-faktor yang mempengaruhi efisiensi air heater, faktor-faktor kebocoran dan mengetahui cara pemecahan masalahnya.
5. **Membuat Kesimpulan**
Setelah menyelesaikan penulisan tugas akhir, maka dapat diambil kesimpulan mengenai hasil dari analisa tersebut.

1.7. Sistematika Penulisan

Laporan tugas akhir ini terdiri dari 5 bab, berdasarkan penulisan-penulisan tertentu, yang diharapkan agar pembaca lebih mudah dalam memahaminya. Sistematika penulisan adalah sebagai berikut:

1. **BAB I PENDAHULUAN**
Pada bab ini berisikan tentang Latar Belakang Masalah, Rumusan Masalah, Tujuan Penulisan, Manfaat, Batasan Masalah, Metode Penulisan, dan Sistematika Penulisan.
2. **BAB II DASAR TEORI**
Pada bab ini berisikan tentang teori yang mendasari penyusunan laporan tugas akhir secara umum yang berhubungan dengan air heater dan sistem kerjanya, alat bantu pada air heater, dan unjuk kerja air heater.
3. **BAB III METODOLOGI**
Pada bab ini berisikan tentang tahapan dalam pengerjaan tugas akhir dan tahapan dalam melakukan

perhitungan-perhitungan yang dibutuhkan untuk mendapatkan unjuk kerja air heater.

4. BAB IV PERHITUNGAN DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini berisikan tentang perhitungan unjuk kerja air heater sisi A PLTU Unit 3 PT. PJB UP Gresik dengan beban $\pm 160\text{MW}$, pembahasan unjuk kerja air heater mengenai efisiensi dan kebocoran, serta analisa pemecahan masalah terhadap kebocoran yang terjadi pada air heater.

5. BAB V PENUTUP

Pada bab ini berisikan tentang kesimpulan dari penyusunan tugas akhir dan saran untuk PT. PJB UP Gresik serta untuk penelitian selanjutnya.

BAB II

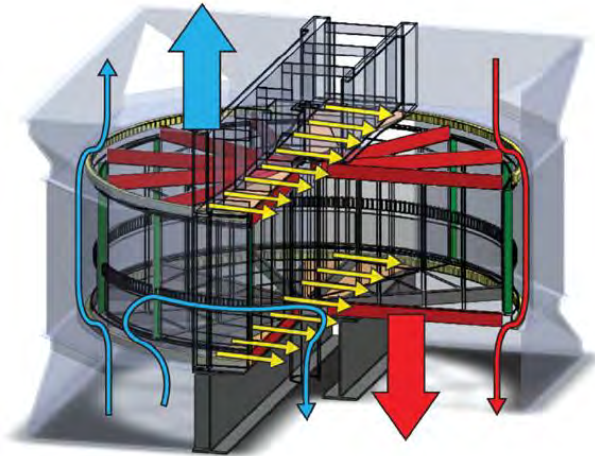
DASAR TEORI

Pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) adalah salah satu sumber energi utama di Indonesia, PLTU digolongkan sebagai pembangkit thermal yang mengubah energi kimia dalam bahan bakar menjadi energi listrik. Bahan bakar PLTU dapat berupa bahan bakar padat (batubara), cair (BBM) serta gas (Natural Gas). Untuk menghasilkan efisiensi yang cukup tinggi dalam pengoperasian PLTU, dibutuhkan beberapa alat penunjang yang dapat memperoleh kembali panas gas buang yang keluar dari boiler, yaitu dengan menggunakan Air heater.

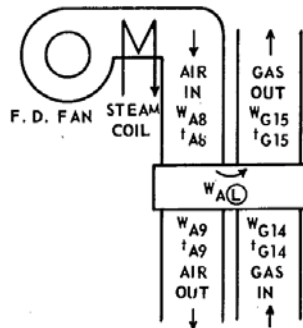
2.1. Definisi Air Heater

Air heater adalah sebuah alat penukar kalor (*heat exchanger*) dimana udara sekitar dinaikkan temperaturnya dengan mentransferkan panas dari fluida lainnya yaitu *flue gas*. Sejak air heater dapat digunakan dengan sukses untuk memperoleh kembali panas dari *flue gas* pada level temperatur yang lebih rendah dari yang dapat dilakukan oleh economizer, panas yang dikeluarkan ke cerobong dapat diminimalisir dalam jumlah yang sangat besar hingga diperoleh efisiensi boiler yang lebih tinggi. Setiap penurunan temperatur 20°C pada sisi temperatur keluaran flue gas, efisiensi boiler meningkat berkisar 1% juga diikuti penurunan CO₂ pada gas buang di cerobong. Tambahan lagi selain untuk meningkatkan efisiensi boiler, keuntungan lain yang didapat bila menggunakan air heater adalah: stabilitas pembakaran meningkat dengan menggunakan udara panas, meningkatkan dan memperbaiki proses pembakaran, membakar bahan bakar dengan kualitas rendah secara efisien, nilai *heat transfer rate* tinggi di dalam boiler, oleh sebab itu kebutuhan luas perpindahan panas lebih sedikit, lebih sedikit bahan bakar yang tidak terbakar sehingga pembakaran sempurna dapat dicapai, izin pembakaran meningkat, dan variasi beban lebih cepat.

Bahkan batubara kualitas rendah sekalipun dapat dibakar secara efisien dengan udara panas supply dari air heater. Perhitungan sederhana untuk perpindahan panas antara produk hasil pembakaran dan material padat di sisi satu dan udara dingin dan bagian solid di sisi lain, dapat digunakan untuk memperkirakan kinerja air heater dengan cukup baik.



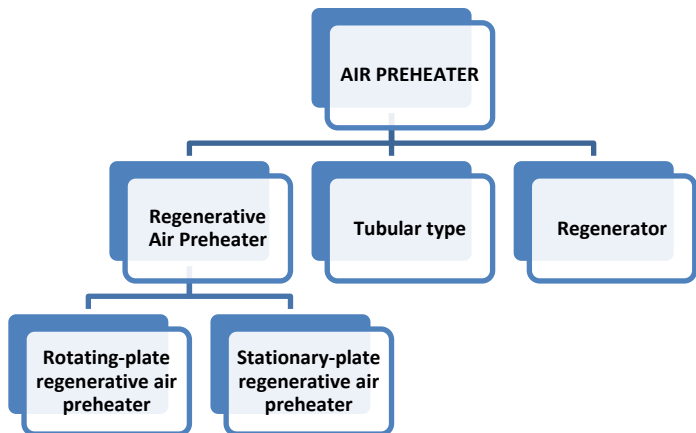
Gambar 1 Aliran Udara Air heater
(Sumber: Air Preheater Powermag, 2010)



**PLAN 5 AIR HEATER WITH
SUPPLEMENTARY STEAM COILS**
Gambar 2 Skema Air Heater dengan SCAH
(Sumber: ASME PTC 4.3, 1968)

2.2. Tipe-tipe Air Heater

Ada tiga jenis alat pra-pemanasan udara (*air heater/APH*) yang biasa digunakan dalam pembangkit tenaga uap thermal, yang pertama adalah tipe tubular (*tubular type*) yang dibuat ke *ducting boiler flue gas* dan yang kedua adalah pra-pemanasan udara regeneratif (*regenerative air heater*). *Regenerative air heater* ini dapat mengatur arah aliran secara horizontal atau vertikal melintang dari arah rotasi. Sedangkan tipe air heater yang terakhir yaitu tipe regenerator.



Gambar 3 Tipe Air heater

(Sumber: PJB Power Plant Academy, 2012)

2.2.1. Regenerative Air Heater

Sebuah *air heater* tipe regeneratif terdiri dari rotor sentral yang menjaga putaran tetap pada kecepatan konstan. Permukaan perpindahan panas yang mengacu pada matriks disatukan ke rotor sentral. Air heater dibagi menjadi dua bagian. Udara panas *flue gas* masuk dari atas dan keluar dari bawah dalam satu bagian; udara sekitar masuk melalui bawah dan keluar melalui atas pada bagian yang lain. Selama fase pemanasan, udara panas *flue gas* melakukan

kontak dengan matriks dan mentransferkan energi panasnya. Selain itu, temperatur dari matriks terjaga terus naik secara kontinyu pada fase pemanasan ketika matriks tetap melakukan kontak dengan udara panas *flue gas*. Sekali matriks berpindah ke bagian lain selama berotasi, energi ditransfer ke dalam bentuk panas dari matriks logam panas ke udara sekitar. Hasilnya, logam matriks menjadi dingin dan udara sekitar yang masuk menjadi panas dan keluar ke atas.

Pemasangan regeneratif air heater dapat dilakukan secara horizontal dan vertikal. Pada umumnya pemasangan secara horizontal apabila boiler memakai bahan bakar padat (batubara). Sedangkan pemasangan secara vertikal dipakai apabila boiler memakai bahan bakar gas (natural gas).



Gambar 4 Regenerative Air heater

(Sumber: Blcke-duerr Air heater, 2014)

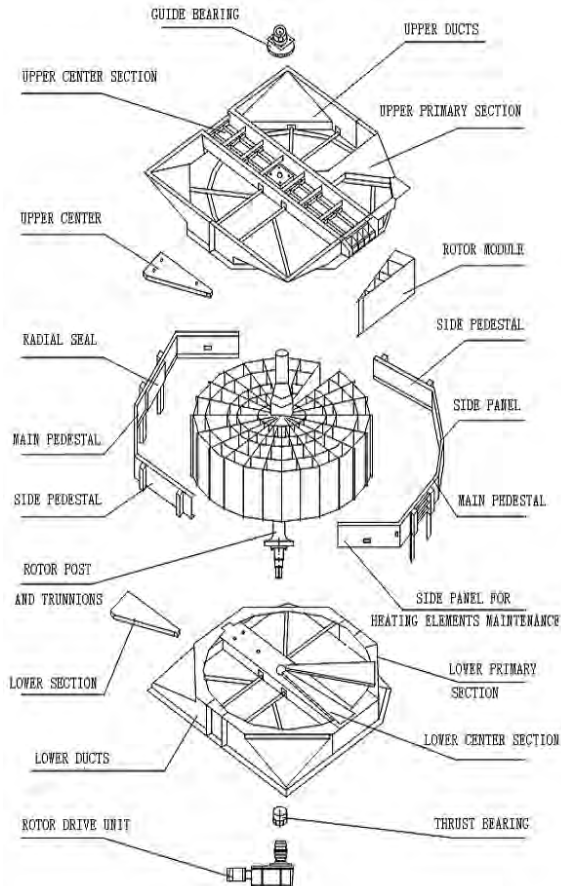
a. Rotating-plate Regenerative Air Heater

Desain *Rotating-plate* (RAPH) terdiri dari elemen plat sentral yang berputar dipasangkan di dalam sebuah casing yang dibagi ke dalam dua (tipe *bi-sector*), tiga (tipe *tri-sector*) atau empat (tipe *quad-sector*) bagian yang berisi beberapa seal mengelilingi elemennya. Seal ini

memungkinkan elemen untuk berputar melalui ke semua sektor, tetapi tetap menjaga kebocoran gas seminimal mungkin sewaktu mengalirkan aliran udara dan *flue gas* melalui setiap bagiannya.

Tipe *tri-sector* merupakan yang paling sering digunakan di pembangkitan modern. Di dalam desain *tri-sector*, bagian yang terbesar (biasanya memiliki lebar separuh dari casing) dikoneksikan ke keluaran gas panas boiler. Gas buang yang panas mengalir melewati elemen sentral, mentransferkan beberapa panasnya ke elemen-elemen, dan kemudian disalurkan keluar untuk perlakuan lebih lanjut di penyaring debu (*dust collectors*) dan peralatan lain sebelum dikeluarkan ke cerobong. Yang kedua, bagian yang lebih kecil, dialiri udara sekitar oleh sebuah kipas (*fan*), yang melewati elemen panas saat elemen berputar, dan dipanaskan sebelum masuk ke tungku boiler untuk proses pembakaran. Yang ketiga adalah bagian terkecil dan digunakan untuk memanaskan udara yang dikirim ke *pulverizers* dan digunakan untuk membawa campuran batubara-udara untuk *burner* boiler batu bara. Sehingga, total udara yang dipanaskan di dalam RAPH menyediakan: udara panas untuk menghilangkan *moisture* dari debu batubara yang sudah di *pulverizer* dan menyediakan udara pembakaran untuk proses pembakaran di dalam boiler.

Sedangkan rotor itu sendiri adalah sebuah media perpindahan panas dari sistem ini, dan biasanya disusun menjadi beberapa bentuk dari struktur besi dan/atau keramik. Rotor berputar sangat pelan untuk mendapatkan perpindahan panas yang optimal.



Gambar 5 Tri-sector Air heater dan Komponennya
 (Sumber: *International Journal of Mechanical Engineering*, 2014)

b. Konstruksi

Dalam desain ini seluruh casing air heater didukung untuk struktur boiler itu sendiri dengan kebutuhan beberapa sambungan tambahan (*expansion joints*) di dalam saluran *ducting*. Rotor vertikal disupport oleh *thrust bearing* di bagian *lower end* dan dilumasi oleh oli pelumas, didinginkan oleh sirkulasi air dalam koil di

dalam tangki oli. Susunan ini digunakan untuk mendinginkan bagian poros *lower end*, karena bagian akhir dari rotor vertikal adalah dibagian *hot end* dari saluran ducting. Bagian *top end* dari rotor mempunyai *roller bearing* yang sederhana untuk menahan poros tetap pada posisi vertikal.

Rotornya sendiri dibuat di atas poros vertikal dengan *radial supports* dan kurungan untuk menahan basket tetap pada posisinya. Plat *seal radial* dan *circumferential* juga dipasang untuk menghindari kebocoran dari sisi *flue gas* maupun udara sekitar antar sektor atau antara saluran *duct* dan casing saat berotasi.

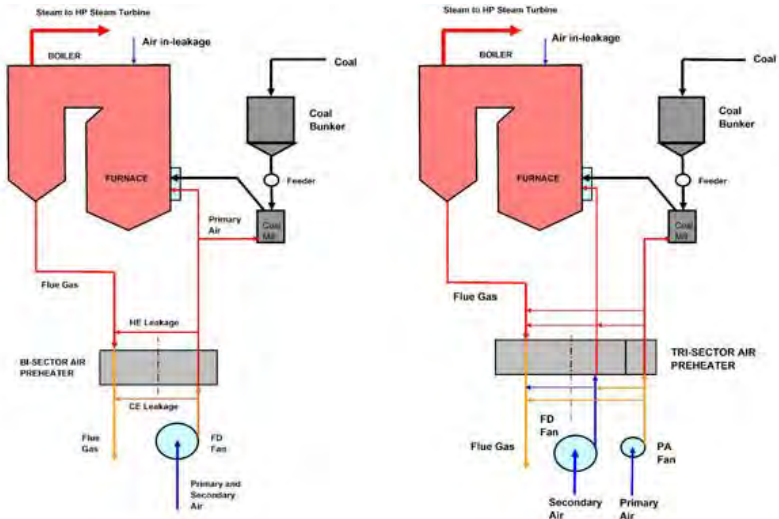
Untuk pembersihan deposit secara simultan dari basket, penggunaan *steam jets* diperlukan untuk menghilangkan deposit-deposit dan abu (*ash*) yang menjadi kerak di bagian *bottom ash hopper* dari air heater.

Rotor digerakkan oleh motor listrik dan udara terkompresi serta *gearbox*, dan proses menyalakannya adalah sebelum boiler dan juga harus tetap diputar untuk beberapa waktu saat boiler berhenti, untuk menghindari ekspansi dan kontraksi yang tidak merata yang berakibat terjadinya bengkokan atau retakan pada rotor. Udara yang digunakan untuk menggerakkan air heater umumnya bersifat kering (udara kering digunakan untuk instrumentasi), jadi udara yang digunakan untuk menggerakkan rotor diinjeksikan dengan oli untuk melumasi *air motor*.

Jendela yang terproteksi *safety inspection* digunakan untuk melihat operasional dari dalam sebuah air heater selama beroperasi diseluruh kondisi.

Basket yang berada pada *sector housing* di bagian rotor bersifat *renewable*. Umur pakai dari

basket bergantung pada nilai *ash abrasiveness* dan nilai *corrosiveness* dari outlet gas boiler.



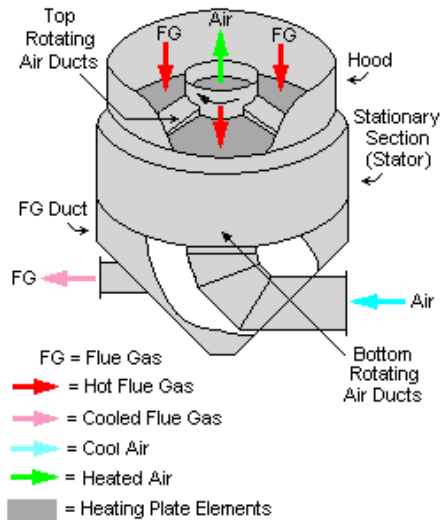
Gambar 6 Bi-sector dan Tri-sector Air Heater
 (Sumber: *Boiler Auxiliary Powermag*, 2010)

c. Stationary-plate regenerative air heater

Plat elemen pemanas untuk tipe stationary air heater terpasang pada casing, tapi plat elemen pemanas dipasang stasioner ketimbang berputar. Terlebih lagi saluran udara (*air duct*) di air heater juga diputar sehingga sebagai kemungkinan lain membuka bagian dari plat elemen pemanas ke aliran udara yang lebih dingin.

Seperti yang diindikasikan pada gambar yang berdekatan, ada saluran inlet udara yang berputar di bagian bawah plat stasioner.

Stationary-plate regenerative air heater juga bisa dikenal dengan *Rothemule preheaters*, dimanufaktur lebih dari 25 tahun oleh *Balke-Dürr GmbH of Ratingen, Jerman*.



Typical Stationary Plate Air Preheater

Gambar 7 Stationary-plate Regenerative Air heater
 (Sumber: *Stationary-plate Air heater Citizendium, 2014*)

2.2.2. Tubular type

a. Konstruksi

Air heater tipe tubular terdiri dari gabungan beberapa pipa yang melewati saluran outlet dari boiler dan terbuka pada setiap akhir keluaran dari saluran *ducting*. Di dalam *ducting*, gas panas melewati sekeliling pipa air heater, mentransferkan panas dari gas buang ke udara di dalam air heater. Udara sekitar dipaksa oleh sebuah kipas (*fan*) melalui saluran pada akhir akhir pipa air heater dan di sisi akhir yang satunya udara panas masuk ke dalam pipa-pipa bersatu dengan sekumpulan *ducting* yang lain, yang akhirnya masuk ke dalam tungku boiler untuk proses pembakaran.



Gambar 8 Skema Arah Aliran Tubular Type
(Sumber: Victory Energy, 2014)



Gambar 9 Tubulat type Air heater
(Sumber: Clean Boiler, 2014)

b. *Dew Point Corrosion*

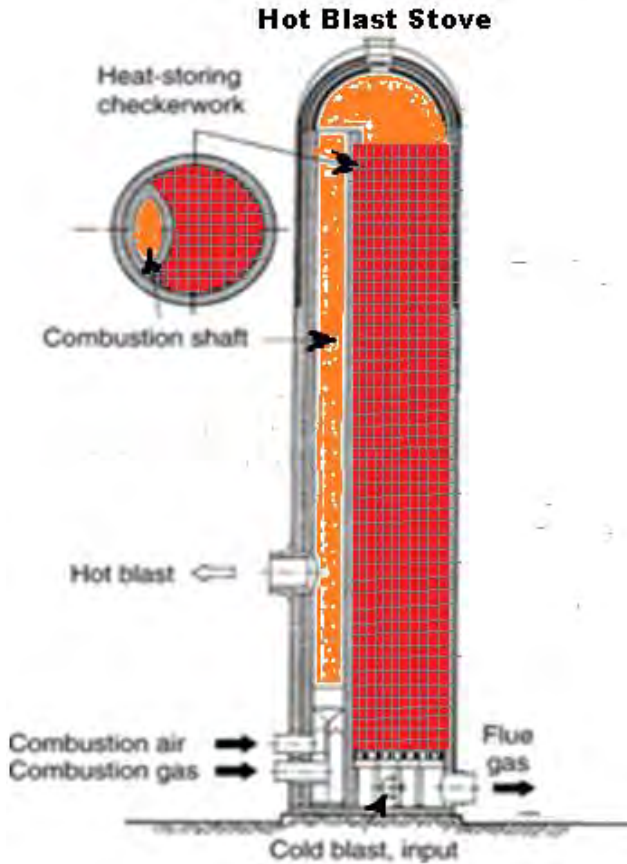
Dew point corrosion terjadi untuk beberapa alasan. Tipe bahan bakar yang digunakan, kandungan sulfur dan kandungan moisture

adalah faktor-faktor yang berkontribusi atas terjadinya *dew point corrosion*. Bagaimanapun juga, hal paling signifikan yang menyebabkan *dew point corrosion* adalah temperatur logam dari pipa-pipa. Jika temperatur logam di dalam pipa turun hingga dibawah temperatur *acid saturation*, biasanya antara 190°F (88°C) dan 230°F (110°C), tetapi terkadang temperatur 260°F (127°C), maka resiko kerusakan akibat *dew point corrosion* menjadi sangat besar. Sangat penting untuk tidak mendinginkan temperatur *flue gas* hingga di bawah titik *acid dew point* karena dapat berakibat kondensasi *liquid acid* dari *flue gas* menyebabkan permasalahan korosi serius untuk peralatan yang digunakan untuk mentransportasikan, mendinginkan dan mengeluarkan *flue gas*.

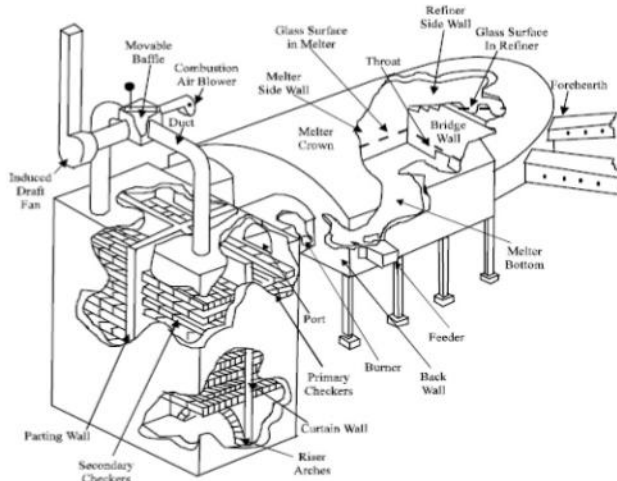
2.2.3. Regenerator

Air heater tipe regenerator terdiri dari batu bata yang disusun kotak-kotak (*checkerwork*): batu bata disusun dengan jarak yang sama besarnya untuk menaruh batu bata diantara batu bata yang lain, jadi udara dapat mengalir secara keseluruhan dengan mudah melalui susunan *checkerwork*. Idenya adalah bahwa udara gas buang melewati *checkerwork*, yang selanjutnya memanaskan batu bata. Aliran udara kemudian dibalik, sehingga batu bata yang panas memanaskan udara pembakaran yang masuk dan bahan bakarnya. Untuk tungku *glass-melting*, sebuah regenerator terletak pada salah satu tungku, seringkali berbentuk utuh. Untuk *blast furnace*, regenerator (biasanya disebut *Cowper Stoves*) terletak terpisah dari tungku/boiler. Sebuah tungku/boiler membutuhkan kurang dari dua perapian, tapi juga boleh ada tiga. Satu perapian untuk “*on gas*”, menerima gas panas dari tungku dan memanaskan *checkerwork*, sementara yang satunya

untuk “*on blast*”, menerima udara dingin dari blower, memanaskan udara dan melewati udara ke *blast furnace*.



Gambar 10 Hot Blast Furnace
(Sumber: *Build Industrial Pakistan*, 2013)



Gambar 11 Glass-melting Furnace
(Sumber: Glass Melting Technology, 2014)

2.3. Spesifikasi Teknik Air heater PLTU Unit 3 PT. PJB UP Gresik

Spesifikasi dari air heater pada PLTU unit 3 merupakan suatu hal yang penting untuk diketahui. Setelah melakukan observasi terhadap *Manual Book Air Heater* maka dapat ditulis sebagai berikut:

- a. Spesifikasi Air Heater Secara Keseluruhan
 - Tipe : *Ljungstrom Regenerative*
 - Nomer Model : 26-Hx-2850
 - Pembuat : Gadelius K.K.
 - Number : 4 set/2 boiler
 - Total elemen pemanas : Gas side
22.360 m²/set
 - Kecepatan : 0.77 rpm
 - Metode Pelumasan Bearing
 - Cold side : Automatis (Self)
 - Hot side : Pompa (Forced)

- Metode Penggerak : Motor listrik (utama), Air Motor (cadangan)
- Tipe Cleaning Device : Single Nozzle
- Tempat : Sisi Cold Gas
- Tipe Washing Device : Stationary
- Tempat : Sisi Cold Gas dan Hot Gas
- Elemen Pemanas

Tipe

Hot End Layer : DU 0,6 m/m *Basket Type*

Intermediate Layer : DU 0,6 m/m *Basket Type*

Cold End Layer : NF 1,2 m/m *Basket Type*

Material

Hot End Layer : *Mild Steel*

Intermediate Layer : *Corrosion Resistant Low Alloy Steel*

Cold End Layer : *Corrosion Resistant Low Alloy Steel*

Ketinggian

Hot End Layer : 1500 mm

Intermediate Layer : 1050 mm

Cold End Layer : 300 mm

b. Spesifikasi Penggerak Rotor

- Motor Listrik
 - Pembuat : Toshiba Corporation
 - Tipe : *Outdoor use, Totally enclosed fan cooled*
 - Hourly Rating* : *Continous Rating*
 - Daya : 5.5 kW
 - Tegangan : 440 Volt
 - Frekuensi : 50 Hz
 - Jumlah Kutub : 6
 - Insulation Class* : B

- *Speer Reducer*
 - Tipe : 118RS 1311
 - Pembuat : Shimadzu *Machinery System, Inc.*
 - Ratio : 1 : 118
 - *Air Motor*
 - Pembuat : Kitagawa Pneumatic Tool Co., Ltd
 - Tipe : KMS-7.5RH-400-5FC
 - Tekanan Udara : 5 kg/cm²g
 - Konsumsi Udara : 8 Nm³/min @ 400 rpm
 - Torsi : 25.6 kg-m (maksimal)
- c. Sistem Sirkulasi Pelumas
- Motor Listrik
 - Pembuat : Toshiba *Corporation*
 - Tipe : *Outdoor use, Totally enclosed fan cooled*
 - Hourly Rating* : *Continous*
 - Rating*
 - Daya : 0.75 kW
 - Tegangan : 440 Volt
 - Frekuensi : 50 Hz
 - Jumlah Kutub : 6
 - Insulation Class* : B
 - *Oil Pump*
 - Tipe : NT-G26
 - Pembuat : Nagano Keiki Seisakusho Ltd
 - Debit : 15 l/min @550 SSU 1450 rpm
 - Tekanan Hisap : 0
 - Tekanan Buang : 5 kg/cm²g
 - Putaran : 1500 rpm
 - Tekanan atur *Relief Valve* : 5.5 kg/cm²g

- *Oil Cooler*
 - Tipe : LC-S-1.5C
 - Pembuat : Fujita *Iron Works Co., Ltd.*
 - Tekanan Air : 1 - 3 kg/cm²g (air tawar)
 - Temperatur Air : 38 °C (suplai)
 - Konsumsi Air : 3 m³/hr/l A.H
 - Temperatur Pelumas : 60/55 °C
 - *Temperature Switch for Bearing Oil*
 - Tipe : BM6S
 - Pembuat : Hyoda Gauge
Mfg. Co., Ltd.
 - Contact Capacity* : AC 250V, 5A
DC 250V, 0,25A
 - Function of Contact Point*: Control 50 °C,
Alarm 50 – 100 °C 2 points
 - Range Temperatur* : 0 – 100 °C
- d. *Cleaning Device*
- Tipe : *Single Nozzle
Cleaning Device*
 - *Steam Condition for Blowing*
 - Kebutuhan Tekanan : 16 kg/cm²g
(kondisi normal)
 - Kebutuhan Temperatur : 310 oC
(kondisi normal)
 - Tekanan *Blowing* : 14 kg/cm²g
 - Waktu *Blowing* : 78 min
 - Waktu Beroperasi : 156 min
 - Konsumsi *Blowing* : 2000 kg/H/1
 - Motor Listrik
 - Pembuat : *Toshiba Corporation*
 - Tipe : *Outdoor use, Tottaly
enclosed fan cooled*
 - Hourly Rating* : *Continous*
 - Rating*
 - Daya : 0.2 kW
 - Tegangan : 440 Volt
 - Frekuensi : 50 Hz

- | | |
|-------------------------|-----|
| Jumlah Kutub | : 6 |
| <i>Insulation Class</i> | : B |
- e. *Stationary Washing Device*
- *Water Condition for Washing*

Kebutuhan Tekanan	: 10 kg/cm ² g
Tekanan <i>Washing</i>	: 5 kg/cm ² g
Konsumsi <i>Washing</i>	: 1450 l/min./1

2.4. **Komponen Air Heater**

Pada dasarnya *air heater* terdiri dari beberapa bagian atau komponen yang mendukung kinerjanya. Komponen-komponen tersebut mempunyai peranan masing-masing dalam mendukung kinerja *air heater* yang sangat berperan penting dalam meningkatkan efisiensi boiler dan membuat sistem PLTU menjadi lebih ramah lingkungan. Berikut ini adalah komponen yang terdapat pada air heater.

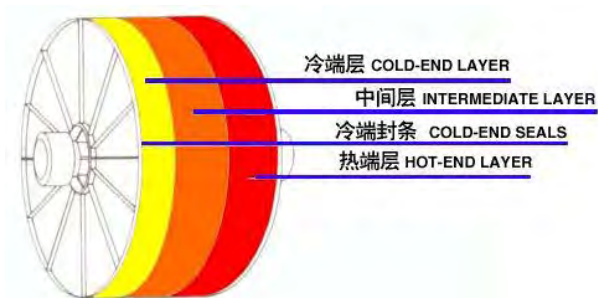
2.4.1. **Heating Elemen**

Elemen pemanas yang berupa lempengan-lempengan plat metal yang terbagi menjadi 3 bagian jika dilihat secara vertikal seperti pada gambar 5.3, yaitu antara lain: sisi atas *Hot End layer* dan sisi bawah *Cold End layer* serta ditengah keduanya terdapat *Intermediate Layer*. Plat itu terpasang pada suatu poros yang di susun pada kompartemen silindris yang terbagi secara *radial* yang semua bagiannya disebut sebagai *rotor*. Rotor ini berputar dalam ruangan yang memiliki sambungan *duct* di kedua sisinya satu sisi di aliri gas buang, sisi lain berisi udara baik primer maupun sekunder. Saat *rotor* diputar, setengah bagiannya memasuki saluran gas buang dan menyerap energi panas yang terkandung di dalamnya sedangkan setengah bagian yang lain mentransfer panas dari elemen ke udara pada sisi saluran udara sehingga menghasilkan udara panas yang selanjutnya akan dipasok ke *furnace*.



Gambar 12 Heating Element

(Sumber: Geeco dan Paragon Air heater, 2014)



Gambar 13 Pembagian Layer Air heater

(Sumber: Air heater Enamel Heat Conduction, 2012)

Heat transfer element merupakan komponen vital dari air heater. Ini sangat penting untuk memastikan data panas dan hidrodinamik dapat dihandalkan. Banyaknya profil elemen dikembangkan dan tersedia utk berbagai kegunaan, saat ini ada empat profil yang tersedia. Keseluruhan profil sudah diuji coba laboratorium.

a. *FNC – Flat Notched Crossed*

Profil ini memiliki performa thermal yang paling tinggi, sehingga berdampak ringannya pada heater saat bekerja. Sebagai tambahan, rasio *pressure drop* per unit dari transfer panas lebih kecil daripada elemen yang lain sehingga ini tentunya akan memiliki nilai *pressure drop* yang sangat kecil pula.



Gambar 14 FNC Element Profile

(Sumber: *International Journal of Current Engineering*, 2014)

b. DU – *Double Undulated*

Profil ini digunakan untuk aplikasi FNC dimana abu bahan bakar diekspektasikan lebih erosif daripada keadaan normal atau dimana ada potensi lebih besar untuk terjadi *fouling*, misalnya pada sisi *cold end*. Ini dikarenakan 1) gas yang mengalir lebih sedikit turbulensi selama mengalir melalui elemen sehingga mengurangi erosi 2) karena jalan menuju elemen dijaga untuk menghalangi energi dari udara atau uap yang digunakan untuk *soot blowing* dari disipasi, sehingga menjaga efisiensi tetap bersih melalui panjang keseluruhan dari deretan.



Gambar 15 DU Element Profile

(Sumber: *International Journal of Current Engineering*, 2014)

c. NP – *Notched Plate*

Merupakan profil elemen paling sederhana yang masih digunakan hingga sekarang. Profil ini memiliki *heat transfer propertis* yang rendah, sehingga membutuhkan rotor yang cukup dalam yang mana sudah jarang digunakan saat ini.



Gambar 16 NP Element Profile

(Sumber: *International Journal of Current Engineering*, 2014)

d. CU – *Corrugated Undulated*

Merupakan profil elemen yang lebih banyak terbuka daripada profil DU tetapi memerlukan

ke dalam yang lebih dan juga *pressure drop* yang tinggi untuk *heat transfer* yang sama. Profil ini memungkinkan untuk dilakukan pembersihan secara efisien.



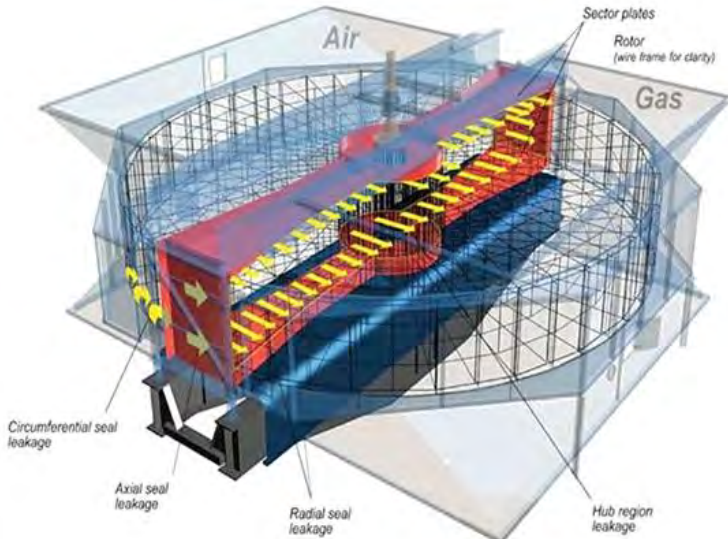
Gambar 17 CU Element Profile

(Sumber: *International Journal of Current Engineering*, 2014)

2.4.2. Sealing System

Seal (perapat) berfungsi sebagai pencegah kebocoran fluida baik udara maupun gas buang yang melewati elemen panas pada saat operasi. Pada kondisi normal aliran udara memiliki level tekanan yang lebih tinggi dari aliran gas inilah yang rawan akan kebocoran. Biasanya udara mengalami kebocoran ke bagian sisi gas dalam air heater disebabkan oleh perbedaan tekanan. Kebocoran udara ini mengurangi temperatur *flue gas* tanpa mengekstraksi panas. Untuk mengurangi kebocoran udara maka dipasanglah sebuah seal. Seal merupakan persyaratan yang penting bahwa bagian yang berputar harus tetap memiliki *clearance* antara komponen statis untuk menghindari gangguan diantara komponen statis dan yang berputar. Berikut adalah tipe seal yang sering digunakan dalam air heater industri pembangkitan:

- ✚ *Radial seal*
- ✚ *Axial seal*
- ✚ *Bypass seal*
- ✚ *Circumferential seal*



Gambar 18 Jenis Seal Air heater

(Sumber: *Adaptive Brush Seal Powermag*, 2014)

a. *Radial seal*

Radial seal digunakan untuk mengurangi kebocoran udara langsung ke bagian sisi gas yang terjadi di potongan bagian tengah atau menyegel permukaan air heater. Radial seal dipasangkan pada setiap diafragma dari rotor untuk terjaganya jarak yang tetap dekat dengan permukaan seal yang memisahkan antara aliran sisi udara dan gas. Dengan adanya radial seal umur pakai dari air heater menjadi lebih lama.

Radial Seal terpasang sesuai dengan posisi *rotor* yang posisinya terhadap *plate rotor* dapat di setting dan mempunyai standar sesuai dengan desain manufaktur. Dalam mensetting juga memperhatikan ekspansi *rotor* akibat temperature tinggi. *Radial seal* berfungsi untuk mereduksi kebocoran langsung dari area udara ke gas buang.



Gambar 19 Radial Seal Air heater

(Sumber: Reeves and Wood Land Industry, 2015)



Gambar 20 Posisi Radial Seal

(Sumber: Operation and Maintenance Powermag, 2011)

b. Axial seal

Axial seal dipasang pada sisi luar dari rotor memanjang dari sisi *hot end* sampai dengan *cold end*. *Seal* bekerja sama dengan *radial seal* untuk meminimalkan *gap* antara *rotor* dengan *seal*



Gambar 21 Axial Seal Air heater

(Sumber: Reeves and Wood Land Industry, 2015)

c. *Bypass seal*

Bypass seal terletak di air heater tipe axial di bagian *hot end* dan *cold end*. Bypass seal ditahan oleh sudut yang tetap ke *connecting plates*. Bypass seal menutup terhadap “T-bar” tetap terhadap lingkaran luar rotor. (Bypass seal bersifat stasioner, permukaan seal berputar bersamaan dengan rotor)

d. *Circumferential seal*

Letaknya di sekeliling dan pusat *rotor*. Fungsi utama adalah mencegah kebocoran udara atau gas buang saat berputarnya *rotor*, dalam melakukan fungsi ini di bantu *axial seal*.



Gambar 22 Circumferential Seal Air heater

(Sumber: Reeves and Wood Land Industry, 2015)

2.4.3. Forced Draft Fan (FD Fan)

FD Fan terletak pada bagian ujung saluran air intake boiler dan digerakkan oleh motor listrik. *Fan* ini bekerja pada tekanan tinggi dan berfungsi menghasilkan udara sekunder (*Secondary Air*) yang akan dialirkan ke dalam boiler untuk mencampur udara dan bahan bakar dan selanjutnya digunakan sebagai udara pembakaran pada furnace boiler. Udara yang diproduksi oleh *Force Draft Fan* (FD Fan) diambil dari udara luar. Dalam perjalanannya menuju boiler, udara tersebut dinaikkan suhunya oleh air heater agar proses pembakaran sempurna bisa terjadi di boiler. Turbulensi mengacu pada gerakan udara di dalam *furnace*, gerakan ini perlu karena dapat menyempurnakan pencampuran udara dan bahan bakar.

Berikut adalah hal yang harus diperhatikan untuk FD fan :

- a. FD Fan akan beroperasi hingga dua tahun non – stop, sehingga konstruksinya harus dapat diandalkan dan bebas perawatan selama masa pakai.
- b. Mempunyai efisiensi yang tinggi, karena boiler selalu bekerja dalam kondisi yang bervariasi maka kinerja FD fan juga disesuaikan dengan kondisi kerja boiler.
- c. FD fan harus stabil karena keadaan tekanan yang bervariasi dan masa pakai FD fan tersebut sehingga FD fan harus tetap dapat mengontrol aliran udara ke boiler selama masa kerjanya.
- d. FD fan harus mempunyai proteksi terhadap dirinya sendiri, dalam hal ini berarti FD Fan harus dapat memutuskan arus saat kerja lebih dan mengatur kinerja motor FD fan tersebut.

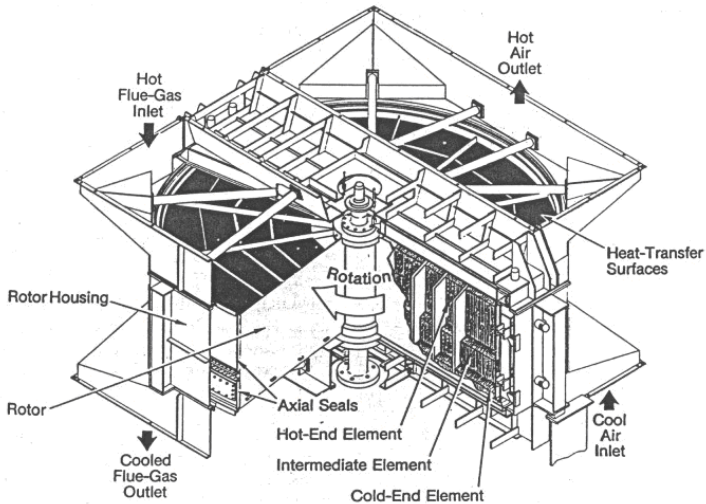


Gambar 23 Forced Draft Fan PLTU Unit 3A
(Sumber: Dokumentasi Penulis, 2015)

2.5. Cara Kerja Air heater

Kebutuhan pemanasan awal untuk udara pembakaran pada boiler sekarang ini menjadi suatu keharusan sebagai usaha untuk meningkatkan efisiensi boiler. *Ljungström Air heater*, seperti ditunjukkan pada Gambar 5.3 lazim digunakan untuk pemanasan awal (*preheater*) pada pembakaran untuk pembangkit-pembangkit listrik

khususnya Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). PT. Pembangkitan Jawa-Bali UP Gresik sebagai salah satu PLTU di Indonesia juga menggunakan alat ini untuk memanaskan udara primer sebagai komponen utama yang menunjang proses pembakaran di boiler, seperti yang telah dijelaskan sebelumnya. Karena digunakan untuk memanaskan udara primer maka alat ini sering disebut sebagai *primary air heater* dan bertipe *Rotary Regenerative*.



Gambar 24 Ljungstrom Air heater

(Sumber: PJB Power Plan Academy, 2012)

Secara umum prinsip kerja *Air heater* adalah gas panas sisa pembakaran dari boiler keluar melewati *air heater* dan memanasi permukaan elemen pemanas *air heater*, karena *air heater* berputar pada porosnya, elemen pemanas letaknya berubah akibat putaran poros tersebut. Elemen pemanas yang telah berada pada sisi udara akan memanaskan udara yang masuk dari arah berlawanan sehingga temperatur udara keluar dari *air heater* yang akan digunakan untuk proses pembakaran di boiler menjadi meningkat. Pada PT. Pembangkitan Jawa-Bali UP Gresik,

terdapat tiga layer Primary Air heater yang meliputi *Hot Layer*, *Intermediate Layer* dan *Cold Layer*

2.6. **Komponen Pendukung Air heater**

Supaya air heater dapat bekerja secara optimal, terdapat beberapa alat pendukung beroperasinya sebuah air heater.

a. Penggerak Rotor

Penggerak Rotor memiliki 3 komponen yang saling bersinambung dalam beroperasi menggerakkan rotor dari *Air heater*, antara lain.

- **Motor Listrik**

Rotor digerakan oleh motor listrik yang diletakan di luar elemen pemanas. Hal ini dilakukan karena motor listrik tidak memiliki ketahanan apabila diletakkan pada temperatur yang cukup tinggi.



Gambar 25 Motor Listrik Air heater PLTU Unit 3A
(Sumber: Dokumentasi Penulis, 2015)

- **Speed Reducer (Gearbox)**

Speed Reducer berguna untuk menurunkan kecepatan yang dihasilkan motor listrik sebelum disalurkan ke *rotor*. Kecepatan diturunkan karena pada dasarnya perpindahan panas yang terjadi antara bagian bertemperatur tinggi ke bagian yang bertemperatur rendah membutuhkan waktu yang cukup lama.

- *Air Motor*
Air Motor berfungsi juga sebagai penggerak *rotor air heater* dengan menggunakan tenaga udara terkompresi seperti yang telah dijelaskan sebelumnya.

b. *Bearing*

Pada sisi bagian atas dan bawah *rotor inner drum*, terdapat *roller guide bearing* (SKF C3172M/C4) dan *auto-centered roller thrust bearing* (SKF 29480EM) yang dipasang untuk menahan beban rotor arah horizontal dan beban axial vertikal sebuah air heater.

c. Sistem Sirkulasi Pelumas

Sistem Sirkulasi Pelumas berperan penting dalam mencegah kerusakan pada *air heater* dikarenakan keausan pada bagian poros. Sistem sirkulasi oli ini mendistribusikan minyak pelumas pada bearing dengan cara menggunakan komponen-komponen sebagai berikut:

- *Oil Pump*
Oil Pump berfungsi mensirkulasikan minyak pelumas ke bagian-bagian yang membutuhkan pada *Air heater*.
- Motor Listrik
Motor listrik berguna dalam memberikan daya kepada *Oil Pump* untuk mensirkulasikan minyak pelumas ke bagian-bagian yang membutuhkan pada *Air heater*.
- *Oil Cooler*
Oil Cooler berfungsi mendinginkan minyak pelumas setelah disirkulasikan pada bagian-bagian dari *Air heater* dengan cara melewatkan minyak pelumas tersebut ke kisi-kisi pendingin. Pendinginan ini berlangsung secara konveksi dengan air tawar.
- *Temperature Switch for Bearing Oil*
Berfungsi mengatur sirkulasi minyak pelumas pada *bearing* sesuai dengan temperature yang telah ditentukan.

d. *Cleaning Device*

Perangkat ini berfungsi dalam membersihkan kotoran hasil pembakaran atau deposit atau jelaga yang terdapat pada dari *air heater*. Deposit yang terakumulasi secara terus-menerus dapat menyebabkan penyumbatan pada elemen pemanas dan juga bisa menyebabkan kebakaran pada *air heater*, maka dari itu pembersihan pada *air heater* sangat diperlukan untuk menjaga faktor fungsionalnya, pembersihan ini akan terjadi pada interval waktu tertentu. *Cleaning Device* pada *air heater* yang terdapat pada PLTU Unit 3 dan 4 menganut sistem *Single Nozzle Cleaning Device* dengan media pembersih jelaga berupa uap air. Adapun bagian dari *Cleaning Device* adalah:

- *Steam Condition for Blowing*
- Motor Listrik

e. *Stationary Washing Device*

Perangkat ini berperan dalam melakukan *Water Washing* (Pencucian dengan Air) pada *air heater*. Adapun tujuan dari *Water Washing* adalah mencuci atau dengan kata lain membersihkan dengan air bagian dari elemen *Air heater* yang pelaksanaannya tergantung pada kondisi *Boiler shutdown*, seperti lamanya *Boiler* tersebut bekerja, frekuensi dari penyalaan dan penghentian kerja *Boiler*, lamanya kerja *Boiler* dengan beban rendah, turunnya suhu lingkungan dan lain sebagainya yang mana *Boiler* tidak dirancang pada kondisi itu.

2.7. Proses Pengeoperasian *Air heater*

1. Memulai Proses Pengoperasian

Air Preheater harus dinyalakan bersamaan dengan waktu menyalakan *Force Draft Fan*. Jika terdapat dua atau lebih *air heater*, maka *rotor* dari semua unit harus dinyalakan secara bersamaan. Jika hanya satu unit yang mengalirkan udara dan gas buang, dan lainnya berhenti mengalirkan (tertutup) udara dan gas buang,

maka pertama-tama buka peredam udara (*air damper*) dan kemudian diikuti membuka peredam gas. Urutan kerja ini akan mencegah rotor dari posisi panas berlebih dan tidak dapat digerakkan karena ekspansi termal yang berlebihan.

Perhatikan tingkat kenaikan suhu terhadap motor penggerak. *Overheating* (panas berlebih) dapat menyebabkan semakin kecilnya *clearance* (kerenggangan) *seal rotor*. Semakin kecilnya *clearance* dari *seal rotor* akan menyebabkan motor penggerak mengalami *overload* (beban berlebih). Jika *overload* ini tidak terlalu besar atau tidak seberapa, dan kapasitas dari *thermal relay* atau sekering tidak berlebihan, maka diharapkan pada *seal rotor* secara bertahap akan dilakukan penyesuaian, sehingga mengurangi beban dari motor penggerak. Penyesuaian terhadap kekerasan karet *seal rotor* diperlukan hanya jika terjadi kelebihan beban pada motor penggerak.

Semakin kecilnya *clearance* rotor pada *Air Preheater* biasanya bersamaan dengan semakin kecilnya *clearance* antara gear-gear pada *Speed Reducer*, sehingga menyebabkan gear-gear tersebut semakin sulit digerakkan. Kondisi ini juga dapat membebani secara berlebih motor penggerak, maka dari itu diperlukan penyesuaian pada *gear* dengan cara melakukan *shifting* atau pergeseran pada gigi penggerak.

Periksa pelumas dan pasokan minyak *grease* (untuk *bearing*) dari semua bagian yang membutuhkan pelumasan, merujuk instruksi spesifik yang meliputi Sistem Sirkulasi Pelumas dan rekomendasi pelumasan.

2. Proses Pengoperasian Berlangsung

Jika gas panas atau udara panas mengalami gangguan di saat berada di *Air Preheater*, maka akan menyebabkan peningkatan suhu yang abnormal. Hal ini akan menyebabkan pergerakan pada *seal* menjadi lebih berat dan juga keausan pada bagian-bagian *seal*.

Bila hal ini terjadi maka proses pembakaran pada *boiler* harus dihentikan dan seal-sael dari *Air Preheater* harus dalam proses perbaikan (diganti). Sebelum menyalakan kembali proses pembakaran pada *Boiler*, periksalah ulang *Air Preheater* dan lakukan tindakan yang diperlukan untuk pembersihan guna memastikan bahwa tidak ada bahan yang mudah terbakar yang pada elemen pemanas.

3. Menghentikan Proses Pengoperasian
Kegiatan ini biasanya bersamaan dengan dilakukannya proses perawatan pada *Boiler*, maka diperlukan untuk menggunakan perangkat pembersih untuk menghilangkan deposit yang mungkin telah terakumulasi pada elemen pemanas. Biarkan kipas berjalan selama proses pembersihan. Jika ada kemungkinan bahwa pada saat proses pengoperasian sebelumnya telah meninggalkan deposit yang mudah terbakar pada elemen pemanas, maka dinginkan elemen pada tingkat suhu yang stabil, yaitu di bawah 150 °C. Hal ini untuk menghindari memegang deposit yang mudah terbakar pada suhu yang dapat menyebabkan pembakaran atau pengapian spontan dari deposit tersebut. Biarkan *rotor* berputar sampai suhu pada inlet gas buang turun di bawah 150 °C.

2.8. Maintenance Air heater

1. Pengecekan
Proses pengecekan pada *Air Preheater* sangat diperlukan untuk mencegah kerusakan *Air Preheater* dan turunnya efisiensi pada *Boiler* serta tentunya menjaga proses produksi pada PLTU Unit 3 dan 4. Ada 2 jenis proses pengecekan berdasarkan interval waktunya antara lain:
 - Pengecekan harian
 - ✓ Harus dilakukan pengecekan pada komponen perangkat pembersih (*Cleaning Device* dan *Statinary Washing Device*) dengan melihat

lampu indikator atau variasi temperatur pada *Air Preheater*.

- ✓ Periksa kondisi pelumas pada bagian bantalan secara berkala. Tanda-tanda dari minyak pelumas yang berbusa dapat diketahui bila dilakukan proses pengecekan yang rutin.
- Pengecekan Tahunan
 - ✓ Dilakukan pemeriksaan pada lapisan anti karat di elemen pemanas dan perangkat pembersih (*Cleaning Device* dan *Statinary Washing Device*).

2. Cleaning

Adapun proses *cleaning* yang dilakukan pada *Air Preheater* adalah

1. Pembersihan secara berkala dengan *rotary soot blower*. *Soot blower* menggunakan fluida kerja uap untuk membersihkan *element heater*. Pembersihan ini dilakukan bersamaan dengan pembersihan jelaga di *tube-tube boiler*. Jadwalnya ditentukan berdasarkan penggunaan bahan bakar pada boiler. Apabila unit beroperasi menggunakan bahan bakar *Residual Oil* ataupun *dual firing* maka akan dijadwalkan beberapa pembersihan dengan *soot blower*.
2. Pengujian *lightning test* dengan menggunakan lampu untuk melihat penyumbatan pada *element heater* sambil *air preheater* diputar (dilakukan saat *overhaul*).
3. Pembersihan *element heater* menggunakan air yang disyaratkan pada *stationary washing device*. Pembersihan ini dilakukan saat unit *overhaul* dengan melepas *element heater*.
4. *Balancing Element Heater*, karena *air preheater* adalah komponen yang berputar sehingga perlu diadakan *balancing* agar dapat

berputar dengan normal dan baik.

Pembersihan *speed reducer*, rantai dan *gear* yang dilakukan bersamaan dengan *overhaul*.

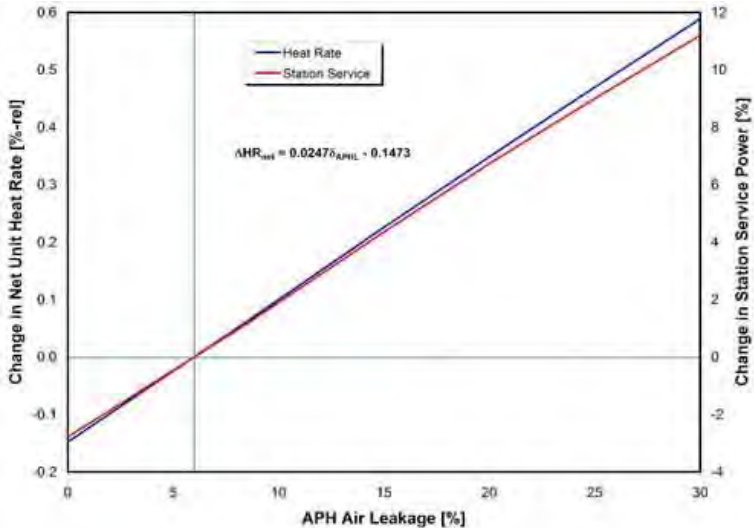
2.9. Evaluasi Unjuk Kerja Air heater

Parameter unjuk kerja air heater, seperti efisiensi dapat mengalami penurunan seiring berjalannya waktu (*lifetime*) disebabkan oleh beberapa hal seperti kualitas bahan bakar yang buruk, minimnya perawatan dan buruknya pengoperasian. Bahkan apabila sebuah air heater yang baru ataupun setelah selesai di *overhaul*, apabila kualitas bahan bakar yang dipakai boiler memiliki kualitas rendah maka dapat menurunkan performa air heater. Uji kebocoran dan perhitungan efisiensi air heater dapat membantu dalam menentukan unjuk kerja dari sebuah air heater yang selanjutnya dapat diambil tindakan pencegahan (*preventive maintenance*) maupun tindakan perbaikan (*repair*).

2.9.1. Estimasi Kebocoran Air heater (Air Leakage)

Kebocoran air heater tidak hanya mempengaruhi unjuk kerja dari air heater, tetapi juga mempunyai pengaruh merusak pada unjuk kerja keseluruhan unit pembangkitan. Kebocoran udara dari udara yang digunakan untuk pembakaran dengan aliran *flue gas* tidak ambil bagian dalam proses pembakaran, dan ini menunjukkan tambahan kerja pada FD Fan dan ID Fan bila ada. Ketika kebocoran udara (*Air Leakage*) meningkat, FD Fan membutuhkan volume udara tambahan untuk kebutuhan udara pembakaran ke boiler. Sehingga kebutuhan energi untuk ID Fan meningkat, karena ID Fan harus menangani kebocoran udara yang terjadi terhadap hasil pembakaran (*flue gas*). Sebagai hasilnya, kebutuhan energi untuk mensuplai peralatan pada industri pembangkitan menjadi meningkat, menyebabkan kenaikan tak terduga pada unit *heat rate* bersih. Efek dari kebocoran air heater pada *heat rate* unit dan kemampuan layanan pembangkitan ditunjukkan

pada gambar di bawah hini untuk air heater bi-sector dan 400MW pembangkit dengan bahan bakar bituminous coal. Aliran *Inlet Guide Vane* (IGV) diasumsikan untuk FD dan ID Fan pada contoh di bawah ini.

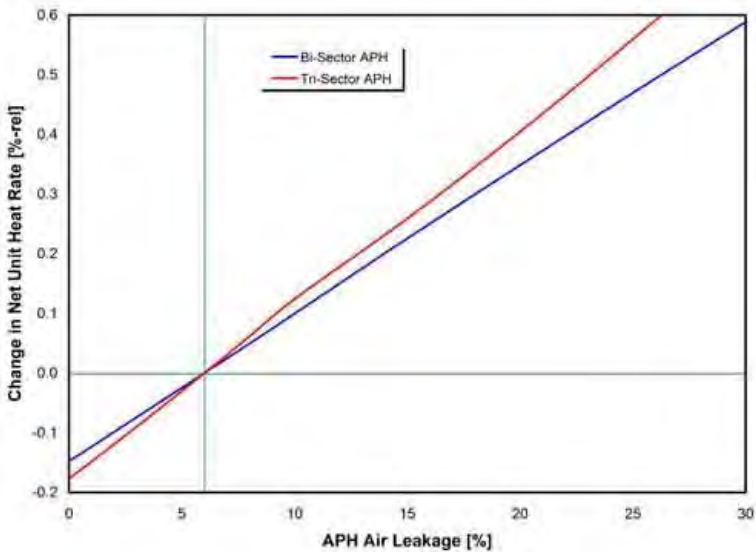


Gambar 26 Pengaruh Kebocoran APH pada Heat Rate Unit dan Beban Pembangkit
(Sumber: ERC)

Perubahan pada *heat rate* unit bersih, dan kemampuan layanan pembangkitan dapat diperoleh sebagai fungsi dari kebocoran air heater. Kebocoran air heater sebanyak 6% digunakan sebagai titik referensi, karena ini menunjukkan nilai desain yang digunakan dari pabrik air heater. Ketika kebocoran air heater meningkat, kerugian *heat rate* unit bersih mengalami peningkatan secara linear. Kenaikan 10% kebocoran dari air heater (contoh, kenaikan dari 6% ke 16%) meningkatkan kebutuhan energi pembangkitan sebesar 11% dan menaikkan *heat rate* unit bersih kurang lebih 0.25%. mengabaikan kebocoran air heater dengan menggunakan *gas-to-gas heat exchanger* atau *heat pipe heat exchanger*

akan meningkatkan *heat rate* unit bersih berkisar 0.15%.

Penurunan *heat reat* disebabkan oleh kebocoran air heater adalah lebih tinggi dari air heater tipe *tri-sector*, dimana *high-pressure Primary Air* (PA) dari bagian *primary air* mengalami kebocoran ke bagian *Secondary Air* (SA) dan aliran *flue gas*, menghasilkan kenaikan energi yang dibutuhkan oleh PA Fan, sebagai konsekuensinya meningkatkan kebutuhan energi FD dan ID Fan. Sebuah perbandingan penurunan *heat rate* untuk industri pembangkitan yang menggunakan air heater *bi-sector* dan *tri-sector* ditunjukkan gambar di bawah ini.



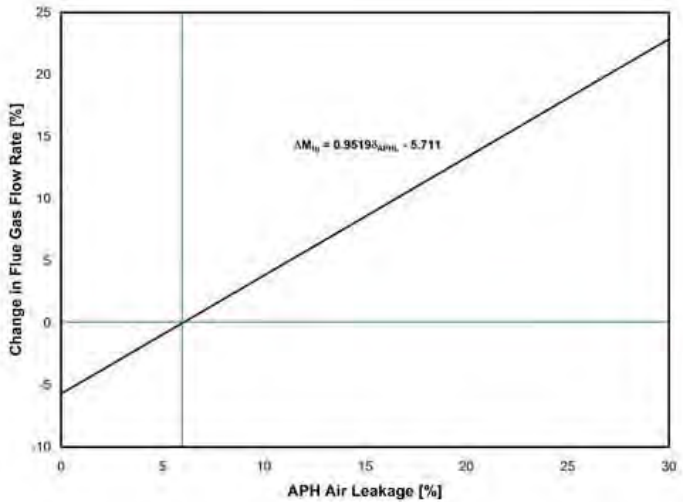
Gambar 27 Pengaruh Kebocoran Air heater terhadap Heat Rate Pembangkitan untuk jenis Bi-sector dan Tri-sector

(Sumber: ERC)

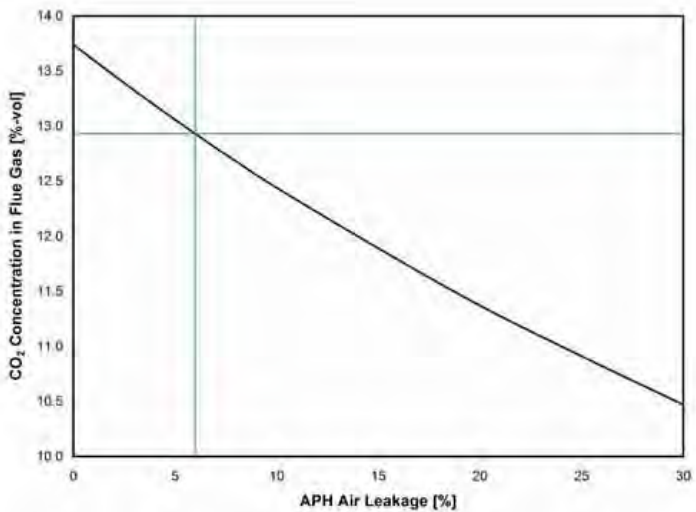
Selain mempengaruhi kebutuhan layanan energi dan *heat rate* unit bersih, kebocoran air heater juga memiliki efek negatif pada performa peralatan polusi udara dengan mengurangi waktu perawatan

disebabkan oleh lebih tingginya *flow rate* dari flue gas. Dan juga kebocoran—termasuk kebocoran air heater dan boiler— mempunyai efek negatif pada sistem penyerap CO₂ pasca pembakaran (*post-combustion*) dan efisiensi air heater. Ukuran (dan harga) dari sistem penyerap CO₂ adalah secara langsung proporsional dengan *flow rate flue gas* yang butuh untuk dirawat. Sebagai tambahan, efisiensi sistem penangkap CO₂ pasca pembakaran dipengaruhi oleh konsentrasi CO₂ yang terkandung pada *flue gas*, dimana akan menurun ketika kebocoran udara meningkat.

Akibat dari kebocoran air heater pada aliran *flue gas* dan konsentrasi CO₂ dalam *flue gas* ditunjukkan gambar di bawah ini untuk air heater *bi-sector* yang dipasangkan pada pembangkitan 400MW. *Flow rate* keluaran *flue gas* air heater meningkat secara linear ketika kebocoran air heater meningkat. Untuk tingkatan kebocoran air heater yang lebih tinggi, seperti air heater tipe Rothemuhle, kenaikan *flow rate* pada sisi *flue gas* sangatlah signifikan. Dalam situasi seperti ini, konsentrasi CO₂ yang terkandung pada *flue gas* berkurang dengan kebocoran udara yang terjadi pada air heater. Untuk tingkatan kebocoran air heater yang lebih tinggi, penurunan konsentrasi CO₂ adalah signifikan.



Gambar 28 Pengaruh pada Aliran Flue Gas disebabkan oleh Perubahan Air heater
(Sumber: ERC)



Gambar 29 Konsentrasi CO₂ pada Flue Gas Menurun ketika Kebocoran APH Meningkat
(Sumber: ERC)

2.9.2. Gas Side Efficiency (GSE)

Efisiensi sisi gas didefinisikan sebagai rasio *temperature drop*. Koreksi kebocoran terhadap *temperature head*, dinyatakan dalam bentuk persentase. *Temperature drop* dapat diperoleh dengan mengurangi temperatur koreksi gas outlet dengan *temperature* gas inlet. Sedangkan *temperature head* dapat diperoleh dengan mengurangi temperatur udara inlet dengan temperatur gas inlet.

$$GSE = \left[\frac{(T_{gi} - T_{gnl})}{T_{gi} - T_{ai}} \right]$$

Keterangan:

$T_{go,NL}$: Gas outlet temperature corrected for no leakage

T_{ai} : Temperature of air entering air Heater

T_{gi} : Temperature of gas entering air heater

T_{go} : Temperature of gas leaving air heater

2.9.3. Capacity Rate Ratio (CR)

Biasa disebut juga dalam bidang industri sebagai X-Ratio. Merupakan sebuah rasio dari *heat capacity* dari udara yang melewati air heater terhadap *heat capacity* dari *flue gas* yang melewati air heater.

Faktor penting yang digunakan untuk mengevaluasi performa thermal adalah menggunakan CR. Faktor ini menghasilkan bilangan tak berdimensi dan diperoleh selama pengujian dengan merekam temperatur sisi gas inlet dan outlet, temperatur sisi udara inlet dan outlet dan pembacaan Orsat pada sisi gas inlet dan outlet. Dari dua pembacaan terakhir kebocoran udara ke sisi gas diperoleh dalam satuan pounds per pound (lb/lb) dari gas basah dan mengizinkan koreksi dari temperatur pengujian dari gas outlet ke temperatur gas outlet dengan tidak ada

kebocoran pada air heater. Penggunaan CR sendiri dihitung terpisah untuk membedakan antara nilai saat pengujian dan nilai desain dari pabrikan dari sebuah temperatur gas outlet air heater. Nilai dari CR juga dipengaruhi oleh cepatnya aliran udara, *sealing air flow*, setting perembesan dan beberapa penyusunan letak air heater dengan gas sirkulasi ulang.

$$CR = \left[\frac{C_{air}}{C_{gas}} \right]$$

C_{air} : Capacity of the air stream flowing through APH.

C_{gas} : Capacity of the gas stream flowing through APH.

Apabila nilai dari C_{air} dan C_{gas} tidak diketahui maka CR dapat diketahui dengan persamaan lain. CR adalah rasio dari heat capacity udara yang melewati air heater dengan heat capacity flue gas yang melewati air heater.

$$CR = \left[\frac{T_{gi} - T_{go,NL}}{T_{ao} - T_{ai}} \right] \text{ atau } \frac{GSE}{\varepsilon}$$

2.9.4. Log Mean Temperature Difference (LMTD)

LMTD merupakan metode untuk menghitung kemampuan transfer panas *heat exchanger* dari segi termal jika temperatur masuk dan keluar dari sisi panas maupun dingin diketahui. Ada beberapa asumsi yang harus terpenuhi untuk menghitung performa *heat exchanger* menggunakan LMTD, yaitu:

- *Heat exchanger* diisolasi (tidak ada perpindahan panas dengan lingkungan sekitar, hanya bagian fluida panas dan dingin saja).
- Energi potensial dan energi kinetik diabaikan
- Fluida memiliki panas jenis (*specific heat*) konstan.
- Koefisien overall heat transfer konstan.

- Tidak terjadi perubahan fase pada fluida.

$$\Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln \frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}} \text{ atau } \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}}$$

Dimana untuk menghitung *heat exchanger counterflow*, *endpoint temperature difference* didefinisikan sebagai berikut:

$$\Delta T_1 = T_{h,1} - T_{c,1} = T_{gi} - T_{ao}$$

$$\Delta T_2 = T_{h,2} - T_{c,2} = T_{go} - T_{ai}$$

Catatan : Untuk *counterflow* nilai T_{ao} boleh melampaui nilai dari T_{go} .

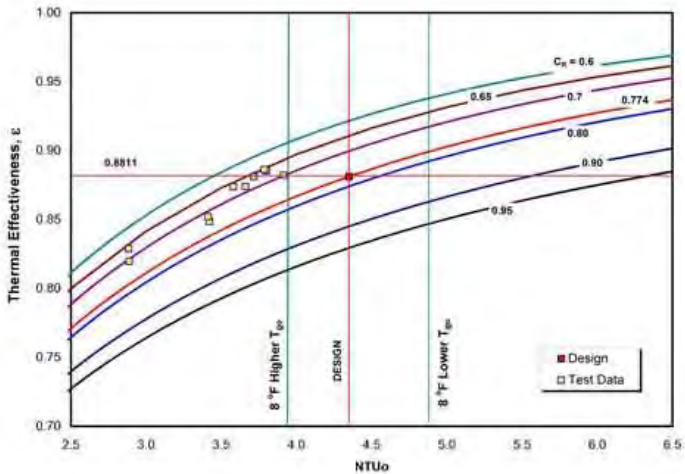
2.9.5. Efisiensi Air heater

Berdasarkan teori ε -NTU dari *heat exchanger*, efisiensi thermal (ε) dari air heater Ljungstrom tipe tipikal sebuah pembangkitan dapat dinyatakan dalam fungsi NTU dan C_R dari sebuah *heat exchanger*. Jika konstruksi fisik dan material dari sebuah *heat exchanger* diketahui, maka nilai performanya dapat ditentukan. Efisiensi thermal, dihitung dengan **Equation 1** adalah ditunjukkan sebagai fungsi Number of Transfer Unit (NTU), untuk nilai C_R antara 0.60 – 0.95 (lihat gambar di bawah ini). Efisiensi thermal dari sebuah air heater meningkat ketika ukuran dari air heater meningkat pula (diikuti nilai NTU meningkat) dan C_R ratio (flow rate dari udara pembakaran relatif terhadap *flue gas*) meningkat. Performa aktual dari air heater (dinyataan pada gambar di bawah), ditetapkan dari *Performance Test* air heater, dibandingkan dengan performa desain awal dari air heater.

$$C_R = C_{air} / C_{gas} \text{ (Equation 1)}$$

C_{air} = Capacity of the air stream flowing through the air heater

C_{gas} = Capacity of the gas stream flowing through the air heater



Gambar 30 Perfoma Air heater Tipikal Kondisi Design dan Test
(Sumber: ERC)

$$\varepsilon = \left[\frac{(T_{ao} - T_{ai})}{T_{gi} - T_{ai}} \right] = \left[\frac{T_{gi} - T_{go,NL}}{T_{gi} - T_{ai}} \right]$$

Keterangan:

- T_{gi} : Measured inlet flue gas temperature
- T_{go} : Measured outlet flue gas temperature
- T_{ai} : Measure inlet air temperature
- T_{ao} : Measured outet air temperature
- $T_{go,NL}$: Flue gas temperature at APH outlet, no-leakage condition

Berdasarkan American Standard ASME PTC 4.3 untuk memperoleh nilai temperature gas outlet yang diasumsikan tanpa kebocoran dan semua kebocoran terjadi pada sisi air heater *cold end* ($T_{go,NL}$) adalah sebagai berikut.

$$T_{go,NL} = \delta_L \frac{C_{pa}}{C_{pg}} \times (T_{go} - T_{ai}) + T_{go}$$

Keterangan:

- C_{pa} : Mean specific heat of air
- C_{pg} : Mean specific heat of flue gas

2.9.6. Faktor Koreksi Air heater

Sebelum menggambarkan kesimpulan yang berkaitan dengan performa air heater aktual dan desain, hasil pengujian harus dikoreksi terlebih dahulu terhadap kondisi operasi yang ditentukan oleh pabrikan air heater untuk mengetahui perbedaan temperatur udara dan flue gas serta Capacity Rate Ratio. Karena pabrikan air heater memberikan jaminan performa thermal (biasanya temperatur outlet flue gas air heater) pada kondisi desain pabrik (temperatur udara dan gas inlet, flow rate dari udara dan gas pada air heater), koreksi dibutuhkan untuk mengkoreksi data pengujian dengan kondisi desain pabrik. ASME PTC 4.3 merupakan standar koreksi untuk pengujian nilai $T_{go,NL}$ (temperature flue gas outlet) untuk penyimpangan di dalam parameter pengoperasian dari nilai-nilai desain mereka.

✚ Temperatur udara inlet

✚ Temperatur gas inlet

✚ Capacity Rate Ration

Berikut penulis akan menjelaskan beberapa faktor koreksi air heater.

a. Temperatur Udara Inlet

Berdasarkan kode ASME PTC 4.3, nilai dari $T_{go,NL}$ terkoreksi untuk penyimpangan di dalam temperatur udara inlet dari nilai desainnya ditetapkan dari:

$$T_{go,NL,corr \text{ for } T_{ai}} = \left[T_{ai,des} (T_{gi} - T_{go}) + T_{gi} \frac{T_{go} - T_{ai}}{T_{gi} - T_{ai}} \right]$$

Keterangan:

$T_{go,NL,corr \text{ for } T_{ai}}$

Temperatur flue gas pada air heater outlet untuk kondisi tanpa kebocoran dan penyimpangan temperature udara inlet.

$T_{ai,des}$

Nilai desain **dari** temperatur udara inlet sebuah air heater.

b. Temperatur Gas Inlet

Nilai dari $T_{go,NL}$ terkoreksi untuk penyimpangan pada temperatur gas inlet dari nilai desain pabrikan adalah berdasarkan kode ASME PTC 4.3, ditentukan dari:

$$T_{go,NL,corr} \text{ for } T_{gi} = \left[T_{gi,des} (T_{go} - T_{ai}) + T_{ai} \frac{T_{gi} - T_{go}}{T_{gi} - T_{ai}} \right]$$

Keterangan:

$T_{go,NL,corr} \text{ for } T_{gi}$

Temperatur outlet flue gas air heater untuk kondisi tanpa kebocoran dan penyimpangan temperatur gas inlet.

$T_{gi,des}$

Nilai desain dari temperatur gas inlet.

Kedua persamaan di atas dikembangkan dengan asumsi bahwa nilai GSE adalah konstan. Walaupun nilai GSE tidak selalu konstan ketika udara atau gas inlet berubah-ubah, persamaan di atas tetap perkiraan paling bagus untuk perubahan yang kecil pada bagian temperatur inlet. Koreksi terhadap temperatur udara inlet dan temperatur gas inlet juga dapat diperoleh menggunakan teori ϵ -NTU dan nilai efisiensi desain pabrikan Capacity Rate Ratio (CR). Maka persamaannya menjadi sebagai berikut.

$$T_{go,NL,corr} \text{ for } T_{ai} = T_{gi,des} - C_{R,des} \epsilon_{des} (T_{gi,des} - T_{ai,act})$$

$$T_{go,NL,corr} \text{ for } T_{gi} = T_{gi,act} - C_{R,des} \epsilon_{des} (T_{gi,act} - T_{ai,des})$$

Nilai hasil yang didapat untuk kedua persamaan di atas menghasilkan nilai yang sangat identik secara virtual.

c. Capacity Rate Correction

Berdasarkan kode ASME PTC 4.3, nilai $T_{go,NL}$ dikoreksi untuk penyimpangan *Capacity Rate Ratio* dari nilai desain ditentukan dari:

$$T_{go,NL,corrected \text{ for } CR} = \frac{T_{gi}(1 - \eta_G)}{F_x} + \frac{T_{ai} \eta_G}{F_x}$$

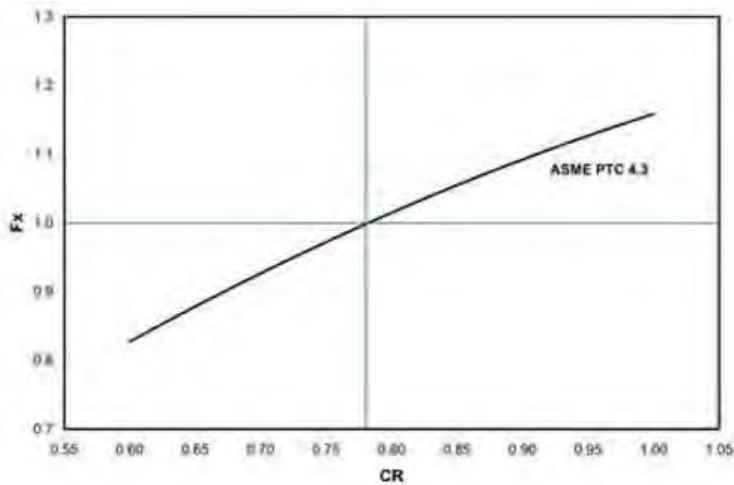
Keterangan:

$T_{go,NL \text{ corrected for } CR}$

Temperatur outlet flue gas air heater terkoreksi untuk kondisi “no-leakage” dan penyimpangan *capacity rate ratio*.

F_x = Faktor koreksi ASME untuk penyimpangan C_R

Seperti yang telah ditentukan oleh kode ASME, faktor koreksi F_x ditentukan dari kurva desain koreksi yang cocok (biasanya disediakan oleh pabrik), dimana dapat dibuktikan dengan pengujian lapangan, walaupun prosedur ini dipertimbangkan tidak praktis. Harus diingat bahwa kurva F_x dan nilai numerik dari faktor koreksi F_x tidak independen terhadap ukuran air heater, dan oleh sebab itu diperlukan kurva F_x yang spesifik.



Gambar 31 Faktor Koreksi Capacity Rate berdasarkan ASME PTC 4.3
(Sumber: ASME)

2.10. Heat Transfer Air Heater

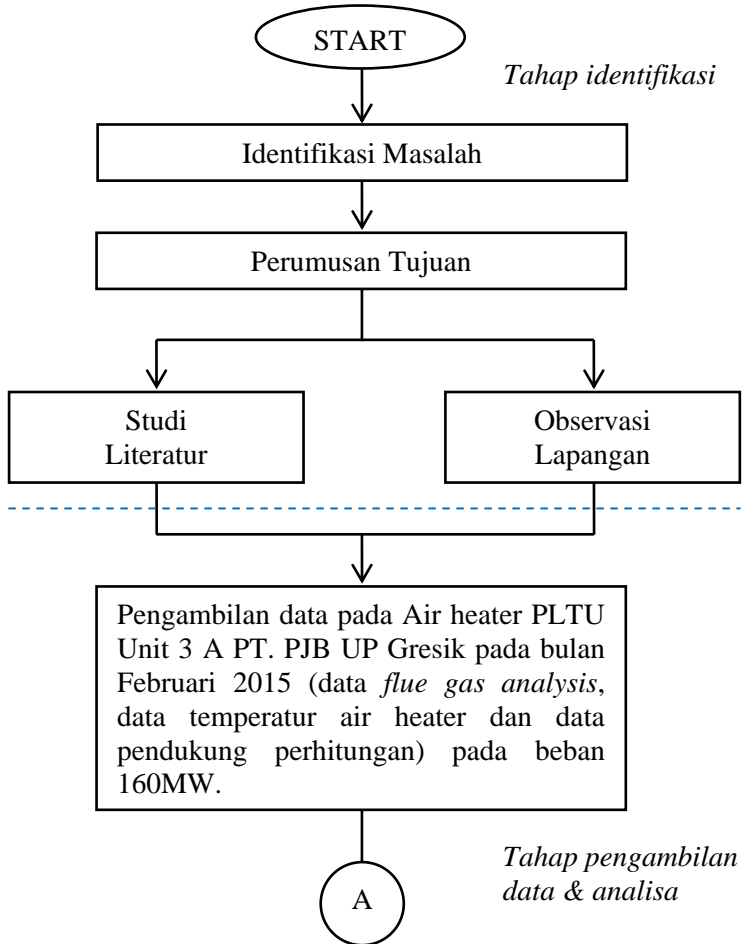
Sebuah heat exchanger memiliki kemampuan *heat transfer* yang berbeda-beda. Sehingga untuk mendesain atau memprediksi performa sebuah *heat exchanger*, perlu sekali untuk menghubungkan *total heat transfer rate* dengan kuantitas seperti temperatur fluida inlet dan outlet, koefisien *overall heat transfer*, dan *total area heat transfer*. Berikut adalah perhitungan untuk *heat transfer* air heater:

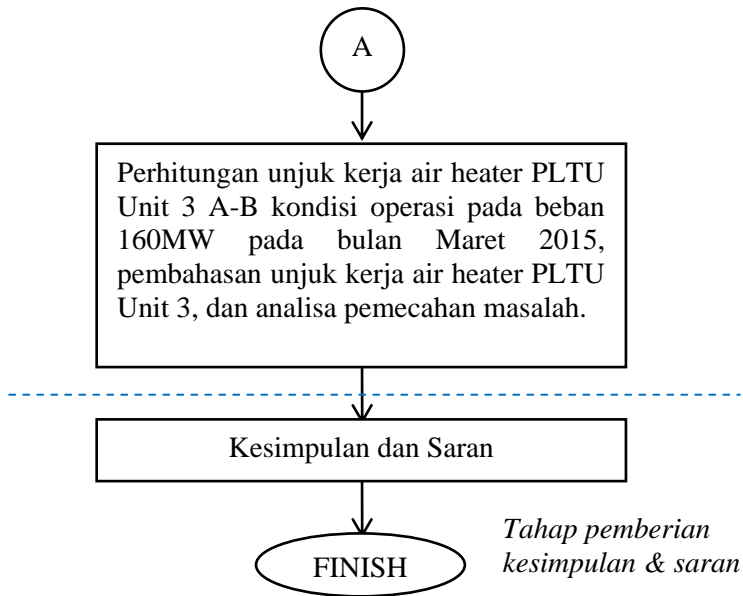
$$q = \dot{m}_a \times C_{pa} \times \Delta T \text{ dan } \dot{m}_g \times C_{pg} \times \Delta T$$

Dimana ΔT adalah selisih temperatur sisi gas dan sisi udara. Sedangkan parameter lain diperoleh dari sisi gas dan udara untuk masing-masing \dot{m} dan C_p .

BAB III METODOLOGI PENULISAN

3.1. Flowchart Pengerjaan Tugas Akhir





Gambar 32 Flowchart Pengerjaan Tugas Akhir

3.2. Penjelasan Flowchart Pengerjaan Tugas Akhir

Berikut ini adalah penjelasan flowchart pengerjaan tugas akhir.

3.2.1. Tahap Identifikasi

Tahapan identifikasi berisikan pengamatan terhadap masalah yang terjadi sehingga dapat dirumuskan menjadi tujuan dari penelitian. Studi literatur meliputi mencari dan mempelajari bahan pustaka yang berkaitan dengan air heater. Referensi yang dipakai meliputi buku-buku literatur yang digunakan dalam perkuliahan, buku-buku diperpustakaan pusat ITS yang berhubungan dengan air heater, dan buku-buku di perpustakaan PT. PJB UP Gresik yang berhubungan dengan air heater. Studi literatur juga mengambil beberapa materi berkenaan dengan air heater dari jurnal ilmiah dan beberapa penelitian terdahulu yang berkaitan dengan air heater. Observasi Lapangan meliputi pengamatan proses

kerja air heater PLTU Unit 3 A PT. PJB UP Gresik. Selain itu juga dilakukan identifikasi komponen-komponen dan alat bantu pada air heater serta melakukan identifikasi mengenai komponen-komponen pendukung dalam sistem kerja air heater.

3.2.2. Tahan Pengumpulan Data dan Analisa

Dari studi literatur dan observasi lapangan mengenai unjuk kerja air heater, dilakukan pengambilan data pada air heater PLTU Unit 3 Sisi A PT. PJB UP Gresik khususnya pada bulan Februari 2015 dengan pembebanan 160MW. Data yang dibutuhkan untuk analisa didapat dari bagian Perencanaan dan Pengendalian (Rendal) OP PLTU Unit 3, Central Control Unit (CCR) PLTU Unit 3 dan laboratorium PLTU. Data yang diperoleh meliputi:

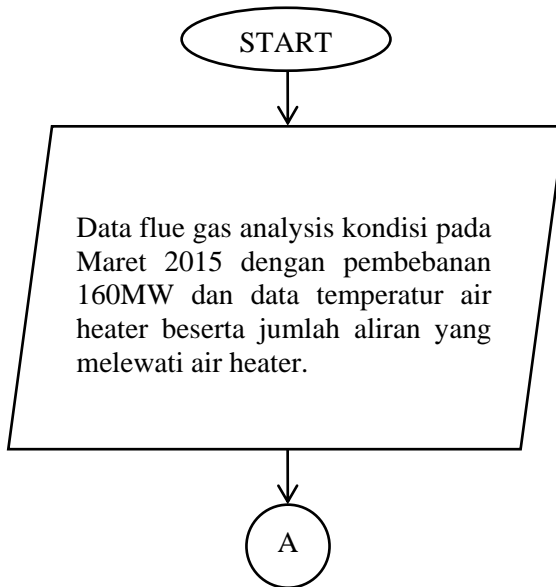
- a. Data pengujian *flue gas* dan bahan bakar minyak PLTU Unit 3-4 (kondisi sekarang)
- b. Data performance test air heater PLTU Unit 3 A
- c. Spesifikasi air heater PLTU Unit 3 PT. PJB UP Gresik
- d. Data-data pendukung yang diperlukan untuk perhitungan dan analisa unjuk kerja air heater, antara lain:
 - Temperatur udara inlet air heater
 - Temperatur gas inlet air heater
 - Temperatur udara outlet air heater
 - Temperatur gas outlet air heater
 - Air flow air heater
 - *Specific heat of Flue Gas*
 - *Specific heat of Air*
 - Persentase CO₂, O₂, CO, dan N₂ yang terkandung pada flue gas

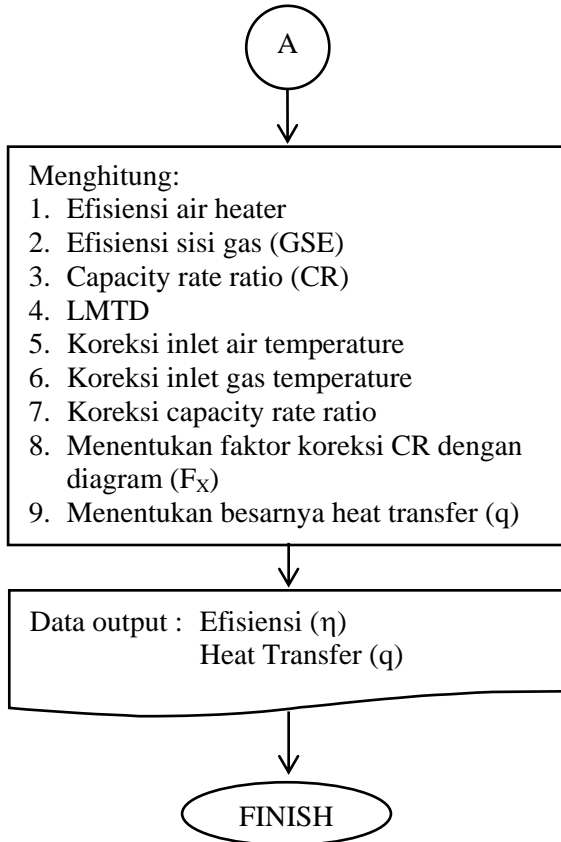
Setelah melakukan pengambil data yang diperlukan, maka menghitung unjuk kerja dari air heater serta melakukan analisa terhadap unjuk kerja air heater dan memberikan solusi pemecahan masalah.

3.2.3. Tahap Pemberian Kesimpulan dan Saran

Tahapan ini merupakan akhir dari analisa unjuk kerja air heater, yaitu dengan menarik kesimpulan yang didapat dari hasil perhitungan unjuk kerja. Selanjutnya dapat memberikan saran kepada PT. PJB UP Gresik khususnya pada pembangkitan PLTU dan untuk penelitian selanjutnya.

3.3. Flowchart Perhitungan





Gambar 33 Flowchart Perhitungan

3.4. Penjelasan Flowchart Perhitungan

Dalam melakukan perhitungan, penulis melakukan perhitungan berdasarkan rumus yang sudah dijelaskan pada BAB II DASAR TEORI dan dengan data yang sudah disediakan pada BAB IV PERHITUNGAN DAN PEMBAHASAN. Berikut ini adalah langkah-langkah untuk mendapatkan efisiensi air heater:

- a. Menghitung efisiensi air heater tanpa koreksi temperature gas outlet air heater.
- b. Menghitung GSE (Gas Side Efficiency).

- c. Menghitung temperatur flue gas dengan kondisi tanpa kebocoran.
- d. Mencari nilai specific heat of flue gas.
- e. Mencari nilai specific heat of air.
- f. Menghitung Capacity Rate Ratio (CR) atau XR.
- g. Menghitung LMTD
- h. Menghitung beberapa koreksi berdasarkan ASME PTC 4.3, meliputi koreksi inlet air temperatur, inlet gas temperature, dan capacity rate.
- i. Mencari nilai F_X dengan diagram berdasarkan standar ASME PTC 4.3.
- j. Menghitung kembali efisiensi yang sebenarnya berdasarkan beberapa koreksi yang telah dihitung sebelumnya.
- k. Menghitung besarnya heat transfer yang terjadi pada regenerative air heater tipe Ljungström.

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1. Data Operasi Air Heater pada Beban 160MW di PLTU Unit 3 PT. PJB UP Gresik

Pada saat pengoperasian saat ini PLTU Unit 3 di PT. PJB UP Gresik menggunakan regenerative air heater tipe Ljungström. Untuk melakukan analisa lebih lanjut diperlukan beberapa data pengujian flue gas, data penunjang seperti temperatur air heater dan spesifikasi teknisnya. Data temperatur yang didapat dengan menggunakan filter pada beban 160MW adalah sebagai berikut:

Tabel 1 Data Temperatur Air Heater PLTU Unit 3 PT. PJB UP Gresik (160MW) bulan Februari 2015

Air Heater Temperature (160MW) Februari 2015					
NO	T_{ai} (°C)	T_{ao} (°C)	T_{gi} (°C)	T_{go} (°C)	LOAD (MW)
1	41.379	261.864	314.868	106.016	167.645
2	40.503	254.878	303.725	104.492	160.552
3	40.815	256.110	305.662	105.568	160.893
4	40.169	256.592	305.852	104.968	160.089
5	40.789	256.880	306.026	105.395	160.199
6	39.286	252.542	301.331	102.860	160.199
7	40.337	254.952	304.347	105.007	160.625
8	41.010	256.184	304.957	105.637	160.747
9	41.405	256.592	304.966	106.038	160.235
10	40.036	256.880	305.811	105.312	160.174
11	37.055	257.193	305.841	103.597	160.589
12	36.188	256.175	304.363	102.980	160.333
13	36.356	249.982	303.915	100.023	165.226
14	39.338	257.827	308.045	104.734	160.077
15	39.266	257.226	307.432	104.280	160.223

16	39.631	257.279	307.720	104.567	160.345
17	39.631	257.247	307.432	104.280	160.046
18	39.338	257.332	307.388	104.280	160.010
19	35.049	256.873	306.961	101.389	160.589
AVG	39.346	256.348	306.139	104.285	160.989

Keterangan : AVG = Average

Selain dibutuhkan data temperatur, berikut ini merupakan data yang didapat dari hasil pengujian kandungan *flue gas analysis* yang dilaksanakan oleh pihak Laboratorium PLTU per bulan Februari 2015. Data yang diperoleh dari *flue gas analysis* ini diukur menggunakan peralatan orsat yang diukur dari dua tempat yang berbeda, yaitu pada saluran gas buang/*flue gas duct* sebelum masuk air heater (*Economizer Outlet*) dan pada saluran gas buang air heater yang akan masuk ke cerobong.

Tabel 2 Data Analisis Flue Gas Boiler Unit 3 (160MW) Sisi Keluaran Economizer

Flue Gas Analysis at Economizer Outlet				
NO	ITEM	KET	VALUE	UNIT
1	Carbon dioxide (CO ₂)	Labor	11.00	vol.%
2	Oxygen (O ₂)	Labor	1.50	vol.%
3	Carbon monoxide (CO)	Labor	0.0019	vol.%
4	Nitrogen (N ₂)	Labor	87.50	vol.%

Tabel 3 Data Analisis Flue Gas Boiler Unit 3 (160MW) Sisi Keluaran Air Heater

Flue Gas Analysis at Air Heater Outlet				
NO	ITEM	KET	VALUE	UNIT
1	Carbon dioxide (CO ₂)	Labor	8.90	vol.%

2	Oxygen (O ₂)	Labor	5.10	vol.%
3	Carbon monoxide (CO)	Labor	0.0001	vol.%
4	Nitrogen (N ₂)	Labor	86.00	vol.%

Berikut ini adalah data-data penunjang yang didapat dari CCR PLTU, Randal Operasi PLTU Unit 3 dan Perpustakaan PT. PJB UP Gresik yang diperlukan untuk menganalisa unjuk kerja air heater PLTU Unit 3.

Tabel 4 Data Pendukung untuk Analisa Unjuk Kerja Air Heater PLTU Unit 3 PT. PJB UP Gresik

NO	ITEM	VALUE	UNIT
1	Air flow AH inlet (\dot{m}_{ai})	650.00	kg/h
2	Air flow AH outlet (\dot{m}_{ao})	604.80	kg/h
3	Gas flow AH inlet (\dot{m}_{gi})	646.10	kg/h
4	Gas flow AH outlet (\dot{m}_{go})	691.30	kg/h
5	Full-length AH (δ_L)	2.85	m
6	Total heat transfer area (A)	22,360	m ²
7	O ₂ inlet (flue gas)	1.50	vol.%
8	O ₂ outlet (flue gas)	5.10	vol.%
9	Flue Gas Moisture	4.00	vol.%

Untuk perhitungan koreksi maka dibutuhkan data-data desain dari air heater. Nilai desain digunakan untuk mengetahui temperatur gas outlet yang sudah dikoreksi. Berikut ini adalah nilai temperatur desain awal dari regenerative air heater PLTU Unit 3:

Tabel 5 Data Temperatur Desain Awal Air Heater PLTU Unit 3 PT. PJB UP Gresik

DESIGN VALUE AIR HEATER PLTU UNIT 3			
NO	ITEM	VALUE	UNIT
1	Air Temp. Inlet	34.00	°C
2	Air Temp. SCAH Outlet	88.00	°C
3	Air Temp. AH Outlet	330.00	°C

4	Gas Temp. Econ. Outlet	352.00	°C
5	Gas Temp. AH Outlet	142.00	°C

Keterangan :

Data di atas diambil dari *Manual Book Division I, Vol. I, Plant General* yang terdapat pada arsip perusahaan tersimpan di Perpustakaan PT. PJB UP Gresik.

4.2. Analisa Kondisi Operasi Air heater pada Beban 160MW di PLTU Unit 3 PT. PJB UP Gresik

Perhitungan analisa unjuk kerja air heater, semua data yang diambil adalah data pada saat beban rata-rata 160MW yang didapat pada bagian Rendal Operasi PLTU Unit 3 PT. PJB UP Gresik.

4.2.1. Perhitungan Efisiensi Air Heater Menggunakan Flue Gas Metering

Untuk menghitung efisiensi air heater, yang pertama adalah menggunakan data-data yang didapat dari *metering device* yang terdapat di Local. Dengan menggunakan data yang terdapat pada **Tabel 1** dan persamaan yang tertulis pada **Bab II, sub nomor 2.7.4 Efisiensi Air Heater halaman 44**, maka perhitungannya menjadi seperti yang tertulis di bawah ini:

$$\varepsilon = \frac{(T_{ao} - T_{ai})}{(T_{gi} - T_{ai})}$$

$$\varepsilon = \frac{(256.348^{\circ}\text{C} - 39.346^{\circ}\text{C})}{(306.139^{\circ}\text{C} - 39.346^{\circ}\text{C})}$$

$$\varepsilon = 0.813$$

Dari perhitungan di atas diperoleh nilai efektivitas saat ini pada saat air heater beroperasi pada beban 160MW adalah **0.813** atau 81.3%

Nilai efektivitas 0.813 ini tentunya masih belum termasuk koreksi apabila tidak terjadi kebocoran (*correction for no-leakage condition*)

4.2.2. Perhitungan Koreksi Temperatur Gas Outlet untuk Kondisi Tanpa Kebocoran

Berdasarkan perhitungan standar ASME PTC 4.3 untuk menghitung temperatur gas outlet (*no-leakage*) diasumsikan semua kebocoran terjadi pada sisi air heater *cold end*. Perhitungan temperatur gas outlet tanpa kebocoran seperti tertulis di bawah ini:

$$T_{go,NL} = \delta_L \times \frac{C_{pa}}{C_{pg}} \times (T_{go} - T_{ai}) + T_{go}$$

Berdasarkan rumus di atas, masih terdapat 2 variabel yang belum diketahui nilainya, yaitu C_{pa} dan C_{pg} . Oleh karenanya, di bawah ini akan dihitung berapa besarnya nilai *mean specific heat of air and gas*.

Pertama adalah menghitung *mean specific heat of air* dengan menggunakan interpolasi Tabel A.4 yang terdapat pada buku *Fundamental of Heat and Mass Transfer by Frank P. Incropera*. Untuk menghitung *mean specific heat* (C_p) tentunya dibutuhkan data temperatur yang digunakan sebagai acuan. Dikarenakan temperatur antara sisi gas dan udara yang tidak sama antara inlet dan outlet, maka temperatur yang dipakai adalah temperatur rata-rata dari sisi gas dan udara inlet dan outlet. Sehingga diperoleh temperatur rata-rata udara air heater adalah sebagai berikut:

$$Temp. rata - rata udara = \frac{T_{ai} + T_{ao}}{2}$$

$$Temp. rata - rata udara = \frac{39.346^{\circ}\text{C} + 256.348^{\circ}\text{C}}{2}$$

$$Temp. rata - rata udara = 147.847^{\circ}\text{C}$$

Sehingga apabila dikonversi ke dalam satuan Kelvin menjadi $147.847^{\circ}\text{C} + 273 = 420.847\text{ K}$

Langkah selanjutnya adalah mencari nilai C_{pa} dengan menggunakan interpolasi Tabel A.4 yang

terdapat pada buku *Fundamental of Heat and Mass Transfer by Frank P. Incropera*.

Tabel 6 Interpolasi Nilai C_{pa}

INTERPOLASI VALUE OF C_{pa}	
Temperature (K)	C_{pa} (kJ/kg.K)
400	1.014
420.847	C _{pa}
450	1.021

Nilai dari C_{pa} adalah:

$$\left(\frac{1.021 - 1.014}{450 - 400} \right) \frac{kJ}{kg \cdot K} = \left(\frac{C_{pa} - 1.014}{420.847 - 400} \right) \frac{kJ}{kg \cdot K}$$

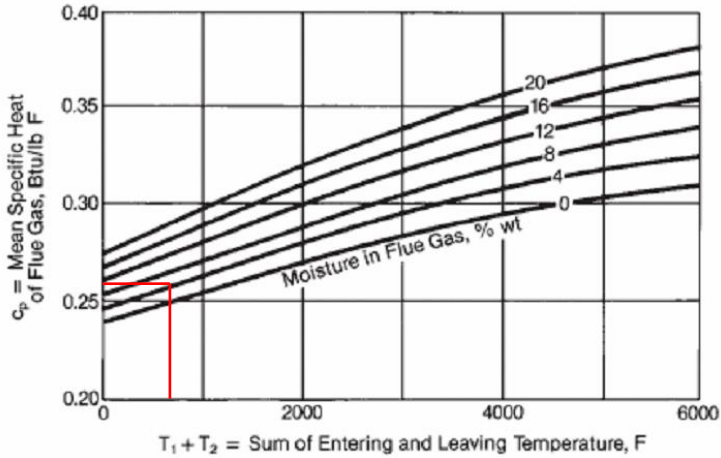
$$50K \times (C_{pa} - 1.014) \frac{kJ}{kg \cdot K} = 0.007K \times 20.487 \frac{kJ}{kg \cdot K}$$

$$C_{pa} = \frac{0.14341 \frac{kJ}{kg} + 50.7 \frac{kJ}{kg}}{50K}$$

$$C_{pa} = 1.0169 \frac{kJ}{kg \cdot K}$$

Dari perhitungan di atas diperoleh nilai C_{pa} adalah $1.0169 \frac{kJ}{kg \cdot K}$.

Langkah selanjutnya adalah mencari nilai *mean specific heat of gas* (C_{pg}). Untuk mencari nilai C_{pg} dibutuhkan grafik C_{pg} dengan jumlah temperatur gas inlet dan outlet.



Gambar 34 Grafik C_{pg} Flue Gas

Untuk mendapatkan nilai C_{pg} dibutuhkan penjumlahan temperatur antara gas inlet dan outlet adalah sebagai berikut:

$$T_{gi} + T_{go} = 583.050^\circ\text{F} + 219.714^\circ\text{F} = 802.764^\circ\text{F}$$

Sehingga apabila ditarik garis ke atas dan ke samping antara penjumlahan temperatur gas inlet dan gas outlet dengan nilai C_{pg} , maka didapat nilai C_{pg} dengan moisture 4% adalah $0.253 \frac{\text{Btu}}{\text{lb.F}}$. Sebelum data C_{pg} dipakai, maka terlebih dahulu harus di konversi ke satuan yang sama dengan C_{pa} .

$$C_{pg} = 0.253 \times 4.186798 \frac{\text{kJ}}{\text{kg.K}} = 1.0593 \frac{\text{kJ}}{\text{kg.K}}$$

Keterangan: $1 \frac{\text{Btu}}{\text{lb.F}} = 4.186798 \frac{\text{kJ}}{\text{kg.K}}$

Setelah nilai *specific heat of air and gas* sudah diketahui, maka perhitungan koreksi temperatur gas outlet dapat diperoleh sebagai berikut:

$$T_{go,NL} = \frac{\delta_L}{100\%} \times \frac{C_{pa}}{C_{pg}} \times (T_{go} - T_{ai}) + T_{go}$$

$$T_{go,NL} = \frac{21.236\%}{100\%} \times \frac{1.0169 \frac{kJ}{kg \cdot K}}{1.0593 \frac{kJ}{kg \cdot K}} \times (104.285 - 39.346)K$$

$$+ 104.285K$$

$$T_{go,NL} = 117.525^\circ C$$

Jadi, nilai koreksi untuk temperatur gas outlet $T_{go,NL}$ adalah $117.525^\circ C$.

4.2.3. Perhitungan Efisiensi Sisi Gas (Gas Side Efficiency/GSE)

Untuk mendapatkan nilai efisiensi sisi gas sudah dapat dicari karena nilai dari koreksi temperatur gas outlet sudah diketahui yaitu $104.329^\circ C$.

$$GSE = \frac{T_{gi} - T_{go,NL}}{T_{gi} - T_{ai}}$$

$$GSE = \frac{306.139^\circ C - 117.525^\circ C}{306.139^\circ C - 39.346^\circ C}$$

$$GSE = 0.707$$

Jadi, nilai Gas Side Efficiency / GSE adalah 0.707 atau 70.7%.

4.2.4. Perhitungan Capacity Rate Ratio (CR)

Untuk mengetahui rasio heat capacity udara yang melewati air heater dengan *heat capacity flue gas* yang melewati air heater perhitungannya seperti di bawah ini:

$$CR = \left[\frac{T_{gi} - T_{go,NL}}{T_{ao} - T_{ai}} \right]$$

$$CR = \left[\frac{306.139^\circ C - 117.525^\circ C}{256.348^\circ C - 39.346^\circ C} \right]$$

$$CR = 0.8692$$

Untuk memastikan bahwa nilai CR adalah valid, maka dilakukan validasi hasil menggunakan persamaan lain seperti tertulis di bawah ini:

$$CR = \frac{GSE}{\varepsilon}$$

$$CR = \frac{0.707}{0.813}$$

$$CR = 0.8692$$

Dari kedua persamaan didapat hasil yang sama. Sehingga nilai CR adalah 0.8692

4.2.5. Perhitungan Log Mean Temperature Difference (LMTD)

Untuk mengetahui performa dari heat exchanger maka diperlukan perhitungan LMTD. Berikut ini adalah perhitungan LMTD dari air heater:

$$\Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln \frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}} \text{ atau } \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}}$$

Dimana:

$$\begin{aligned} \Delta T_1 &= T_{gi} - T_{ao} \\ &= 306.139^\circ\text{C} - 256.348^\circ\text{C} = 49.791^\circ\text{C} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta T_2 &= T_{go} - T_{ai} \\ &= 104.285^\circ\text{C} - 39.346^\circ\text{C} = 64.939^\circ\text{C} \end{aligned}$$

$$\Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}}$$

$$\Delta T_{lm} = \frac{49.791^\circ\text{C} - 64.939^\circ\text{C}}{\ln \frac{49.791^\circ\text{C}}{64.939^\circ\text{C}}}$$

$$\Delta T_{lm} = 57.0303^\circ\text{C}$$

Jadi nilai LMTD untuk air heater adalah 57.0303°C.

4.2.6. Perhitungan Koreksi Inlet Air Temperature

Untuk mengetahui nilai efisiensi sebuah regenerative air heater, maka diperlukan beberapa koreksi temperature apabila kondisi “no-leakage”. Berikut ini adalah nilai dari temperatur inlet air kondisi “no-leakage”:

$$T_{go,NL,corr \text{ for } Tai} = \left[T_{ai,des} (T_{gi} - T_{go}) + T_{gi} \frac{T_{go} - T_{ai}}{T_{gi} - T_{ai}} \right]$$

$$T_{go,NL,corr \text{ for } Tai} = 34^{\circ}\text{C} \times (306.139^{\circ}\text{C} - 104.285^{\circ}\text{C}) \\ + 306.139^{\circ}\text{C} \times \frac{104.285^{\circ}\text{C} - 39.346^{\circ}\text{C}}{306.139^{\circ}\text{C} - 39.346^{\circ}\text{C}}$$

$$T_{go,NL,corr \text{ for } Tai} = 100.2404^{\circ}\text{C}$$

Jadi nilai koreksi inlet air temperature kondisi “no-leakage” adalah 100.2404°C.

4.2.7. Perhitungan Koreksi Inlet Gas Temperature

Untuk mengetahui nilai koreksi temperatur gas inlet, maka perhitungannya menjadi seperti tertulis di bawah ini:

$$T_{go,NL,corr \text{ for } Tgi} = \left[T_{gi,des} (T_{go} - T_{ai}) + T_{ai} \frac{T_{gi} - T_{go}}{T_{gi} - T_{ai}} \right]$$

$$T_{go,NL,corr \text{ for } Tgi} = 352^{\circ}\text{C} \times (104.285^{\circ}\text{C} - 39.346^{\circ}\text{C}) \\ + 39.346 \times \frac{306.139^{\circ}\text{C} - 104.285^{\circ}\text{C}}{306.139^{\circ}\text{C} - 39.346^{\circ}\text{C}}$$

$$T_{go,NL,corr \text{ for } Tgi} = 115.4482^{\circ}\text{C}$$

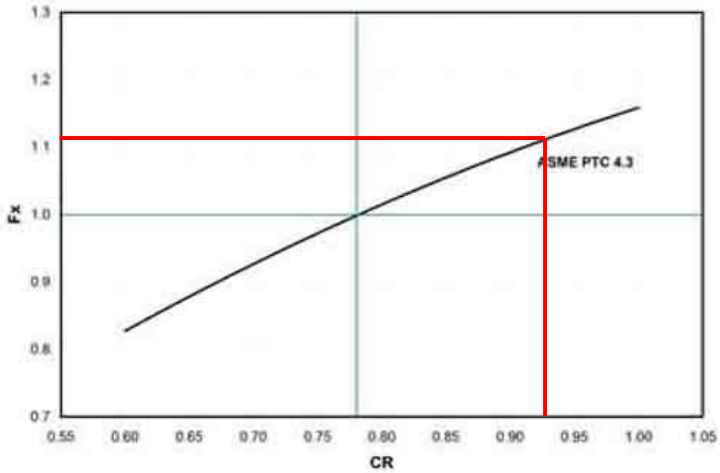
Jadi nilai koreksi inlet gas temperature kondisi “no-leakage” adalah 115.4482°C.

4.2.8. Perhitungan Koreksi Capacity Rate (CR)

Untuk mengetahui nilai koreksi *Capacity Rate*, maka perhitungannya menjadi seperti tertulis di bawah ini:

$$T_{go,NL,corrected \text{ for CR}} = \frac{T_{gi}(1 - \eta_G)}{F_x} + \frac{T_{ai} \eta_G}{F_x}$$

Sebelum melakukan perhitungan, perlu ditentukan nilai F_x . Dimana nilai F_x didasarkan pada grafik di bawah ini, dan nilai CR.



Dengan nilai CR adalah 0.9300, maka faktor koreksi ASME untuk koreksi C_R adalah 1.12, sehingga perhitungannya menjadi seperti di bawah ini:

$$T_{go,NL,corrected \text{ for CR}} = \frac{T_{gi}(1 - \eta_G)}{F_x} + \frac{T_{ai} \eta_G}{F_x}$$

$$T_{go,NL,corrected \text{ for CR}} = \frac{306.139^\circ\text{C} \times (1 - 0.756)}{1.12} + \frac{39.346^\circ\text{C} \times 0.756}{1.12}$$

$$T_{go,NL,corrected \text{ for CR}} = 93.1510^\circ\text{C}$$

Jadi nilai koreksi capacity rate kondisi “no-leakage” adalah 93.1510°C.

4.2.9. Perhitungan Ulang Efisiensi dengan Koreksi

Setelah semua koreksi selesai dihitung, maka langkah selanjutnya adalah menghitung ulang efisiensi dengan koreksi temperatur gas outlet kondisi “no-leakage”

Efisiensi dengan koreksi Temperatur Inlet Air:

$$\varepsilon = \frac{T_{gi} - T_{go,NL,corr \text{ for } T_{ai}}}{CR \times (T_{gi} - T_{ai})}$$

$$\varepsilon = \frac{306.139^{\circ}\text{C} - 100.2404^{\circ}\text{C}}{0.8692 \times (306.139^{\circ}\text{C} - 39.346^{\circ}\text{C})}$$

$$\varepsilon = 0.888$$

Efisiensi dengan koreksi Temperatur Inlet Gas:

$$\varepsilon = \frac{T_{gi} - T_{go,NL,corr \text{ for } T_{gi}}}{CR \times (T_{gi} - T_{ai})}$$

$$\varepsilon = \frac{306.139^{\circ}\text{C} - 115.4482^{\circ}\text{C}}{0.8692 \times (306.139^{\circ}\text{C} - 39.346^{\circ}\text{C})}$$

$$\varepsilon = 0.822$$

Efisiensi dengan koreksi Capacity Rate:

$$\varepsilon = \frac{T_{gi} - T_{go,NL,corr \text{ for } CR}}{CR \times (T_{gi} - T_{ai})}$$

$$\varepsilon = \frac{306.139^{\circ}\text{C} - 93.1510^{\circ}\text{C}}{0.8692 \times (306.139^{\circ}\text{C} - 39.346^{\circ}\text{C})}$$

$$\varepsilon = 0.868$$

Tabel 7 Tabel Efisiensi Setelah Koreksi Temperatur Gas Outlet

Efficiency After Correction		
No	Koreksi	Efisiensi
1	Temperature Inlet Air	0.888
2	Temperature Inlet Gas	0.822
3	Capacity Rate	0.868
Rata-rata		0.859

Setelah dilakukan perhitungan terhadap beberapa koreksi T_{go} , maka didapat rata-rata efisiensi untuk kondisi “no-leakage” adalah 0.859 atau 85.9%

4.2.10. Perhitungan Heat Transfer

Untuk menentukan besarnya heat transfer (q) maka perhitungannya menjadi seperti tertulis di bawah ini:

$$q = \dot{m}_a \times C_{pa} \times \Delta T \text{ dan } \dot{m}_g \times C_{pg} \times \Delta T$$

Perhitungan *heat transfer* ada dua yaitu pada sisi gas dan sisi udara. Namun pada prinsipnya adalah nilai q keduanya adalah sama.

Sebelum melakukan perhitungan *heat transfer*, maka untuk mempermudah perhitungan, dihitung terlebih dahulu nilai ΔT dari masing-masing sisi gas dan sisi udara

$$\Delta T \text{ udara} = (312.346 - 529.348)K = 217.002K$$

$$\Delta T \text{ gas} = (579.139 - 377.285)K = 201.854K$$

Heat transfer sisi udara:

$$q = 604.80 \frac{kg}{h} \times 1.0169 \frac{kJ}{kg.K} \times 217.002K$$

$$q = 133,462.948 \frac{kJ}{h}$$

Heat transfer sisi gas:

$$q = 646.10 \frac{kg}{h} \times 1.0593 \frac{kJ}{kg.K} \times 201.854K$$

$$q = 138,146.227 \frac{kJ}{h}$$

Dari kedua perhitungan di atas, dapat dilihat bahwa kedua heat transfer sisi gas dan udara berbeda. Hal ini dikarenakan kurang presisinya penentuan nilai C_{pg} dengan grafik. Untuk itu, perlu dilakukan perhitungan dengan bantuan Microsoft Excell Add-ins Solver. Sehingga didapat nilai C_{pg} yang baru adalah $1.02335004941576 \frac{kJ}{kg.K}$ atau bila disederhanakan menjadi $1.02335 \frac{kJ}{kg.K}$.

Perhitungan heat transfer sisi gas dengan C_{pg} yang baru adalah seperti tertulis di bawah ini:

$$q = 646.10 \frac{kg}{h} \times 1.02335 \frac{kJ}{kg.K} \times 201.854K$$

$$q = 133,462.942 \frac{kJ}{h}$$

Dengan nilai C_{pg} yang baru, didapat besarnya heat transfer sisi gas yang mendekati dengan heat transfer sisi udara. Selisihnya sangat kecil, yaitu $0.006 \frac{kJ}{h}$.

4.2.11. Perhitungan Air-Leakage

Untuk mengetahui nilai kebocoran sisi gas, maka dilakukan perhitungan *air-leakage* pada air heater PLTU Unit 3 PT. PJB UP Gresik. Data yang diperlukan adalah *flue gas analysis* pada bulan Februari. Berikut adalah perhitungannya berdasarkan ASME PTC 4.3

$$\delta_L = \frac{\%CO_2 \text{ inlet heater} - \%CO_2 \text{ outlet heater}}{\%CO_2 \text{ outlet heater}} \times 90$$

$$\delta_L = \frac{11\% - 8.9\%}{8.9\%} \times 90$$

$$\delta_L = 21.236\%$$

Jadi nilai *air-leakage* untuk air heater PLTU Unit 3 adalah sebesar 21.236%

4.3. Pembahasan Unjuk Kerja Regenerative Air Heater PLTU Unit 3 PT. PJB UP Gresik

Hasil perhitungan unjuk kerja regenerative air heater menggunakan standar ASME PTC 4.3 pada PLTU Unit 3 PT. PJB UP Gresik menunjukkan bahwa air heater unit 3 mengalami penurunan efisiensi yang sangat kecil pada beban 160MW. Kondisi operasi 160MW memiliki efisiensi 0.813 atau 81.3%. Apabila kondisi tersebut dikoreksi dengan kondisi “*no-leakage*” maka efisiensi seharusnya adalah 0.859 atau 85.9%. selisihnya adalah 0.046 atau 4.6%.

Dari analisa di atas, dalam perhitungan efisiensi regeneratif air heater PLTU Unit 3 didapat selisih efisiensi yang sangat kecil. Hal ini dikarenakan beberapa hal yang menunjang unjuk kerja dari air heater tetap prima.

Hal utama penunjang unjuk kerja tetap prima yaitu penggunaan bahan bakar Natural Gas (NG) membuat beban kerja air heater ringan. Di sisi lain, maintenance dari air heater dilakukan dengan rutin, sehingga proses terjadinya *plugging* dapat dihindari sedini mungkin, dan memungkinkan proses transfer panas secara optimal. Untuk memperoleh efisiensi yang maksimal (sama dengan desain) sangat sulit untuk diperoleh dikarenakan masa pakai air heater/*lifetime* yang sudah lama. Menurut data dari PT. PJB UP Gresik bahwa air heater PLTU Unit 3 belum pernah diganti sejak tahun 1988. Dengan umur pakai mencapai 27 tahun dan penurunan efisiensi kurang dari 10% adalah hasil maintenance yang bagus. Karena penggantian yang dilakukan hanya pada bagian elementnya (rumah tawon) saja.

Nilai kebocoran (*air-leakage*) yang terjadi pada regenerative air heater PLTU PT. PJB UP Gresik adalah 21.236%. Hal ini menandakan bahwa kualitas seal air heater mengalami penurunan, sehingga persentase kebocoran tergolong tinggi. Apabila hal ini tidak segera diberikan penanganan, maka kerja air heater tidak optimal yang berakibat pada kerja boiler mengalami penurunan.

Besarnya heat transfer air heater PLTU Unit 3 mencapai $133,462.948 \frac{kJ}{h}$. Heat transfer yang cukup besar besar manandakan bahwa elemen-elemen yang terpasang masih mampu mentransferkan panas dari *flue gas* untuk memanaskan udara pembakaran ke dalam boiler.

BAB V PENUTUP

5.1. Kesimpulan

- 1) Air heater PLTU Unit 3 PT. PJB UP Gresik mengalami penurunan efisiensi sebesar 4.6% dimana pada kondisi 160MW sekarang 81.3% sedangkan apabila dengan kondisi yang sama yaitu 160MW namun keadaan “*no-leakage*” adalah 85.9%.
- 2) Laju perpindahan panas yang terjadi pada PLTU Unit 3 PT. PJB UP Gresik adalah $133,462,942 \frac{kJ}{h}$
- 3) Nilai *air-leakage* air heater PLTU Unit 3 PT. PJB UP Gresik adalah 21.236% (berdasarkan ASME PTC 4.3)
- 4) Faktor penyebab penurunan efisiensi adalah masa pakai air heater/*lifetime* yang cukup lama, yaitu mencapai 27 tahun (1988-sekarang) dan hanya dilakukan penggantian elemen.
- 5) Penurunan nilai efisiensi masih tergolong kecil, karena kurang dari 10%. Hal ini ditunjang dengan pemakaian bahan bakar Natural Gas (NG) pada boiler, dimana kandungan sulfur pada flue gas sangat kecil sehingga mengurangi kemungkinan terjadinya *plugging* pada elemen air heater.
- 6) Langkah-langkah peningkatan unjuk kerja air heater PLTU Unit 3 PT. PJB UP Gresik dengan cara meminimalisir kebocoran yang terjadi antara sisi gas dengan sisi udara. Hal ini dapat dilakukan dengan melakukan perawatan pada bagian seal-seal secara berkala dan rutin. Karena bagian ini merupakan bagian vital yang sangat penting proses terjadinya heat transfer.
- 7) Proses pengoperasian *soot blowing* penting dilaksanakan untuk air heater secara berkala untuk menjaga kebersihan heating elemen pada air heater.

5.2. Saran

✚ PT. PJB UP Gresik.

- 1) Air heater merupakan alat penunjang proses pembakaran yang sangat vital dalam hal mensuplai udara pembakaran ke boiler, oleh karenanya pola pengoperasian air heater harus dipantau dengan seksama. Hal ini diperuntukkan *lifetime* air heater supaya lebih lama lagi sehingga maintenance tidak memerlukan biaya yang banyak.
- 2) Upaya untuk meningkatkan efisiensi air heater adalah dengan meminimalisir kebocoran-kebocoran yang terjadi pada seal air heater melalui pola pengoperasian yang baik dan tindakan pemeliharaan yang tepat.
- 3) Pemeliharaan FD Fan secara berkala sangatlah penting, karena apabila FD Fan sudah tidak optimal, maka kebutuhan daya meningkat dan efisiensi PLTU secara keseluruhan menurun.

✚ Penelitian Selanjutnya

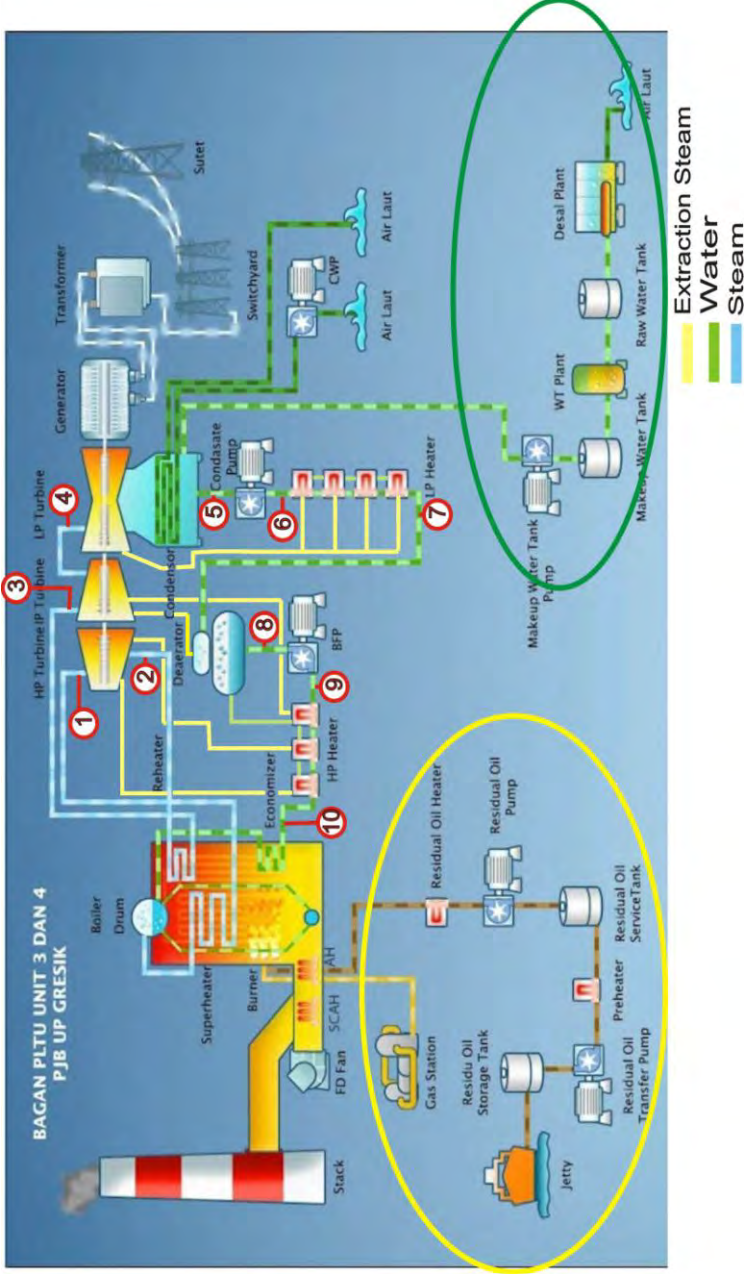
Perlu diadakan kajian detail mengenai seal-seal yang terdapat pada air heater. Karena seal ini merupakan komponen yang paling vital dan harus selalu bekerja pada kondisi optimal untuk menjaga agar tidak bocor antara bagian sisi gas dan sisi udara. Kajian dapat meliputi masa pakai seal, ketepatan pemasangan seal, dan penentuan posisi seal yang tepat sehingga didapat kondisi prima air heater.

DAFTAR PUSTAKA


- [1] *Air Heaters, Supplement to Performance Test Code for Steam Generating Units*, PTC 4.1, ASME/ANSI PTC 4.3 – 1974; Reaffirmed 1991, The American Society of Mechanical Engineers, New York, 1968.
- [2] Dukelow, S.G..Agustus 1984. *Improving Boiler Efficiency*. (terjemahan). Gresik: Perusahaan Umum Listrik Negara Pembangkitan dan Penyaluran Jawa Bagian Timur Sektor Gresik.
- [3] Gadelius, *Heat Exchanger-Ljungstrom Air Preheater*, Tokyo Japan: Gadelius Energy.
- [4] Icropera, Frank P. & Witt, D.P.D. 1966. *Fundamentals of Heat and Mass Transfer 7th Edition*. United States of America: John Wiley & Sons, Inc.
- [5] *Manual Book Division I, Vol.1, Plant General, Equipment Operation Manual*, Perusahaan Umum Listrik Negara Pembangkitan dan Penyaluran Jawa Bagian Timur Sektor Gresik Unit III & IV, Juni 1987.
- [6] *Manual Book Division I-General, Division II-Steam Generator and Auxiliary Equipment, Vol I-2, Equipment Maintenance Manual*, Perusahaan Umum Listrik Negara Pembangkitan dan Penyaluran Jawa Bagian Timur Sektor Gresik Unit III & IV, Juni 1987.
- [7] *Supplementary Material for Explanation of Ljungstrom Air Preheater*, Gresik Steam Power Plant, PLN.

Halaman ini sengaja dikosongkan

Lampiran 1 Skema PLTU Unit 3 dan 4



Lampiran 2 Flue Gas Analysis PLTU Unit 3-4

	PT PEMBANGKITAN JAWA BALI UNIT PEMBANGKITAN GRESIK		No. Dokumen : FMG-17					
	PJB INTEGRATED MANAGEMENT SYSTEM		No. Revisi : '00					
	FORMULIR		Tgl Berlaku : 01 Agustus 2014					
	PENGUJIAN FLUE GAS DAN BAHAN BAKAR MINYAK #3-4		Halaman : 1 dari 1					
Unit : 3 – 4	Suhu °C	Sampling Point	Parameter					
Hari/Tanggal : Rabu 18 Februari 2015			CO ₂ (%)	O ₂ (%)	CO (%)	N ₂ (%)	O ₂ Analyze ECO Out	
						Side A	Side B	
Lokasi : Eco Outlet 3	300.9	A	11.00	1.50	0.0019	87.50		
Beban : 160 MW	295.9	B	11.00	1.60	0.0002	87.40		
Waktu : 13.00-14.00 WIB								
Rata-rata			11.00	1.55	0.0011	87.45		
Lokasi : AH Outlet 3	106.3	A	8.90	5.10	0.0001	86.00		
Beban : 160 MW	108.9	B	8.20	6.50	0.0004	85.30		
Waktu : 13.00-14.00 WIB								
Rata-rata			8.55	5.80	0.0003	85.65		
Lokasi : Eco Outlet 4	342.3	A	11.40	0.80	0.0011	87.80		
Beban : 160 MW	341.0	B	11.30	0.90	0.0007	87.80		
Waktu : 13.00-14.00 WIB								
Rata-rata			11.35	0.85	0.0009	87.80		
Lokasi : Eco Outlet 4	103.3	A	6.50	9.40	0.0005	84.1		
Beban : 160 MW	122.3	B	8.90	5.20	0.0006	85.9		
Waktu : 13.00-14.00 WIB			7.70	7.30	0.0006	85.00		
Rata-rata								
$N_2\% = 100 - (CO_2\% + O_2\% + CO\%)$								

Catatan :

Bahan bakar yang dipakai adalah Natural Gas

Lampiran 3 Air Heater Temperature PT. PJB UP Gresik

Description	Generat or Load	A-AH Inlet Air Temp	A-AH Outlet Air Temp	A-AH Inlet Gas Temp	A-AH Outlet Gas Temp
Units	MW	°C	°C	°C	°C
2/1/15 1:00	107.817	36.473	240.696	284.958	93.093
2/1/15 2:00	107.262	36.473	240.658	285.153	93.093
2/1/15 3:00	107.213	36.262	240.419	284.839	92.859
2/1/15 4:00	106.574	36.411	240.728	285.294	92.912
2/1/15 5:00	107.092	36.108	240.728	285.327	92.912
2/1/15 6:00	107.902	35.924	240.668	285.603	92.731
2/1/15 7:00	108.633	37.273	240.858	284.993	93.388
2/1/15 8:00	108.658	39.059	241.280	285.241	94.423
2/1/15 9:00	106.982	40.383	241.686	285.603	95.499
2/1/15 10:00	109.468	41.055	241.881	286.204	96.345
2/1/15 11:00	108.036	41.713	242.060	286.045	96.549
2/1/15 12:00	110.157	40.872	242.089	286.084	96.117
2/1/15 13:00	108.024	41.756	240.671	283.836	96.123
2/1/15 14:00	106.171	41.377	240.058	284.418	95.873
2/1/15 15:00	108.060	41.203	240.668	285.028	95.873
2/1/15 16:00	105.044	40.746	241.879	285.629	96.137
2/1/15 17:00	107.853	40.413	241.453	285.608	95.767
2/1/15 18:00	109.767	38.293	241.269	284.996	94.475
2/1/15 19:00	108.859	36.636	240.668	285.007	92.960
2/1/15 20:00	103.582	36.636	239.457	283.775	92.541
2/1/15 21:00	105.190	36.811	240.070	284.977	92.734
2/1/15 22:00	109.718	37.138	240.202	284.891	92.954
2/1/15 23:00	104.660	36.830	240.348	284.358	92.720

2/2/15 1:00	106.744	37.193	239.430	284.358	92.887
2/2/15 2:00	106.037	37.245	239.474	283.743	92.503
2/2/15 3:00	110.711	36.885	239.465	283.734	92.525
2/2/15 4:00	104.855	36.700	239.314	284.335	92.480
2/2/15 5:00	106.994	36.894	239.838	283.734	92.631
2/2/15 6:00	106.379	36.596	239.509	284.335	92.445
2/2/15 7:00	107.914	36.956	239.498	283.723	92.639
2/2/15 8:00	109.517	38.095	240.067	283.723	93.093
2/2/15 9:00	141.363	38.829	248.561	300.852	97.871
2/2/15 10:00	147.231	39.989	251.618	300.842	100.115
2/2/15 11:00	147.981	39.994	252.177	302.135	100.318
2/2/15 12:00	147.414	41.947	254.042	304.592	102.854
2/2/15 13:00	150.662	42.840	253.439	303.965	103.092
2/2/15 14:00	148.115	43.374	253.395	303.715	103.117
2/2/15 15:00	150.418	43.203	253.395	303.341	103.109
2/2/15 16:00	149.809	40.695	252.834	303.950	101.651
2/2/15 17:00	155.202	35.158	249.806	297.328	97.411
2/2/15 18:00	152.149	34.815	250.386	302.716	97.041
2/2/15 19:00	153.550	34.763	250.968	302.685	97.472
2/2/15 20:00	151.168	35.627	250.958	301.485	97.425
2/2/15 21:00	143.514	36.129	245.520	286.269	94.158
2/2/15 22:00	108.377	37.436	238.276	280.889	92.628
2/2/15 23:00	106.403	36.811	237.675	280.703	91.959
2/3/15 1:00	107.360	36.693	237.703	281.258	92.149
2/3/15 2:00	107.347	36.667	237.681	280.948	91.752
2/3/15 3:00	107.853	36.139	237.502	280.915	91.699
2/3/15 4:00	106.147	36.139	237.648	280.980	91.677
2/3/15 5:00	109.937	36.174	237.713	281.505	91.496
2/3/15 6:00	106.622	36.174	238.282	282.106	91.668
2/3/15 7:00	109.176	37.991	238.174	281.485	92.761
2/3/15 8:00	104.563	39.130	238.401	281.485	93.400

2/3/15 9:00	117.189	40.181	239.506	285.144	94.899
2/3/15 10:00	151.619	40.252	247.975	298.664	99.142
2/3/15 11:00	156.640	41.058	251.580	302.346	101.096
2/3/15 12:00	153.892	41.886	252.782	303.590	102.615
2/3/15 13:00	149.047	42.090	253.383	304.791	103.030
2/3/15 14:00	157.779	39.919	253.395	304.170	101.681
2/3/15 15:00	155.573	39.416	253.209	304.771	101.099
2/3/15 16:00	94.173	40.397	231.555	264.188	94.515
2/3/15 17:00	108.426	40.546	237.573	281.879	93.611
2/3/15 18:00	103.460	41.100	239.376	283.092	94.665
2/3/15 19:00	111.442	36.184	239.123	283.158	91.579
2/3/15 20:00	107.347	36.359	238.165	281.870	91.359
2/3/15 21:00	107.829	36.333	238.206	282.480	91.156
2/3/15 22:00	109.730	36.421	238.059	282.383	91.329
2/3/15 23:00	108.036	36.622	238.465	283.101	91.510
2/4/15 1:00	109.188	36.570	238.767	282.971	91.677
2/4/15 2:00	107.737	36.873	239.152	283.711	91.884
2/4/15 3:00	107.518	36.908	239.368	284.312	92.299
2/4/15 4:00	108.195	36.868	239.363	284.173	92.096
2/4/15 5:00	83.423	37.550	234.539	275.289	90.562
2/4/15 6:00	0.396	37.920	200.765	217.891	67.656
2/4/15 7:00	0.104	31.161	183.007	189.495	59.384
2/4/15 8:00	0.116	29.525	169.485	172.936	56.522
2/4/15 9:00	0.116	29.155	159.743	168.672	54.817
2/4/15 10:00	0.104	29.499	150.592	157.011	53.522
2/4/15 11:00	0.116	29.482	143.876	156.397	52.435
2/4/15 12:00	0.104	29.847	139.032	150.210	51.585
2/4/15 13:00	0.116	30.356	132.359	139.162	50.752
2/4/15 14:00	0.116	31.028	127.443	137.325	50.122
2/4/15 15:00	0.104	30.541	123.758	142.204	49.274
2/4/15 16:00	0.116	30.197	121.916	147.714	48.189

2/4/15 17:00	0.116	29.863	118.866	136.463	47.279
2/4/15 18:00	0.116	47.170	186.801	216.802	82.124
2/4/15 19:00	0.091	43.536	177.578	195.183	88.062
2/4/15 20:00	46.258	43.736	183.095	208.200	93.436
2/4/15 21:00	107.128	44.755	241.104	277.399	154.491
2/4/15 22:00	110.626	36.119	240.515	284.091	94.802
2/4/15 23:00	109.974	36.440	238.712	283.478	92.407
2/5/15 1:00	109.937	36.779	239.923	284.701	93.249
2/5/15 2:00	109.962	36.343	240.524	285.302	92.985
2/5/15 3:00	110.510	36.686	241.125	285.903	93.241
2/5/15 4:00	110.376	36.651	240.754	285.796	93.302
2/5/15 5:00	109.950	37.148	240.787	285.661	93.269
2/5/15 6:00	110.437	37.294	240.808	285.487	93.246
2/5/15 7:00	110.084	37.822	240.798	285.478	93.722
2/5/15 8:00	109.541	39.633	241.193	285.726	94.811
2/5/15 9:00	109.529	40.491	240.515	284.692	95.025
2/5/15 10:00	109.998	41.976	240.580	284.692	95.890
2/5/15 11:00	110.084	42.670	240.515	284.091	96.313
2/5/15 12:00	109.974	43.357	240.861	284.339	96.966
2/5/15 13:00	109.767	43.381	241.746	285.333	97.169
2/5/15 14:00	110.242	41.844	241.965	284.732	96.789
2/5/15 15:00	109.791	41.458	241.441	284.777	96.366
2/5/15 16:00	110.059	41.479	241.128	284.692	96.343
2/5/15 17:00	110.010	41.445	241.343	285.070	96.343
2/5/15 18:00	110.084	41.080	241.506	284.789	96.159
2/5/15 19:00	110.315	40.403	241.279	284.972	95.521
2/5/15 20:00	110.400	36.194	241.202	284.123	93.333
2/5/15 21:00	109.456	35.727	239.313	282.320	91.772
2/5/15 22:00	110.132	35.759	238.712	282.462	91.532
2/5/15 23:00	109.639	35.769	239.339	283.527	91.778
2/6/15 1:00	111.016	36.392	240.555	284.892	92.600

2/6/15 2:00	109.791	36.937	240.374	284.713	92.820
2/6/15 3:00	110.291	36.946	240.158	284.790	93.023
2/6/15 4:00	109.901	36.982	240.504	284.627	93.001
2/6/15 5:00	109.602	36.674	240.386	285.358	92.608
2/6/15 6:00	110.242	36.480	240.814	285.559	92.850
2/6/15 7:00	109.998	37.500	241.170	285.494	93.477
2/6/15 8:00	109.767	38.516	240.911	285.001	94.146
2/6/15 9:00	109.718	38.891	241.771	285.980	94.588
2/6/15 10:00	109.212	39.610	241.223	285.622	94.738
2/6/15 11:00	110.084	39.779	241.156	285.815	94.950
2/6/15 12:00	110.461	42.700	241.515	285.365	96.621
2/6/15 13:00	109.602	43.371	241.764	285.091	97.425
2/6/15 14:00	109.998	41.229	241.149	284.757	96.151
2/6/15 15:00	110.266	40.935	241.288	284.724	95.890
2/6/15 16:00	110.096	36.158	238.132	281.107	91.742
2/6/15 17:00	110.340	37.171	238.733	282.320	92.140
2/6/15 18:00	110.943	36.600	239.337	282.924	92.457
2/6/15 19:00	110.120	35.937	239.546	284.128	92.012
2/6/15 20:00	110.071	35.762	239.332	283.838	91.825
2/6/15 21:00	110.169	36.290	239.571	284.219	92.014
2/6/15 22:00	109.681	36.480	239.729	284.295	92.226
2/6/15 23:00	110.230	36.648	239.936	284.497	92.661
2/7/15 1:00	110.352	36.613	240.148	284.584	92.684
2/7/15 2:00	110.449	36.463	240.034	284.627	92.427
2/7/15 3:00	109.828	36.428	240.288	284.682	92.631
2/7/15 4:00	110.400	35.817	240.538	284.747	92.405
2/7/15 5:00	110.059	36.002	240.374	284.714	92.405
2/7/15 6:00	109.578	36.212	240.375	285.348	92.458
2/7/15 7:00	109.590	36.859	240.570	284.969	92.873
2/7/15 8:00	110.059	37.690	240.440	285.088	93.274
2/7/15 9:00	110.279	39.516	241.149	284.968	94.702

2/7/15 10:00	109.529	40.030	241.074	285.185	94.883
2/7/15 11:00	109.962	40.555	241.467	285.356	95.911
2/7/15 12:00	109.590	41.824	241.411	285.042	96.062
2/7/15 13:00	110.035	41.762	241.761	285.283	96.296
2/7/15 14:00	109.986	41.445	241.485	285.207	96.107
2/7/15 15:00	110.291	41.275	241.343	285.434	96.265
2/7/15 16:00	110.352	40.772	241.620	285.135	96.057
2/7/15 17:00	109.998	40.213	241.149	285.163	95.395
2/7/15 18:00	110.108	40.042	241.332	285.443	95.131
2/7/15 19:00	110.218	39.883	241.012	285.216	95.070
2/7/15 20:00	110.559	40.058	241.065	285.355	95.062
2/7/15 21:00	109.913	40.371	241.060	284.745	95.273
2/7/15 22:00	110.291	39.899	240.979	284.993	95.070
2/7/15 23:00	109.852	38.832	240.708	284.842	94.409
2/8/15 1:00	110.132	37.790	240.666	284.724	93.408
2/8/15 2:00	110.096	37.628	240.678	285.346	93.355
2/8/15 3:00	110.120	37.478	239.935	284.135	92.898
2/8/15 4:00	109.779	37.790	240.033	284.745	93.141
2/8/15 5:00	109.864	37.602	240.536	284.736	93.564
2/8/15 6:00	110.035	37.093	240.624	285.958	93.171
2/8/15 7:00	110.157	38.494	241.149	285.348	93.832
2/8/15 8:00	110.894	39.607	241.030	285.163	94.886
2/8/15 9:00	109.986	40.588	241.214	285.552	95.309
2/8/15 10:00	109.578	41.119	241.299	285.334	95.757
2/8/15 11:00	109.986	41.495	241.385	285.268	96.199
2/8/15 12:00	109.480	38.909	241.502	285.635	94.506
2/8/15 13:00	109.669	38.945	241.052	285.268	94.242
2/8/15 14:00	110.547	39.068	240.825	285.298	94.657
2/8/15 15:00	109.718	39.094	241.105	285.249	94.445
2/8/15 16:00	109.913	39.423	241.231	285.366	94.881
2/8/15 17:00	110.108	39.644	241.393	285.342	94.903

2/8/15 18:00	109.986	39.274	241.219	285.973	94.476
2/8/15 19:00	109.840	39.300	241.435	285.818	94.891
2/8/15 20:00	110.181	39.130	241.576	285.623	94.687
2/8/15 21:00	109.419	39.156	241.393	285.354	94.665
2/8/15 22:00	110.315	39.284	241.020	285.472	94.665
2/8/15 23:00	110.279	39.156	241.085	285.493	94.665
2/9/15 1:00	110.047	38.268	240.544	285.208	94.000
2/9/15 2:00	109.950	37.981	240.695	285.419	93.391
2/9/15 3:00	109.986	37.683	240.495	285.955	93.581
2/9/15 4:00	110.352	37.868	240.739	285.354	93.391
2/9/15 5:00	109.828	37.770	240.869	285.560	93.180
2/9/15 6:00	109.188	37.796	240.653	285.956	93.180
2/9/15 7:00	109.742	38.427	240.367	284.754	93.400
2/9/15 8:00	109.828	39.068	240.432	285.355	94.506
2/9/15 9:00	109.419	40.572	240.968	284.152	94.899
2/9/15 10:00	109.803	40.915	240.739	285.375	95.379
2/9/15 11:00	110.364	41.285	241.145	285.976	95.979
2/9/15 12:00	110.266	40.546	241.755	285.375	95.560
2/9/15 13:00	109.828	38.777	241.154	285.676	94.710
2/9/15 14:00	110.474	37.894	241.138	285.985	93.625
2/9/15 15:00	109.779	38.945	240.544	285.354	94.234
2/9/15 16:00	109.901	39.468	240.890	285.342	94.453
2/9/15 17:00	109.986	39.468	240.976	285.331	94.868
2/9/15 18:00	110.193	39.310	240.899	285.298	94.581
2/9/15 19:00	110.205	39.326	240.834	285.351	94.551
2/9/15 20:00	110.193	38.997	240.801	285.363	94.128
2/9/15 21:00	109.803	39.156	240.672	285.119	94.128
2/9/15 22:00	109.913	39.094	240.683	285.087	94.158
2/9/15 23:00	110.279	39.300	240.955	285.461	94.400
2/10/15 1:00	109.614	38.197	241.145	285.955	93.558
2/10/15 2:00	110.340	37.683	240.544	285.354	93.369

2/10/15 3:00	108.749	37.498	239.922	284.131	92.753
2/10/15 4:00	108.475	37.304	239.711	284.509	92.519
2/10/15 5:00	110.071	37.006	240.523	285.333	92.730
2/10/15 6:00	109.803	36.882	240.464	285.464	92.527
2/10/15 7:00	109.614	37.903	240.504	285.594	93.188
2/10/15 8:00	109.779	39.232	240.687	285.443	93.827
2/10/15 9:00	110.510	40.269	240.805	285.529	94.665
2/10/15 10:00	110.010	41.285	241.124	285.258	95.560
2/10/15 11:00	110.059	41.922	240.966	285.386	95.613
2/10/15 12:00	109.925	42.938	241.166	285.952	96.666
2/10/15 13:00	110.132	42.168	241.727	285.525	96.644
2/10/15 14:00	110.254	41.649	241.556	285.342	96.380
2/10/15 15:00	110.145	42.511	241.504	285.236	96.569
2/10/15 16:00	110.340	41.649	241.479	285.416	96.221
2/10/15 17:00	109.828	40.444	241.488	285.437	95.957
2/10/15 18:00	109.864	39.274	241.126	285.514	94.891
2/10/15 19:00	109.706	39.130	241.040	285.119	94.498
2/10/15 20:00	109.828	39.130	240.878	285.493	94.083
2/10/15 21:00	110.711	39.130	240.934	285.310	94.242
2/10/15 22:00	109.730	38.303	240.771	285.516	93.849
2/10/15 23:00	109.901	38.197	240.523	285.354	93.422
2/11/15 1:00	109.962	37.848	240.418	285.216	93.269
2/11/15 2:00	110.388	37.401	240.139	284.961	92.871
2/11/15 3:00	110.315	37.586	240.215	285.045	92.848
2/11/15 4:00	109.755	37.190	240.281	285.123	92.663
2/11/15 5:00	110.059	37.550	240.247	285.301	92.871
2/11/15 6:00	109.864	37.207	239.922	285.282	92.858
2/11/15 7:00	110.108	37.894	240.203	285.078	93.255
2/11/15 8:00	109.815	39.120	240.537	285.131	93.912
2/11/15 9:00	152.234	39.068	244.781	299.379	97.517
2/11/15 10:00	170.046	40.162	259.857	313.983	104.089

2/11/15 11:00	174.988	41.415	261.660	314.607	106.069
2/11/15 12:00	167.645	41.379	261.864	314.868	106.016
2/11/15 13:00	175.396	41.867	261.669	314.585	106.426
2/11/15 14:00	179.851	42.210	263.472	317.027	107.692
2/11/15 15:00	180.412	42.078	263.395	316.425	107.303
2/11/15 16:00	179.912	41.893	263.395	316.602	107.330
2/11/15 17:00	184.671	40.851	265.906	318.864	109.305
2/11/15 18:00	184.951	38.137	266.507	318.781	108.017
2/11/15 19:00	114.623	36.901	254.414	291.553	101.459
2/11/15 20:00	109.913	36.875	242.829	282.474	96.536
2/11/15 21:00	110.352	35.987	242.207	283.075	95.491
2/11/15 22:00	109.492	36.022	241.597	283.688	95.491
2/11/15 23:00	109.371	36.207	242.207	284.289	95.672
2/12/15 1:00	109.505	36.473	242.453	284.270	95.847
2/12/15 2:00	109.901	36.262	241.973	284.282	95.643
2/12/15 3:00	109.742	36.605	242.104	284.230	95.886
2/12/15 4:00	109.742	36.769	241.835	284.404	95.887
2/12/15 5:00	109.913	36.612	242.350	284.318	95.679
2/12/15 6:00	109.694	36.889	242.042	284.887	96.084
2/12/15 7:00	109.602	37.576	242.318	284.276	96.477
2/12/15 8:00	109.901	38.741	242.821	284.887	97.583
2/12/15 9:00	110.340	39.549	243.146	284.940	98.225
2/12/15 10:00	109.840	39.104	243.024	284.992	97.790
2/12/15 11:00	110.047	39.468	243.010	284.702	98.231
2/12/15 12:00	109.876	40.295	243.453	284.771	99.095
2/12/15 13:00	109.840	40.501	242.843	284.280	98.857
2/12/15 14:00	110.205	39.511	242.240	284.045	98.192
2/12/15 15:00	110.084	40.055	242.175	283.915	98.214
2/12/15 16:00	109.913	40.922	242.419	284.180	99.030
2/12/15 17:00	109.627	40.434	242.419	283.655	98.827
2/12/15 18:00	109.876	39.321	241.915	283.368	98.007

2/12/15 19:00	109.998	36.243	241.639	283.992	95.869
2/12/15 20:00	109.791	37.453	241.630	283.646	96.288
2/12/15 21:00	109.986	37.515	241.801	284.256	96.500
2/12/15 22:00	109.742	37.673	241.748	283.655	96.658
2/12/15 23:00	110.096	37.382	241.862	284.268	96.402
2/13/15 1:00	110.352	37.252	241.938	284.003	96.455
2/13/15 2:00	109.566	37.242	241.734	284.080	96.252
2/13/15 3:00	109.889	37.067	241.546	284.038	96.071
2/13/15 4:00	109.803	36.892	241.372	283.660	95.855
2/13/15 5:00	109.889	36.866	241.319	283.843	95.886
2/13/15 6:00	109.889	36.866	241.633	284.283	95.890
2/13/15 7:00	110.291	37.359	241.580	284.002	96.109
2/13/15 8:00	110.437	38.708	241.725	283.889	97.155
2/13/15 9:00	109.803	38.708	241.799	284.303	96.943
2/13/15 10:00	109.950	40.233	242.006	283.669	98.050
2/13/15 11:00	110.096	41.557	242.242	284.270	99.240
2/13/15 12:00	109.840	38.751	241.630	283.045	97.539
2/13/15 13:00	110.327	40.321	241.894	283.667	98.359
2/13/15 14:00	109.864	41.081	242.240	283.667	98.796
2/13/15 15:00	110.145	39.295	241.948	283.753	97.712
2/13/15 16:00	109.767	40.527	242.154	283.720	98.342
2/13/15 17:00	109.681	40.548	241.618	283.444	98.607
2/13/15 18:00	110.047	40.399	242.228	283.611	98.395
2/13/15 19:00	109.828	39.906	242.033	283.644	98.161
2/13/15 20:00	109.456	39.906	241.618	283.303	97.742
2/13/15 21:00	109.566	37.664	241.660	283.623	96.477
2/13/15 22:00	110.376	38.033	241.521	283.818	96.477
2/13/15 23:00	110.108	37.848	241.379	283.537	96.447
2/14/15 1:00	109.901	37.498	241.662	284.182	96.463
2/14/15 2:00	109.852	37.339	241.853	284.238	96.282
2/14/15 3:00	110.059	37.498	241.832	284.164	96.282

2/14/15 4:00	110.437	37.508	241.697	283.629	96.313
2/14/15 5:00	110.193	37.482	241.244	283.759	96.129
2/14/15 6:00	110.132	37.180	241.223	284.230	96.129
2/14/15 7:00	109.876	38.222	240.998	283.019	96.764
2/14/15 8:00	109.876	39.238	241.267	283.149	97.168
2/14/15 9:00	110.047	40.961	241.613	283.629	98.648
2/14/15 10:00	110.169	41.941	241.920	283.531	99.270
2/14/15 11:00	110.230	42.265	242.221	283.681	99.655
2/14/15 12:00	111.308	43.566	242.296	283.614	100.527
2/14/15 13:00	109.395	43.534	242.451	283.634	100.550
2/14/15 14:00	109.901	41.194	242.451	283.477	99.276
2/14/15 15:00	109.998	41.343	242.293	283.969	99.052
2/14/15 16:00	109.358	40.240	242.326	283.632	98.440
2/14/15 17:00	109.730	39.871	242.282	284.233	98.259
2/14/15 18:00	110.699	40.039	242.419	284.342	98.501
2/14/15 19:00	110.498	37.628	242.154	284.110	97.161
2/14/15 20:00	110.376	38.511	241.936	284.428	97.130
2/14/15 21:00	110.303	35.217	239.792	279.924	94.671
2/14/15 22:00	110.522	35.210	238.590	279.303	94.067
2/14/15 23:00	111.814	35.893	239.194	280.516	94.295
2/15/15 1:00	110.041	35.970	240.432	282.350	94.867
2/15/15 2:00	110.279	36.437	240.763	282.975	95.498
2/15/15 3:00	110.425	36.349	241.051	283.587	95.295
2/15/15 4:00	110.602	36.138	241.009	283.404	95.295
2/15/15 5:00	110.772	35.795	240.854	283.557	95.031
2/15/15 6:00	110.772	35.804	241.634	284.792	95.197
2/15/15 7:00	111.089	37.128	241.012	283.580	95.673
2/15/15 8:00	111.150	39.354	241.634	284.202	97.177
2/15/15 9:00	110.364	40.720	241.914	283.601	98.261
2/15/15 10:00	110.400	42.070	241.977	283.880	99.020
2/15/15 11:00	110.376	42.680	242.234	283.519	99.627

2/15/15 12:00	110.486	41.659	242.266	283.885	99.610
2/15/15 13:00	110.662	41.649	242.377	283.602	99.390
2/15/15 14:00	110.425	41.019	243.442	284.804	99.435
2/15/15 15:00	110.583	40.685	243.421	284.690	99.201
2/15/15 16:00	110.699	40.501	243.409	284.690	99.016
2/15/15 17:00	110.742	40.003	243.409	284.857	98.818
2/15/15 18:00	109.998	40.702	243.268	284.699	99.215
2/15/15 19:00	111.284	40.835	243.483	284.781	99.404
2/15/15 20:00	110.449	40.091	243.321	284.801	98.312
2/15/15 21:00	110.400	38.023	243.126	284.634	97.447
2/15/15 22:00	111.272	37.058	241.008	281.177	95.763
2/15/15 23:00	110.797	37.699	241.630	282.379	96.190
2/16/15 1:00	110.547	38.171	242.832	284.205	96.803
2/16/15 2:00	111.016	37.508	242.518	284.217	96.683
2/16/15 3:00	110.535	36.704	242.202	284.153	96.004
2/16/15 4:00	110.193	36.524	242.160	284.123	95.582
2/16/15 5:00	111.333	36.652	241.838	284.102	95.722
2/16/15 6:00	110.096	36.775	242.439	284.812	95.948
2/16/15 7:00	110.614	37.436	242.812	284.954	96.591
2/16/15 8:00	110.955	39.309	242.211	284.801	96.591
2/16/15 9:00	138.608	39.802	239.780	284.757	96.159
2/16/15 10:00	174.525	40.188	259.197	312.128	105.645
2/16/15 11:00	179.552	40.520	262.855	315.836	107.778
2/16/15 12:00	180.156	41.003	263.465	315.212	107.989
2/16/15 13:00	180.399	40.993	263.442	314.607	108.139
2/16/15 14:00	180.570	40.993	264.075	316.425	108.325
2/16/15 15:00	179.729	41.389	263.808	315.823	108.687
2/16/15 16:00	179.887	40.948	264.082	315.832	108.845
2/16/15 17:00	179.961	40.451	263.472	314.605	107.753
2/16/15 18:00	180.107	36.288	262.862	315.207	104.767
2/16/15 19:00	180.253	36.764	262.231	314.807	105.397

2/16/15 20:00	180.034	36.816	262.841	315.284	105.208
2/16/15 21:00	180.131	36.960	262.927	315.315	105.208
2/16/15 22:00	109.517	37.110	250.697	287.338	100.180
2/16/15 23:00	109.950	37.664	241.597	283.045	96.402
2/17/15 1:00	109.974	37.058	241.293	283.558	95.922
2/17/15 2:00	110.699	37.022	241.261	283.549	95.922
2/17/15 3:00	110.571	37.339	241.630	283.918	96.138
2/17/15 4:00	109.767	37.673	241.683	283.658	96.349
2/17/15 5:00	109.767	37.515	241.760	284.268	96.319
2/17/15 6:00	109.852	37.171	241.683	283.667	96.266
2/17/15 7:00	110.169	38.171	242.068	284.268	96.931
2/17/15 8:00	109.505	39.397	242.198	284.421	97.389
2/17/15 9:00	109.913	40.075	242.799	284.247	98.042
2/17/15 10:00	159.839	39.793	251.834	303.124	102.370
2/17/15 11:00	160.552	40.503	254.878	303.725	104.492
2/17/15 12:00	159.973	41.554	255.509	305.565	105.576
2/17/15 13:00	160.893	40.815	256.110	305.662	105.568
2/17/15 14:00	159.997	40.832	256.711	306.166	105.126
2/17/15 15:00	160.089	40.169	256.592	305.852	104.968
2/17/15 16:00	160.199	40.789	256.880	306.026	105.395
2/17/15 17:00	159.534	40.133	255.467	303.108	104.915
2/17/15 18:00	159.937	39.605	255.281	303.729	104.734
2/17/15 19:00	159.900	36.347	256.077	304.931	103.438
2/17/15 20:00	159.693	36.162	255.829	304.845	102.535
2/17/15 21:00	159.790	35.489	255.467	304.651	102.085
2/17/15 22:00	109.517	36.311	242.235	279.460	97.087
2/17/15 23:00	109.602	36.813	241.012	281.876	95.800
2/18/15 1:00	109.828	36.962	241.196	282.493	95.950
2/18/15 2:00	110.010	37.090	241.196	282.720	95.875
2/18/15 3:00	109.925	37.152	241.342	282.400	95.928
2/18/15 4:00	110.035	36.664	241.407	282.611	95.875

2/18/15 5:00	110.303	36.295	241.012	282.676	95.429
2/18/15 6:00	109.925	35.977	241.240	282.460	95.421
2/18/15 7:00	109.694	36.962	241.374	282.806	95.844
2/18/15 8:00	110.303	38.476	241.623	283.103	96.898
2/18/15 9:00	110.303	39.825	242.223	283.082	97.726
2/18/15 10:00	160.199	39.286	252.542	301.331	102.860
2/18/15 11:00	159.961	39.598	254.344	303.145	104.164
2/18/15 12:00	160.625	40.337	254.952	304.347	105.007
2/18/15 13:00	160.747	41.010	256.184	304.957	105.637
2/18/15 14:00	160.235	41.405	256.592	304.966	106.038
2/18/15 15:00	159.997	41.739	256.790	305.567	106.321
2/18/15 16:00	159.973	40.195	256.871	305.767	105.395
2/18/15 17:00	160.174	40.036	256.880	305.811	105.312
2/18/15 18:00	160.589	37.055	257.193	305.841	103.597
2/18/15 19:00	160.333	36.188	256.175	304.363	102.980
2/18/15 20:00	158.931	36.891	255.574	304.595	102.905
2/18/15 21:00	109.492	38.528	241.720	281.817	97.295
2/18/15 22:00	109.864	38.589	241.087	281.894	96.784
2/18/15 23:00	110.108	38.430	241.054	281.560	96.784
2/19/15 1:00	110.364	37.907	241.107	281.998	96.400
2/19/15 2:00	110.193	37.907	241.077	281.219	96.581
2/19/15 3:00	109.937	37.547	240.583	281.820	96.166
2/19/15 4:00	110.157	37.758	240.456	281.198	95.950
2/19/15 5:00	110.071	37.583	240.205	281.036	95.919
2/19/15 6:00	110.266	37.917	241.087	281.799	96.347
2/19/15 7:00	109.901	38.066	240.476	281.189	96.377
2/19/15 8:00	109.864	38.563	240.627	281.263	96.770
2/19/15 9:00	109.358	39.728	240.785	281.799	97.197
2/19/15 10:00	109.803	40.718	241.087	281.409	98.251
2/19/15 11:00	110.157	41.379	241.527	281.198	98.509
2/19/15 12:00	110.510	41.687	241.124	281.261	98.916

2/19/15 13:00	109.614	42.052	241.261	281.344	99.260
2/19/15 14:00	108.304	42.104	241.196	280.597	99.014
2/19/15 15:00	107.841	41.919	239.885	279.384	98.727
2/19/15 16:00	108.316	40.938	239.711	279.189	97.876
2/19/15 17:00	108.024	40.467	239.808	279.583	97.643
2/19/15 18:00	107.689	40.098	239.755	279.994	97.484
2/19/15 19:00	107.774	39.913	239.776	279.940	97.272
2/19/15 20:00	107.689	37.846	239.284	279.384	95.791
2/19/15 21:00	107.555	37.512	239.337	279.562	95.769
2/19/15 22:00	108.706	37.301	238.683	278.783	95.315
2/19/15 23:00	107.878	37.538	238.813	278.961	95.549
2/20/15 1:00	107.701	37.495	239.284	279.374	95.368
2/20/15 2:00	108.134	37.152	238.674	278.973	95.157
2/20/15 3:00	108.597	36.813	238.804	279.428	95.165
2/20/15 4:00	107.817	36.813	238.674	279.407	94.715
2/20/15 5:00	108.000	36.962	238.073	278.773	94.927
2/20/15 6:00	108.499	37.116	238.674	279.975	94.927
2/20/15 7:00	108.231	37.126	239.295	280.585	95.112
2/20/15 8:00	107.902	37.829	239.490	280.414	95.738
2/20/15 9:00	107.542	39.056	239.896	280.207	96.400
2/20/15 10:00	108.390	40.321	239.924	280.597	97.055
2/20/15 11:00	107.853	42.035	240.080	280.440	98.342
2/20/15 12:00	107.963	43.093	240.511	280.361	99.396
2/20/15 13:00	107.987	43.979	240.732	280.711	100.261
2/20/15 14:00	108.146	43.800	240.915	280.576	100.023
2/20/15 15:00	108.304	43.800	241.732	281.799	100.472
2/20/15 16:00	107.914	43.971	242.179	282.128	100.714
2/20/15 17:00	107.725	37.107	241.119	281.917	96.210
2/20/15 18:00	107.701	37.784	240.518	281.808	95.791
2/20/15 19:00	108.048	37.952	240.648	282.421	96.056
2/20/15 20:00	107.689	38.127	241.131	283.022	96.505

2/20/15 21:00	108.694	38.440	242.333	284.836	97.140
2/20/15 22:00	107.555	38.291	242.954	284.857	97.140
2/20/15 23:00	108.694	38.677	241.752	283.043	96.959
2/21/15 1:00	107.926	38.353	240.551	282.432	96.536
2/21/15 2:00	108.085	38.229	240.562	282.237	96.316
2/21/15 3:00	107.701	37.900	240.806	282.335	96.113
2/21/15 4:00	107.750	37.408	240.583	282.367	96.131
2/21/15 5:00	108.097	37.398	240.753	282.388	95.716
2/21/15 6:00	107.902	37.204	241.151	283.054	96.131
2/21/15 7:00	108.207	37.881	241.054	282.871	95.919
2/21/15 8:00	107.890	39.056	241.240	283.033	96.800
2/21/15 9:00	108.219	41.945	241.752	283.655	98.326
2/21/15 10:00	108.377	42.996	241.927	283.033	99.630
2/21/15 11:00	107.878	42.499	241.363	282.432	99.022
2/21/15 12:00	107.963	43.119	241.915	283.054	99.675
2/21/15 13:00	107.628	44.364	242.374	283.054	100.759
2/21/15 14:00	108.195	42.648	242.168	283.384	100.045
2/21/15 15:00	108.438	42.006	242.407	283.664	99.119
2/21/15 16:00	107.902	42.674	241.773	283.054	99.569
2/21/15 17:00	107.987	41.961	241.641	282.453	99.142
2/21/15 18:00	107.914	35.532	239.950	281.850	94.729
2/21/15 19:00	108.097	36.373	240.560	283.031	94.880
2/21/15 20:00	108.182	36.583	241.773	284.244	95.307
2/21/15 21:00	108.158	38.040	241.163	283.033	96.166
2/21/15 22:00	107.445	37.256	241.367	283.124	95.527
2/21/15 23:00	108.170	37.609	240.562	282.421	95.730
2/22/15 1:00	108.109	37.758	239.961	281.240	95.527
2/22/15 2:00	107.805	37.382	239.952	281.263	95.733
2/22/15 3:00	108.085	36.901	240.565	281.850	95.271
2/22/15 4:00	107.494	37.609	240.980	282.465	95.716
2/22/15 5:00	107.829	37.424	241.184	282.546	95.928

2/22/15 6:00	107.628	37.301	241.022	282.632	95.889
2/22/15 7:00	107.829	37.995	240.945	282.462	95.844
2/22/15 8:00	107.750	39.143	241.193	282.182	96.943
2/22/15 9:00	108.195	40.282	241.335	282.388	97.559
2/22/15 10:00	108.097	41.140	241.794	283.664	98.167
2/22/15 11:00	108.121	42.710	242.168	283.054	99.252
2/22/15 12:00	107.616	43.022	241.806	282.453	99.675
2/22/15 13:00	108.182	41.166	241.697	283.075	97.943
2/22/15 14:00	108.365	42.331	241.706	282.544	99.261
2/22/15 15:00	107.774	42.736	241.945	282.474	99.508
2/22/15 16:00	107.951	42.726	241.859	282.333	99.349
2/22/15 17:00	108.024	42.058	241.567	282.483	99.089
2/22/15 18:00	108.414	41.350	241.794	283.084	98.666
2/22/15 19:00	108.012	40.832	241.611	282.945	98.220
2/22/15 20:00	108.158	40.668	242.049	283.697	98.185
2/22/15 21:00	108.243	40.467	241.773	283.330	97.762
2/22/15 22:00	107.725	40.616	240.592	281.885	97.317
2/22/15 23:00	107.725	40.088	240.560	281.894	97.124
2/23/15 1:00	107.841	40.256	241.207	282.504	97.545
2/23/15 2:00	107.762	39.605	240.989	281.892	97.189
2/23/15 3:00	107.737	39.477	240.868	282.495	96.973
2/23/15 4:00	107.603	39.309	241.096	282.288	96.731
2/23/15 5:00	108.134	39.134	241.247	282.451	96.912
2/23/15 6:00	107.890	38.790	241.202	282.483	96.648
2/23/15 7:00	108.280	39.283	241.137	282.585	96.881
2/23/15 8:00	107.841	39.968	241.311	282.439	97.309
2/23/15 9:00	108.450	40.633	241.836	283.096	97.732
2/23/15 10:00	117.737	40.919	244.251	288.606	99.028
2/23/15 11:00	178.388	41.253	260.590	311.583	106.560
2/23/15 12:00	179.705	41.253	258.588	307.759	107.441
2/23/15 13:00	159.681	42.946	259.198	308.940	107.728

2/23/15 14:00	159.937	42.084	259.787	308.940	107.459
2/23/15 15:00	159.754	41.684	258.544	307.739	106.825
2/23/15 16:00	110.010	42.049	249.453	285.752	102.465
2/23/15 17:00	110.376	41.561	242.156	282.727	98.741
2/23/15 18:00	109.779	41.042	241.555	283.328	97.890
2/23/15 19:00	109.986	40.694	241.641	283.564	97.712
2/23/15 20:00	109.718	38.518	241.629	283.938	96.617
2/23/15 21:00	110.388	38.671	241.499	283.831	96.617
2/23/15 22:00	109.614	38.667	241.479	283.694	96.405
2/23/15 23:00	109.998	38.632	241.479	283.873	96.617
2/24/15 1:00	109.681	38.460	241.727	283.929	96.405
2/24/15 2:00	109.864	38.075	241.386	283.613	96.347
2/24/15 3:00	109.889	37.855	241.302	283.321	95.972
2/24/15 4:00	109.864	37.194	241.084	283.929	95.519
2/24/15 5:00	110.547	37.178	241.258	283.674	95.700
2/24/15 6:00	110.010	37.495	241.186	283.548	95.686
2/24/15 7:00	109.791	38.774	241.184	283.321	96.294
2/24/15 8:00	110.108	40.150	241.409	283.929	97.176
2/24/15 9:00	110.614	41.315	241.137	283.316	97.913
2/24/15 10:00	110.096	42.370	241.880	283.316	98.763
2/24/15 11:00	110.035	43.693	241.458	282.694	99.424
2/24/15 12:00	110.084	43.863	241.771	283.316	99.870
2/24/15 13:00	109.602	44.204	242.165	283.316	100.304
2/24/15 14:00	158.955	41.587	252.414	303.964	103.553
2/24/15 15:00	156.786	41.415	256.019	305.156	105.529
2/24/15 16:00	109.962	41.525	243.850	284.403	99.817
2/24/15 17:00	110.096	41.007	242.047	283.792	98.309
2/24/15 18:00	110.071	41.010	241.933	283.186	98.083
2/24/15 19:00	109.998	39.507	241.727	283.792	97.210
2/24/15 20:00	109.639	39.471	241.446	283.186	97.232
2/24/15 21:00	110.108	39.810	241.564	283.073	97.629

2/24/15 22:00	109.950	39.283	241.479	283.316	97.176
2/24/15 23:00	109.852	39.383	242.052	284.393	97.176
2/25/15 1:00	110.230	38.635	241.446	283.370	96.522
2/25/15 2:00	109.791	38.147	241.564	283.883	96.126
2/25/15 3:00	110.266	38.450	241.300	283.186	96.095
2/25/15 4:00	109.730	38.306	241.191	283.510	96.095
2/25/15 5:00	109.815	38.147	241.190	283.104	96.254
2/25/15 6:00	109.590	37.655	241.126	284.424	96.065
2/25/15 7:00	110.352	38.147	241.694	283.818	96.280
2/25/15 8:00	109.432	38.794	241.467	283.207	96.514
2/25/15 9:00	109.669	39.599	241.105	283.240	97.157
2/25/15 10:00	109.358	40.971	240.845	282.590	97.788
2/25/15 11:00	109.803	44.070	241.451	283.191	99.956
2/25/15 12:00	109.529	44.046	242.052	283.191	100.353
2/25/15 13:00	109.755	43.188	242.068	283.191	100.326
2/25/15 14:00	109.998	42.110	242.360	283.792	99.209
2/25/15 15:00	109.444	41.561	242.383	283.778	98.318
2/25/15 16:00	109.261	41.201	242.233	283.319	98.560
2/25/15 17:00	109.962	41.130	241.448	283.778	98.167
2/25/15 18:00	109.566	40.796	242.070	283.653	97.952
2/25/15 19:00	109.297	40.642	241.847	283.588	97.943
2/25/15 20:00	109.669	40.380	241.697	283.168	97.740
2/25/15 21:00	109.383	39.425	241.977	283.778	97.295
2/25/15 22:00	109.852	37.327	241.460	283.599	95.897
2/25/15 23:00	109.639	36.505	240.859	283.168	94.805
2/26/15 1:00	110.035	36.347	240.868	283.147	94.601
2/26/15 2:00	109.346	36.048	240.258	283.156	94.156
2/26/15 3:00	109.803	36.399	240.367	283.168	94.632
2/26/15 4:00	109.468	36.285	240.400	283.033	94.632
2/26/15 5:00	109.383	36.470	240.859	283.159	94.866
2/26/15 6:00	109.889	36.470	240.660	284.381	94.813

2/26/15 7:00	109.840	36.629	241.045	283.780	94.821
2/26/15 8:00	165.226	36.356	249.982	303.915	100.023
2/26/15 9:00	179.900	37.618	262.797	316.058	105.629
2/26/15 10:00	180.022	38.476	263.998	316.672	106.554
2/26/15 11:00	170.491	38.563	263.393	313.605	106.264
2/26/15 12:00	160.077	39.338	257.827	308.045	104.734
2/26/15 13:00	159.973	39.390	257.511	307.794	104.276
2/26/15 14:00	160.223	39.266	257.226	307.432	104.280
2/26/15 15:00	160.345	39.631	257.279	307.720	104.567
2/26/15 16:00	160.046	39.631	257.247	307.432	104.280
2/26/15 17:00	160.010	39.338	257.332	307.388	104.280
2/26/15 18:00	159.888	37.291	257.268	307.442	103.641
2/26/15 19:00	159.790	35.577	256.613	307.128	101.715
2/26/15 20:00	160.589	35.049	256.873	306.961	101.389
2/26/15 21:00	159.498	35.613	256.527	306.221	102.055
2/26/15 22:00	109.767	36.259	245.711	284.982	97.303
2/26/15 23:00	109.803	36.434	243.307	284.982	95.716
2/27/15 1:00	110.242	36.250	241.504	283.771	94.896
2/27/15 2:00	109.718	36.664	241.240	283.147	95.112
2/27/15 3:00	110.760	36.479	240.903	283.769	95.104
2/27/15 4:00	110.071	36.655	241.110	283.342	95.077
2/27/15 5:00	109.901	36.505	240.989	283.159	95.112
2/27/15 6:00	109.517	36.865	241.504	284.381	95.134
2/27/15 7:00	109.937	38.414	241.196	283.780	96.003
2/27/15 8:00	155.878	39.091	245.776	296.026	100.238
2/27/15 9:00	174.744	39.399	259.662	312.410	105.232
2/27/15 10:00	177.889	40.230	260.864	313.012	106.449
2/27/15 11:00	178.327	40.072	261.465	313.003	106.426
2/27/15 12:00	178.084	40.441	261.643	313.605	106.638
2/27/15 13:00	178.242	41.000	262.066	314.218	107.480
2/27/15 14:00	177.724	41.114	262.667	314.493	107.700

2/27/15 15:00	179.175	41.088	262.743	314.843	107.911
2/27/15 16:00	178.760	40.389	263.279	314.980	107.360
2/27/15 17:00	179.394	37.900	262.678	314.230	106.038
2/27/15 18:00	179.900	37.337	262.057	314.843	105.576
2/27/15 19:00	179.455	38.563	263.268	315.445	106.457
2/27/15 20:00	180.009	37.311	263.128	315.236	105.946
2/27/15 21:00	180.156	37.751	262.894	315.230	105.940
2/27/15 22:00	147.877	37.567	260.245	303.913	104.614
2/27/15 23:00	109.962	38.075	245.059	285.038	98.021
2/28/15 1:00	109.828	37.978	241.430	283.235	96.294
2/28/15 2:00	109.742	38.163	241.142	282.634	96.294
2/28/15 3:00	110.205	38.137	241.386	283.235	96.294
2/28/15 4:00	109.755	38.101	240.980	283.045	96.294
2/28/15 5:00	110.010	37.855	240.785	283.244	95.853
2/28/15 6:00	110.071	37.680	240.184	282.644	95.897
2/28/15 7:00	109.815	38.014	241.407	283.235	96.324
2/28/15 8:00	110.291	39.250	241.353	282.667	96.937
2/28/15 9:00	110.254	39.738	240.806	283.268	96.929
2/28/15 10:00	175.299	39.440	257.193	311.082	104.148
2/28/15 11:00	175.226	40.010	260.799	312.913	106.105
2/28/15 12:00	174.793	42.570	260.778	311.711	108.084
2/28/15 13:00	174.793	43.217	260.442	311.110	108.326
2/28/15 14:00	175.908	40.692	260.486	311.716	106.827
2/28/15 15:00	175.348	40.256	260.474	311.597	106.616
2/28/15 16:00	175.031	40.415	260.792	312.331	106.669
2/28/15 17:00	174.744	40.055	260.938	312.363	106.435
2/28/15 18:00	174.696	40.230	261.402	312.329	106.827
2/28/15 19:00	174.415	40.072	260.790	312.166	106.351
2/28/15 20:00	175.616	40.010	260.625	311.711	106.374
2/28/15 21:00	175.000	39.430	260.177	311.103	106.127
2/28/15 22:00	124.191	39.153	254.091	293.416	102.830

2/28/15 23:00	110.193	38.809	242.576	283.704	97.620
---------------	---------	--------	---------	---------	--------

Lampiran 4 Spesifikasi Air Heater Ljungström PLTU Unit 3

Tipe	: <i>Ljungstrom Regenerative</i>
Nomer Model	: 26-HX-2850
Pembuat	: Gadelius K.K.
Number	: 4 set/2 boiler
Total elemen pemanas	: Gas side 22.360 m ² /set
Kecepatan	: 0.77 rpm

Metode Pelumasan Bearing

Cold side	: Automatis (Self)
Hot side	: Pompa (Forced)
Metode Penggerak	: Motor listrik (utama) Air Motor (cadangan)
Tipe Cleaning Device	: Single Nozzle
Tempat	: Sisi Cold Gas
Tipe Washing Device	: Stationary
Tempat	: Sisi Cold Gas dan Hot Gas

Elemen Pemanas

Tipe

<i>Hot End Layer</i>	: DU 0,6 m/m <i>Basket Type</i>
<i>Intermediate Layer</i>	: DU 0,6 m/m <i>Basket Type</i>
<i>Cold End Layer</i>	: NF 1,2 m/m <i>Basket Type</i>

Material

<i>Hot End Layer</i>	: <i>Mild Steel</i>
<i>Intermediate Layer</i>	: <i>Corrosion Resistant Low Alloy Steel</i>
<i>Cold End Layer</i>	: <i>Corrosion Resistant Low Alloy Steel</i>

Ketinggian

<i>Hot End Layer</i>	: 1500 mm
<i>Intermediate Layer</i>	: 1050 mm
<i>Cold End Layer</i>	: 300 mm

Sumber : Gadelius, *Heat Exchanger-Ljungstrom Air Preheater*, Tokyo Japan: Gadelius Energy

Lampiran 5 Themophysical Properties at Atmospheric Pressure

T (K)	ρ (kg/m ³)	c_p (kJ/kg · K)	$\mu \cdot 10^7$ (N · s/m ²)	$\nu \cdot 10^6$ (m ² /s)	$k \cdot 10^3$ (W/m · K)	$\alpha \cdot 10^6$ (m ² /s)	Pr
Air, $M = 28.97$ kg/kmol							
100	3.5562	1.032	71.1	2.00	9.34	2.54	0.786
150	2.3364	1.012	103.4	4.426	13.8	5.84	0.758
200	1.7458	1.007	132.5	7.590	18.1	10.3	0.737
250	1.3947	1.006	159.6	11.44	22.3	15.9	0.720
300	1.1614	1.007	184.6	15.89	26.3	22.5	0.707
350	0.9950	1.009	208.2	20.92	30.0	29.9	0.700
400	0.8711	1.014	230.1	26.41	33.8	38.3	0.690
450	0.7740	1.021	250.7	32.39	37.3	47.2	0.686
500	0.6964	1.030	270.1	38.79	40.7	56.7	0.684
550	0.6329	1.040	288.4	45.57	43.9	66.7	0.683
600	0.5804	1.051	305.8	52.69	46.9	76.9	0.685
650	0.5356	1.063	322.5	60.21	49.7	87.3	0.690
700	0.4975	1.075	338.8	68.10	52.4	98.0	0.695
750	0.4643	1.087	354.6	76.37	54.9	109	0.702
800	0.4354	1.099	369.8	84.93	57.3	120	0.709
850	0.4097	1.110	384.3	93.80	59.6	131	0.716
900	0.3868	1.121	398.1	102.9	62.0	143	0.720
950	0.3666	1.131	411.3	112.2	64.3	155	0.723
1000	0.3482	1.141	424.4	121.9	66.7	168	0.726
1100	0.3166	1.159	449.0	141.8	71.5	195	0.728
1200	0.2902	1.175	473.0	162.9	76.3	224	0.728
1300	0.2679	1.189	496.0	185.1	82	257	0.719
1400	0.2488	1.207	530	213	91	303	0.703
1500	0.2322	1.230	557	240	100	350	0.685
1600	0.2177	1.248	584	268	106	390	0.688
1700	0.2049	1.267	611	298	113	435	0.685
1800	0.1935	1.286	637	329	120	482	0.683
1900	0.1833	1.307	663	362	128	534	0.677
2000	0.1741	1.337	689	396	137	589	0.672
2100	0.1658	1.372	715	431	147	646	0.667
2200	0.1582	1.417	740	468	160	714	0.655
2300	0.1513	1.478	766	506	175	783	0.647
2400	0.1448	1.558	792	547	196	869	0.630
2500	0.1389	1.665	818	589	222	960	0.613
3000	0.1135	2.726	955	841	486	1570	0.536
Ammonia (NH₃), $M = 17.03$ kg/kmol							
300	0.6894	2.158	101.5	14.7	24.7	16.6	0.887
320	0.6448	2.170	109	16.9	27.2	19.4	0.870
340	0.6059	2.192	116.5	19.2	29.3	22.1	0.872
360	0.5716	2.221	124	21.7	31.6	24.9	0.872
380	0.5410	2.254	131	24.2	34.0	27.9	0.869

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Kota Madiun, pada tanggal 10 Januari 1994. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di SDN 1 Kartoharjo Madiun, SMPN 01 Madiun, dan SMKN 1 Madiun. Pada tahun 2012 penulis diterima di Jurusan D3 Teknik Mesin – Kelas Kerjasama PT. PLN (Persero) FTI-ITS dan terdaftar sebagai mahasiswa dengan NRP 2112038016.

Dalam masa perkuliahan Konversi Energi merupakan bidang studi yang ditempuh oleh penulis.

Selama duduk dibangku perkuliahan penulis aktif sebagai grader/asisten laboratorium teknik pendingin (2014-2015). Di bidang non-akademik, penulis aktif dalam mengikuti pelatihan professional dan leadership. Pelatihan professional yang pernah penulis ikuti adalah Orientasi Teknis Badan Akreditasi Nasional (BAN) Pendidikan Non Formal (PNF) Tingkat Provinsi Jawa Timur yang dilaksanakan pada tanggal 4-6 Mei 2015 di Surabaya. Dalam masa perkuliahan penulis juga menjuarai beberapa kompetisi, yaitu Juara 1 Instruktur Komputer yang diselenggarakan oleh Dinas Pendidikan Kebudayaan Pemuda dan Olahraga Kota Madiun pada tanggal 16-18 Februari 2015 di Madiun. Selain itu penulis juga menjadi Finalis pada kompetisi (Nasional) Urban Motion yang diselenggarakan oleh Institut Teknologi Bandung pada tanggal 7 Februari 2015 di Bandung.

Untuk menghubungi penulis dapat mengirim surat elektronik ke vistanurhasan@gmail.com